

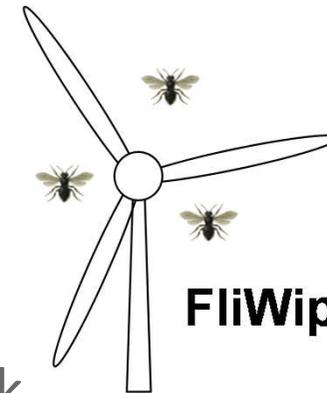
Quelle: https://www.dlr.de/tt/Portaldata/41/Resources/dokumente/st/Wechselwirkung_von_FLIWIP-DPG-01-Quelle-DLR.pdf

Wechselwirkungen von Fluginsekten und Windparks

Franz Trieb

Abteilung Energiesystemanalyse

DLR - Institut für Technische Thermodynamik



DPG – Magnus Haus

Berlin, 06.03.2019

Wissen für Morgen



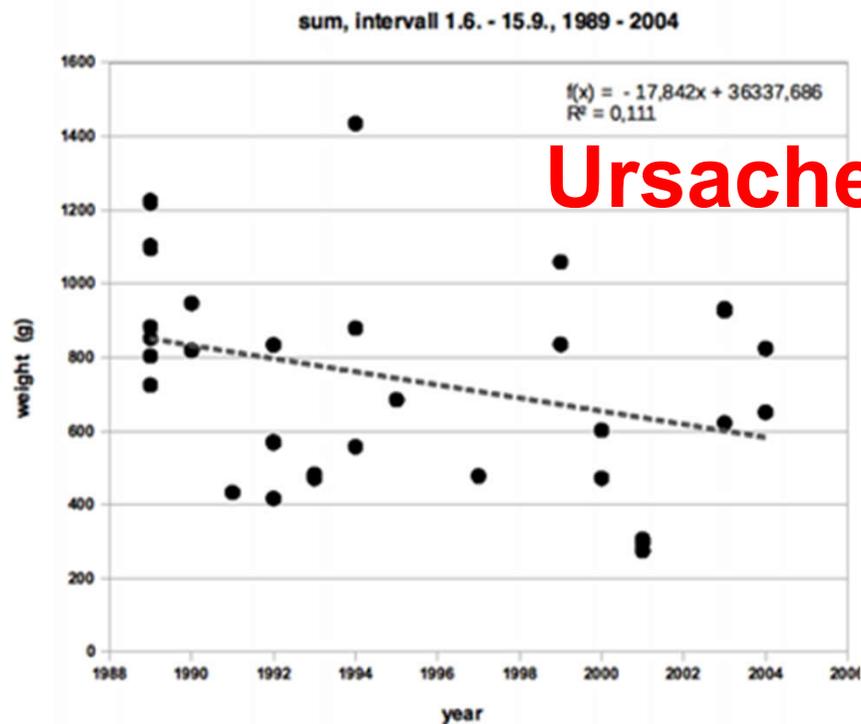
Inhalt

- Motivation zur Durchführung der Studie
- Migration von Fluginsekten seit Millionen Jahren
- Ausbau der Windkraft seit 1990
- Massenbilanz gefährdeter Fluginsekten
- Massenbilanz beschädigter Fluginsekten
- Gegenmaßnahmen
- Verträglichkeitsnachweis und Vorsorgeprinzip
- Fazit

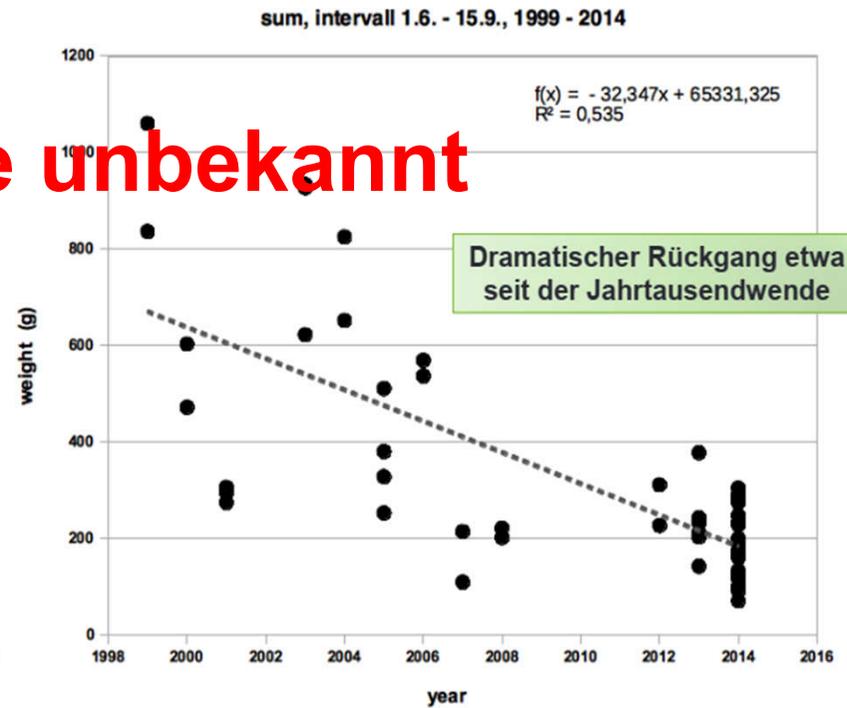


Messungen der Insektenmasse durch den Entomologischen Verein Krefeld in nord-deutschen Naturschutzgebieten

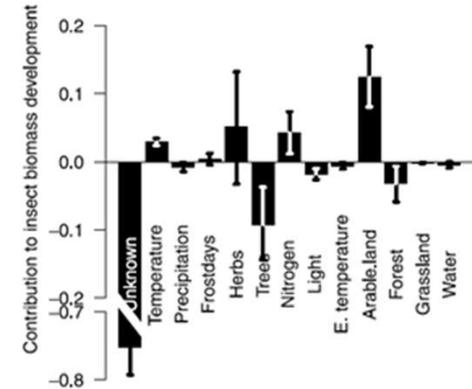
1989 - 2004



1999 - 2014



Ursache unbekannt



Hallmann et al. (2017)



Insektenschlag an Rotorblättern

Dramatischer Rückgang der Leistung um bis zu 50%



Ursache bekannt

BladeCleaning (2018)

Wilcox et al. (2017)

Corten and Veldkamp (2001)



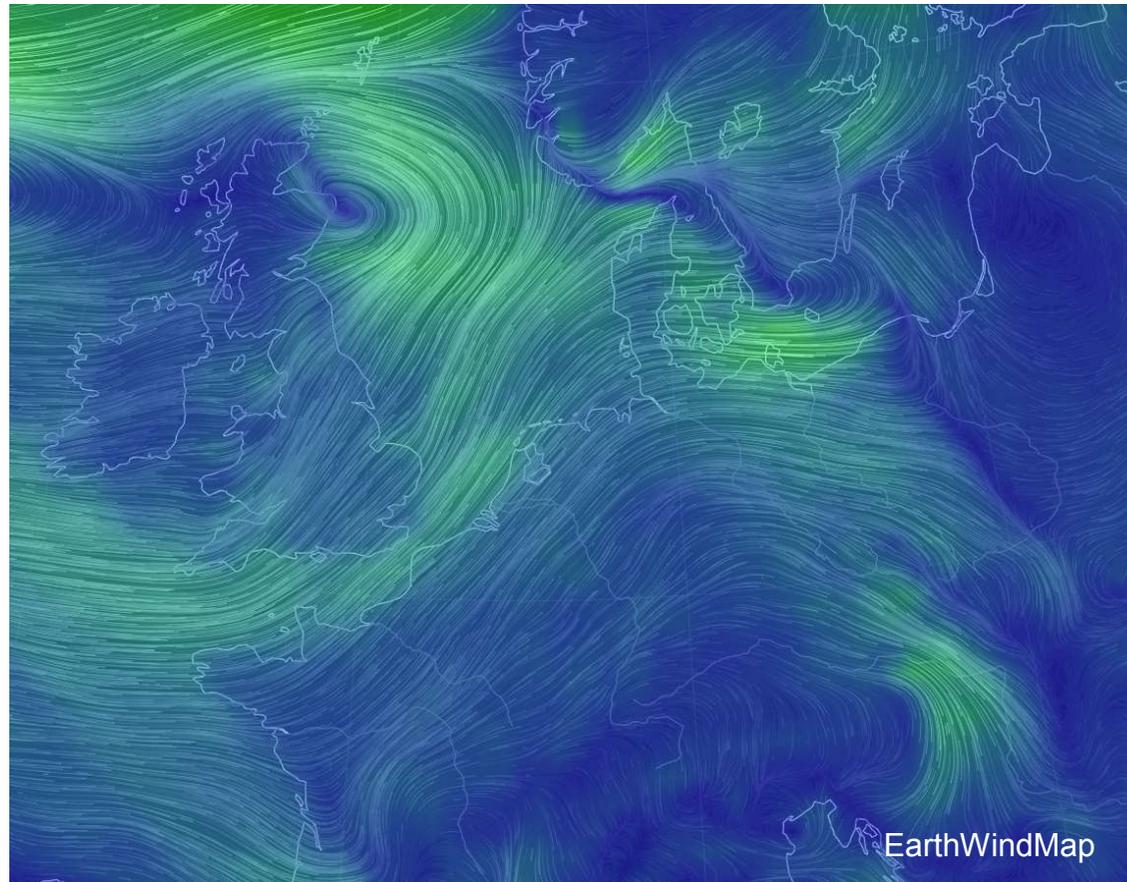
Motivation zur Durchführung der Studie

Gibt es einen Zusammenhang zwischen dem Rückgang der Fluginsekten und dem Insektenschlag an Rotorblättern?

- Wie kommt der Insektenschlag zustande?
- Ist der Insektenschlag quantifizierbar?
- Ist die beschädigte Menge relevant?
- Ist Insektenschlag vermeidbar?



Insekten nehmen für die Migration nicht den Zug oder den Bus, sondern den Wind



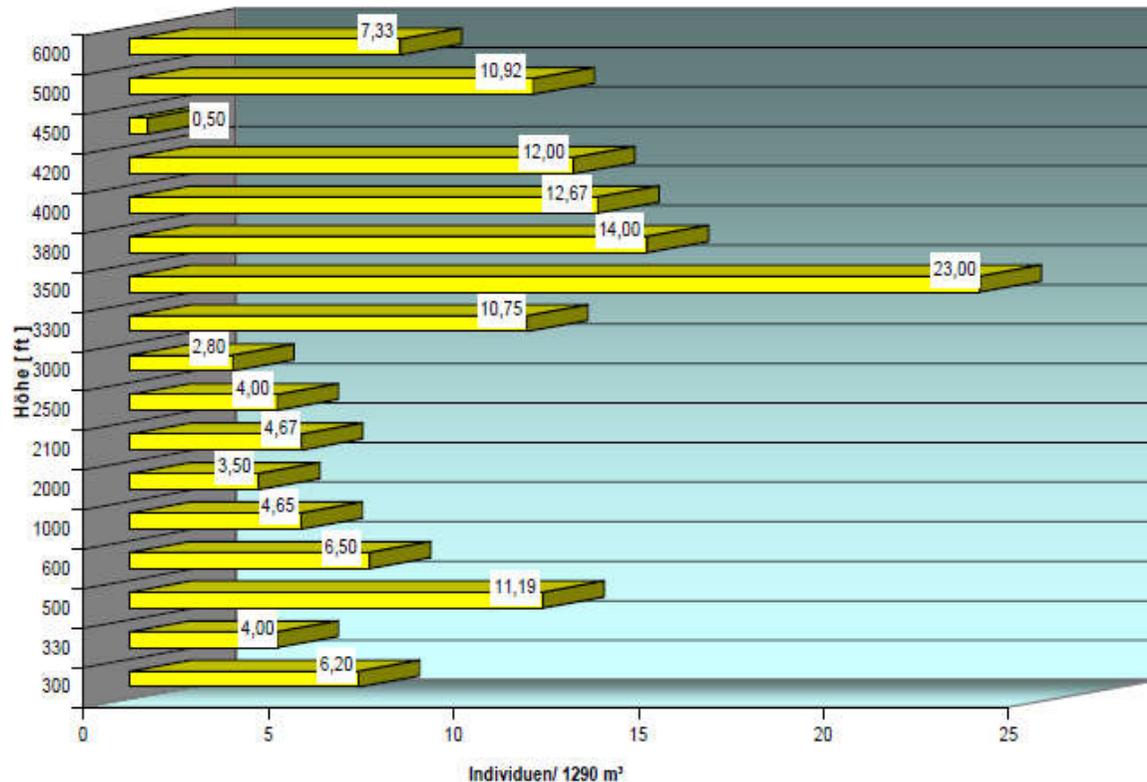
“Many insects migrate at high altitudes where they utilize fast-flowing airstreams for long-distance transport. Nocturnal insect migrants typically exhibit a strongly unimodal distribution of flight headings (a phenomenon termed ‘common orientation’), and the mean heading is often aligned downwind.”

Aralimarad et al. 2011

<https://earth.nullschool.net>



3 kg Aeroplankton pro km³ über Schleswig Holstein



Mittlere Masse: 0,5 mg/cap
Anzahl: 6,15 Mio. cap/km³
=> Gesamtmasse: 3 kg/km³
an Messtagen

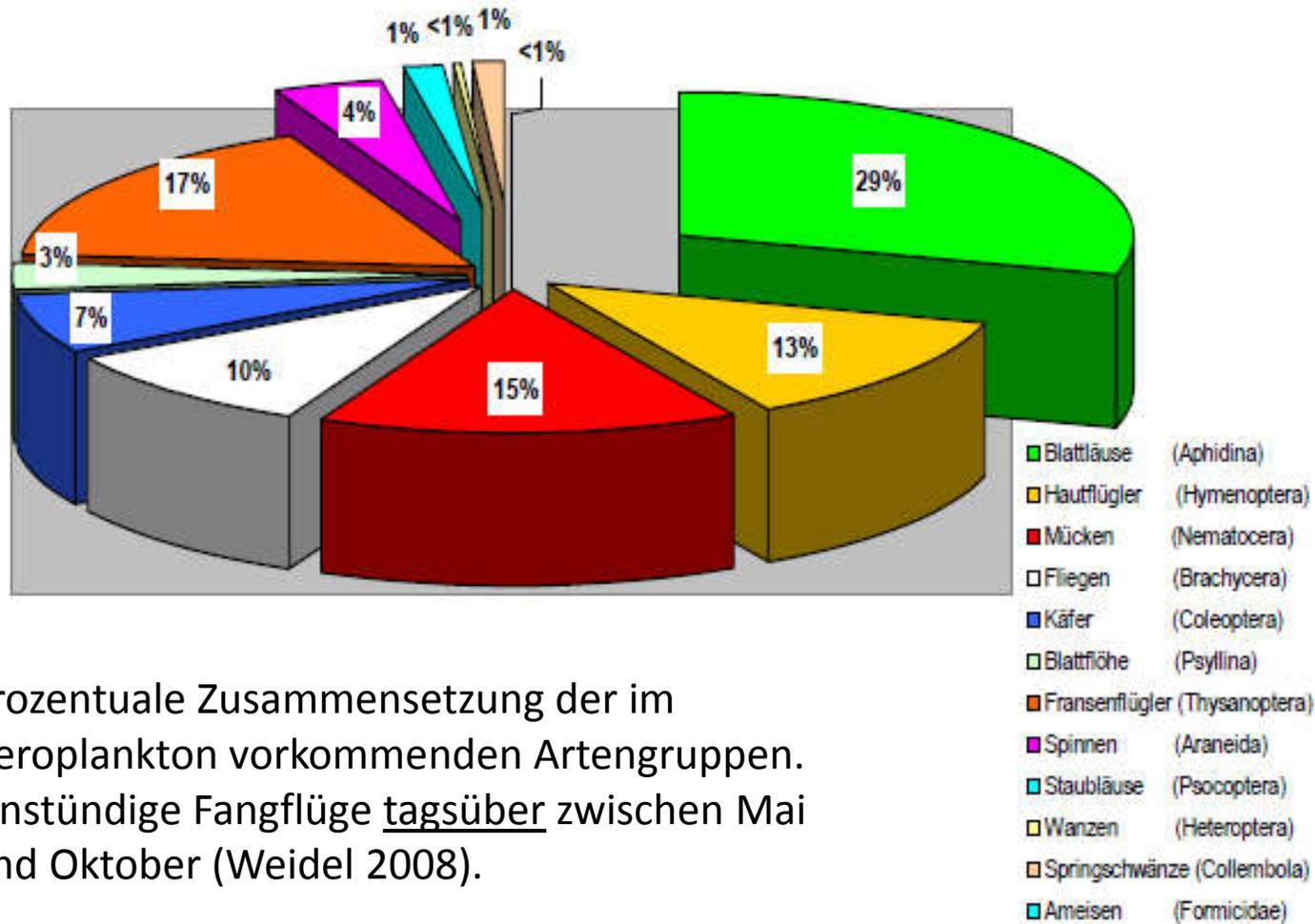
Weidel (2008)

Überwiegend kleine
Insekten bedingt durch
Fangvorrichtung und
dem Ausweichen
größerer Tiere!

Durchschnittliche Individuendichten in den
abgeflogenen Höhen. Einstündige Fangflüge
tagsüber zwischen Mai und Oktober 1998 - 2004.



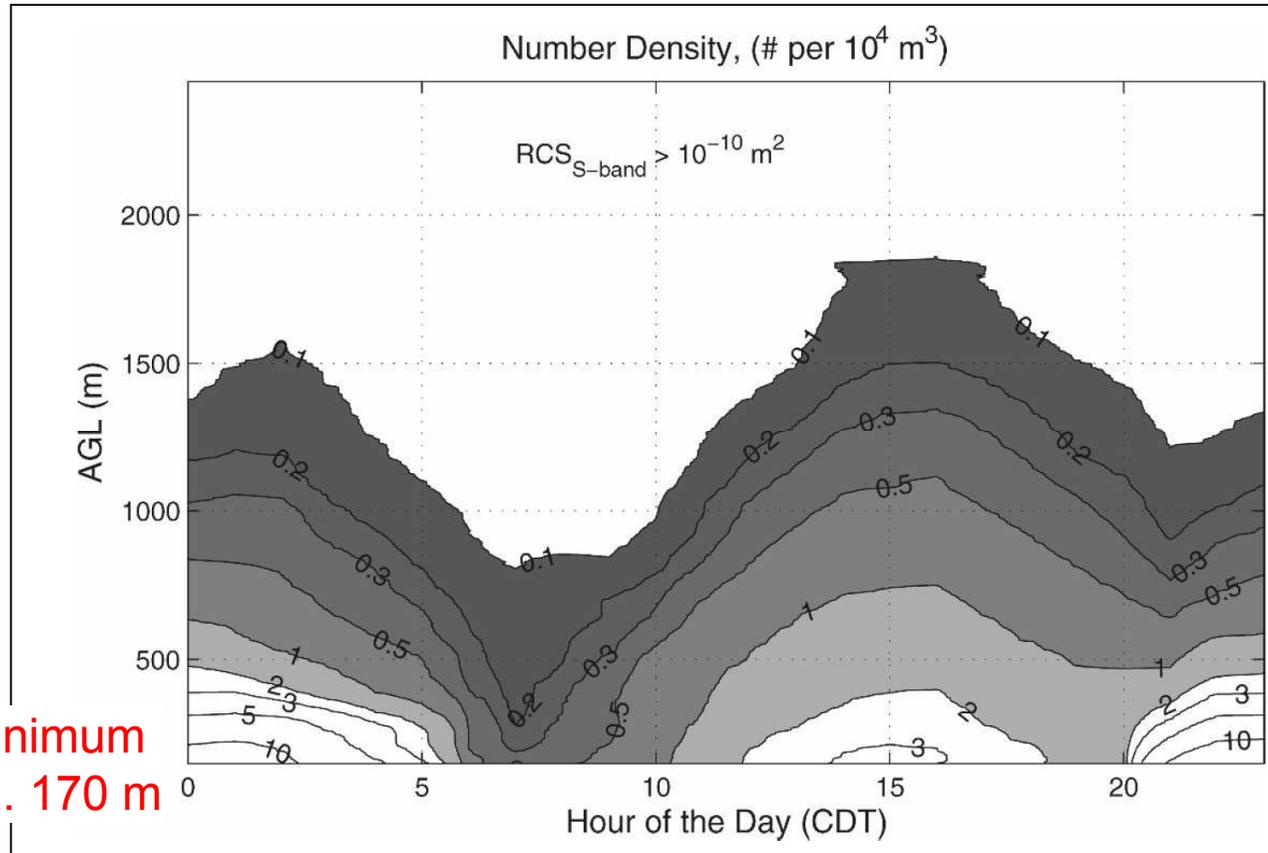
Aeroplankton Arten über Schleswig Holstein



Prozentuale Zusammensetzung der im Aeroplankton vorkommenden Artengruppen. Einstündige Fangflüge tagsüber zwischen Mai und Oktober (Weidel 2008).



Beobachtungen mit einem Wetter-Radar in Oklahoma



Diurnal composite of the number density of insects with S-band cross sections greater than 10^{-10} m^2 . The density is plotted as number per 10^4 m^3

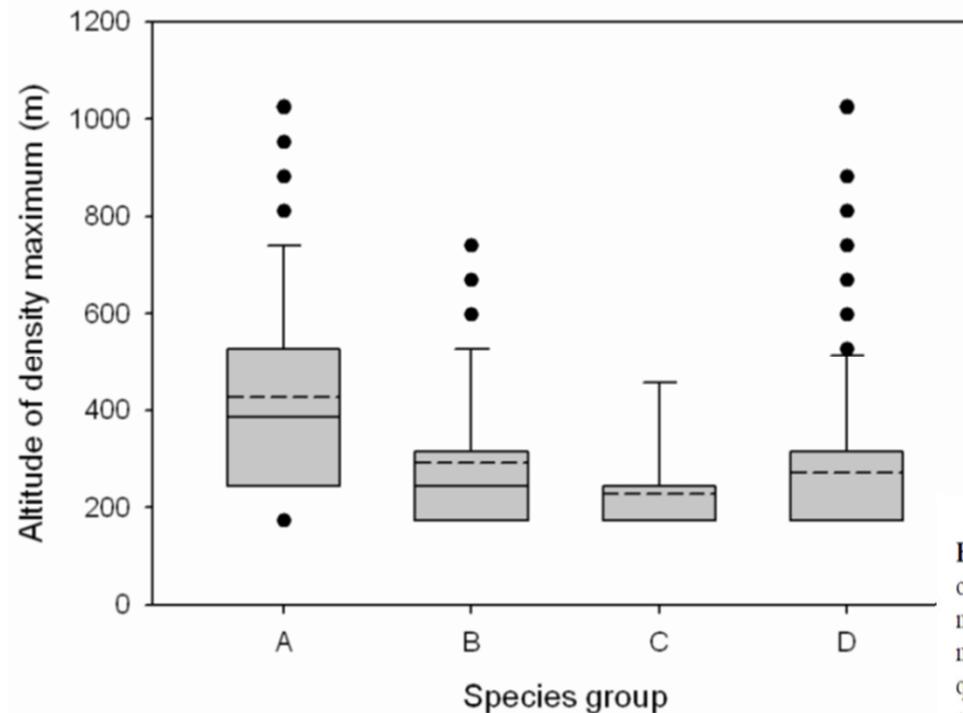
Contreras and Frasier (2008)

AGL: Above Ground Level
CDT: Central Daylight Time

Nachts fliegen in 170-250 m Höhe 3 mal mehr (größere) Insekten als tagsüber!



Beobachtungen über Südengland mit einem vertikalen Insektenradar (Chapman et al. 2010)

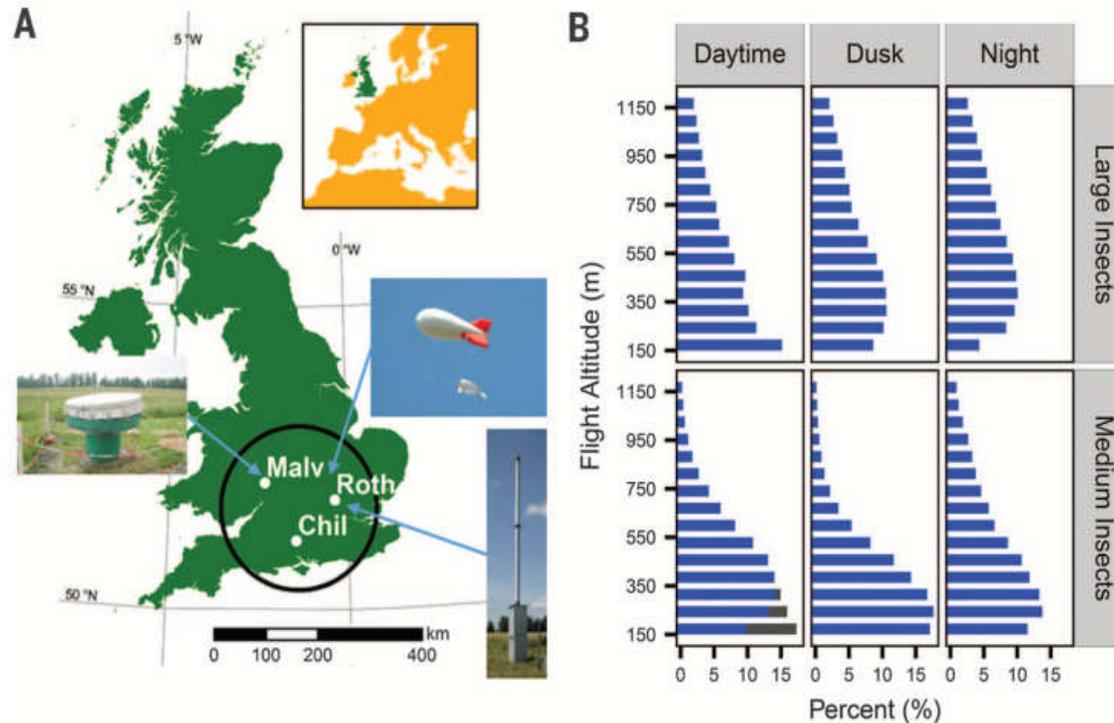


Radar-Erfassungsgrenze bei ca. 170 m

Figure S1. Altitude of the density maximum (between 173 m and 1165 m above the ground) of mass migration events of *Autographa gamma* (A), *Noctua pronuba* (B), sphingid hawk-moths (C), and large day-flying migrant butterflies (D), combining data for spring and fall migration events across all years. The bottom and top of the box show the lower and upper quartile values, respectively. The horizontal solid black line represents the median for each category, and the dashed line represents the mean. Whiskers indicate the 10th and 90th percentiles, while the black circles show the outliers. Species group had a highly significant effect on flight altitude (one-way ANOVA; $F_{3,346} = 24.34$, $P < 0.0001$), with *A. gamma* having significantly higher flight altitudes (mean = 425 m, $P < 0.0001$), than the other three taxa, which all had means close to the lowest recording altitude of 173 m (*N. pronuba* = 292 m, hawk-moths = 229 m, butterflies = 271 m).



Beobachtungen mit Insektenradar und Fangnetz in UK



insges. durchschn.

3200 t/a

@ 1mg / mittl. Insekt

≈ 3200 Mrd./a

@ 200 d/a

≈ 16 Mrd./d

Monitoring migration intensity above the southern United Kingdom. (A) The intensity and direction of high-altitude insect migration through the atmosphere 150 to 1200 m above ground level (AGL) was measured over a **70,000-km² region** of the southern United Kingdom (black circle) under continual surveillance from vertical-looking radars (VLR, left inset) at three locations (white dots); the aerial insect fauna were sampled by balloon supported aerial netting at 200 m AGL (center-right inset) and 12-m-high suction traps (bottom-right inset). (B) Vertical profiles of larger insect (>10 mg) migration intensity over the sampling range of the VLRS. Copy taken from Hu et al. (2016).

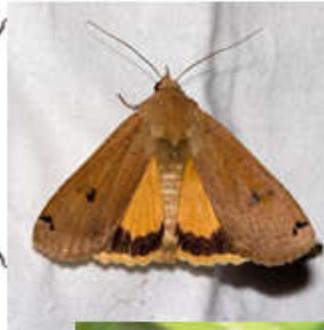


Aeroplankton Arten über Europa

Aerial netting 200 m & vertical entom. radar, Chapman et al. 2004	Airplane trap at 100 to 1750 m, Weidel (2008)	Visual tracking (< 100 m), balloon aerial netting (200 m), rotor blade inspection (20 - 100 m) and vertical entomological radar tracking (150 - 1000+ m) of selected species in Southern, Central and Northern Europe
Hemiptera Aphididae Diptera Hymenoptera Coleoptera Aranea Thysanoptera Psocoptera Neuroptera Lepidoptera Orthoptera	Aphidina Hymenoptera Nematocera Brachycera Coleoptera Psyllina Thysanoptera Araneida Psocoptera Heteroptera Collembola Formicidae	<i>Vanessa atalanta</i> (Mikkola 2003) <i>Omophlus lepturoides</i> (BladeCleaning 2017) <i>Vanessa cardui</i> (Stefanescu et al. 2013) <i>Chorthippus albomarginatus</i> (Chapman et al. 2004) <i>Athysanus argentarius</i> (Chapman et al. 2004) <i>Autographa gamma</i> (Chapman et al. 2010) <i>Noctua pronuba</i> (Chapman et al. 2010) <i>Colymbetes fuscus</i> (Chapman et al. 2004) <i>Helophorus longitarsis</i> (Chapman et al. 2004) <i>Sigara distincta</i> (Chapman et al. 2004) <i>Psychoda trinodulosa</i> (Chapman et al. 2004) <i>Javesella pellucida</i> (Reynolds et al. 2017b) <i>Coccinella septempunctata</i> (Jeffries et al. 2013)



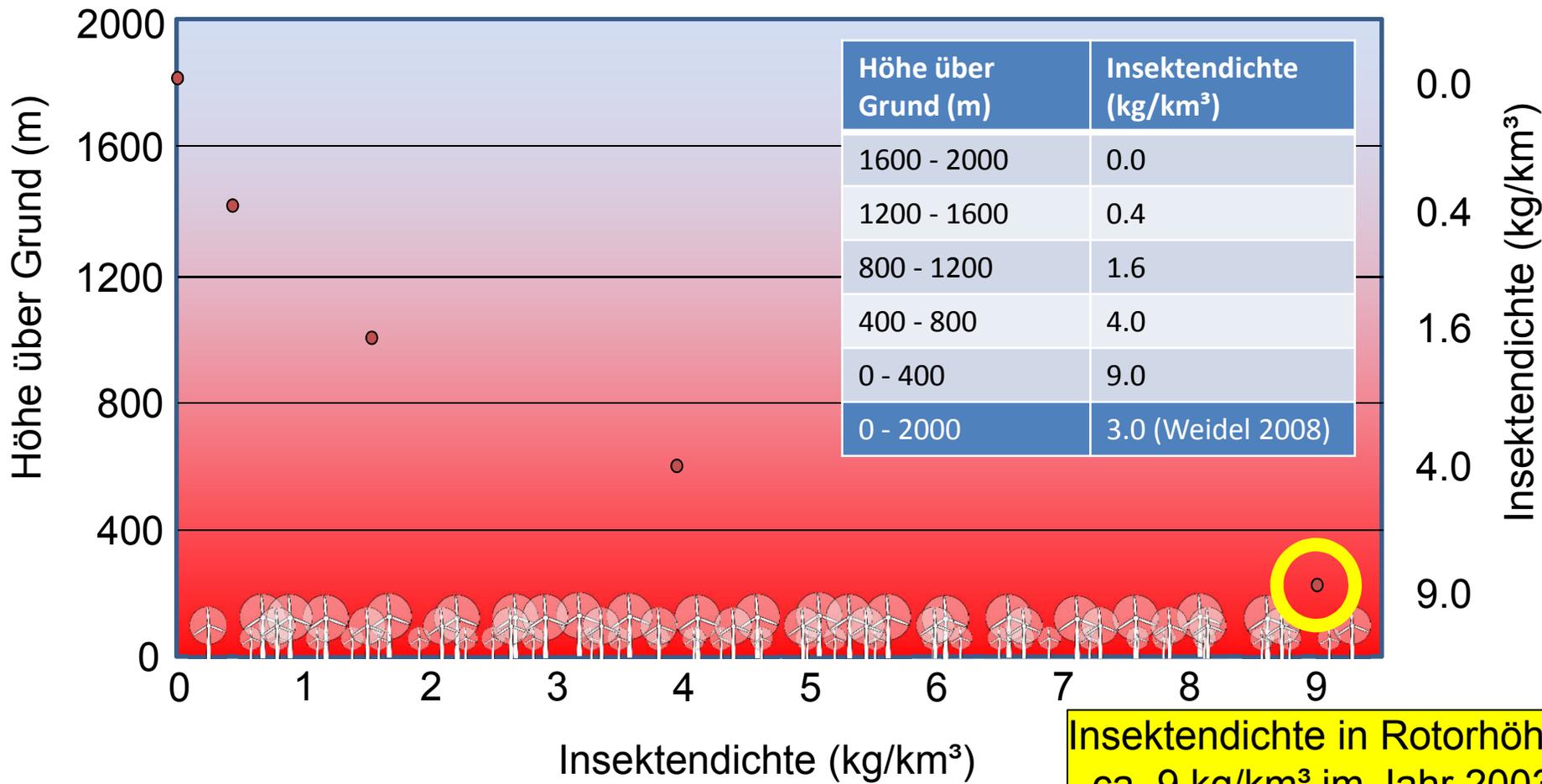
Wer fliegt denn da?



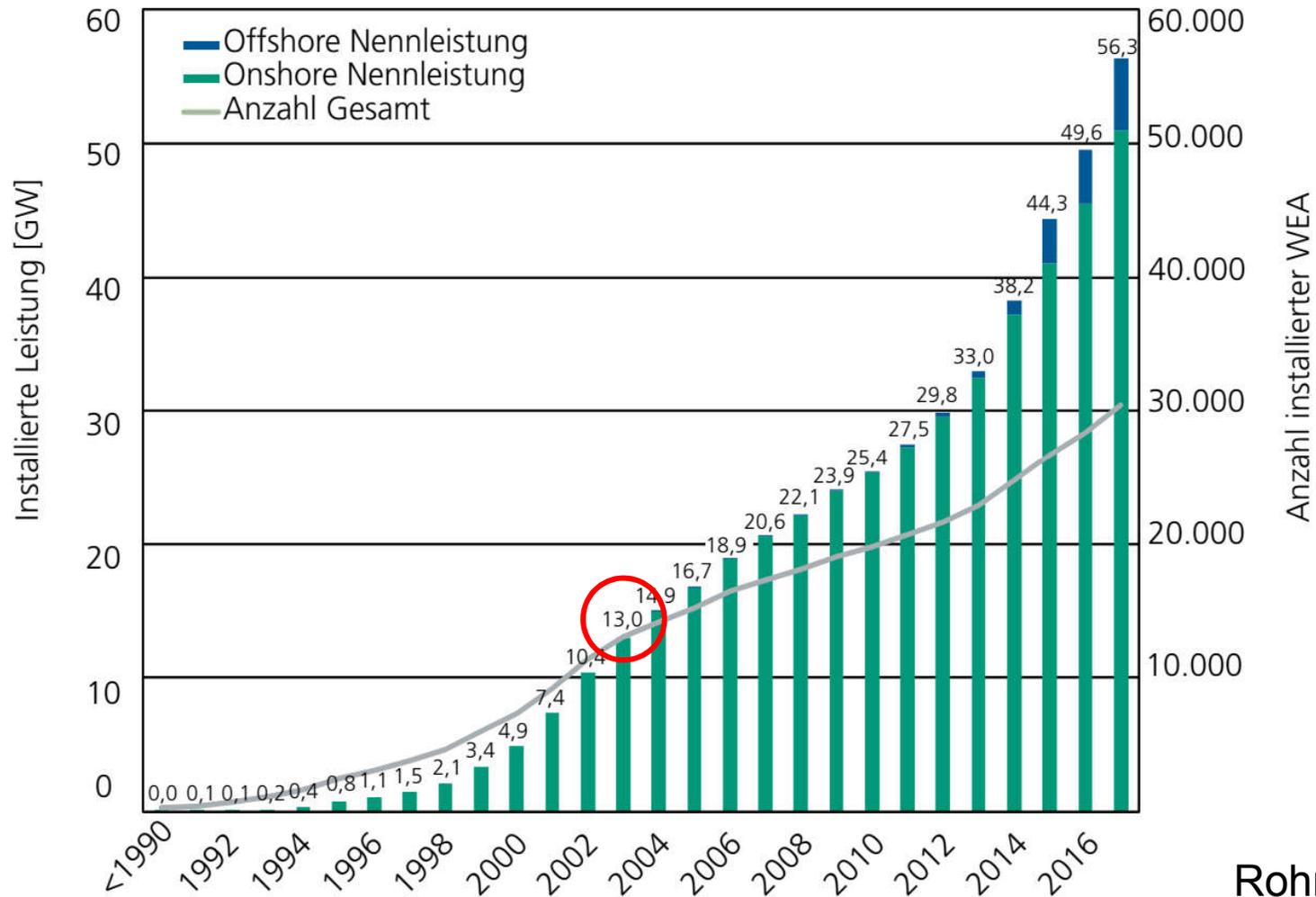
... und was passiert wohl, wenn die hier durch einen Rotor fliegen?



Modell einer annähernd logarithmischen vertikalen Verteilung der Fluginsekten nach Johnson (1957)



Ausbau der Windkraftanlagen in Deutschland seit 1990

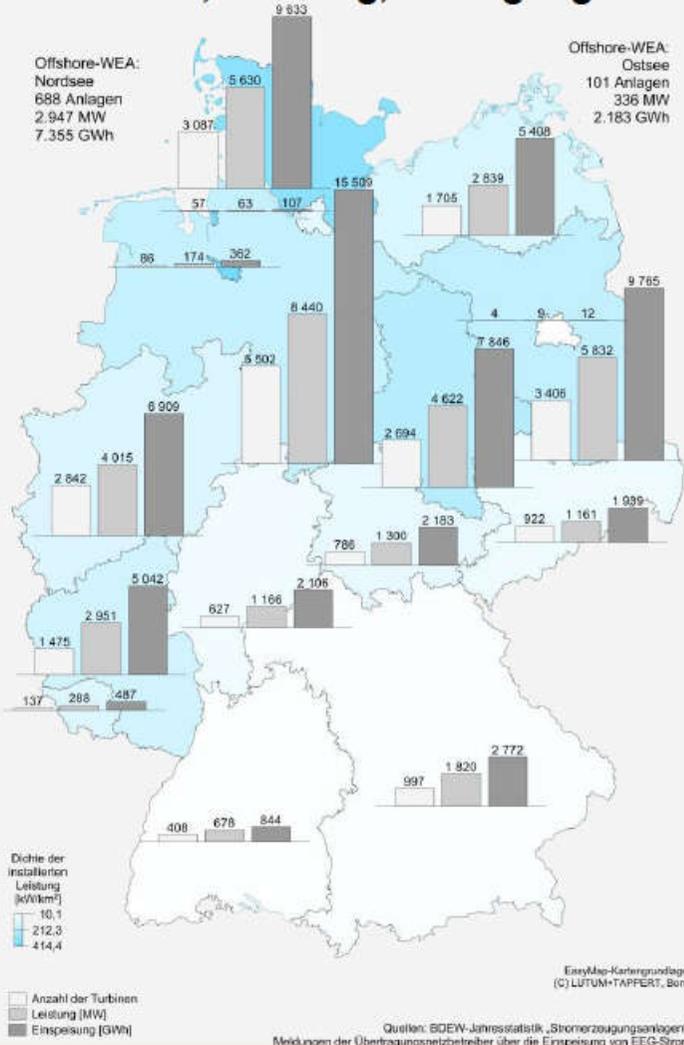


Rohrig (2018)



Windkraftanlagen in Deutschland im Jahr 2016

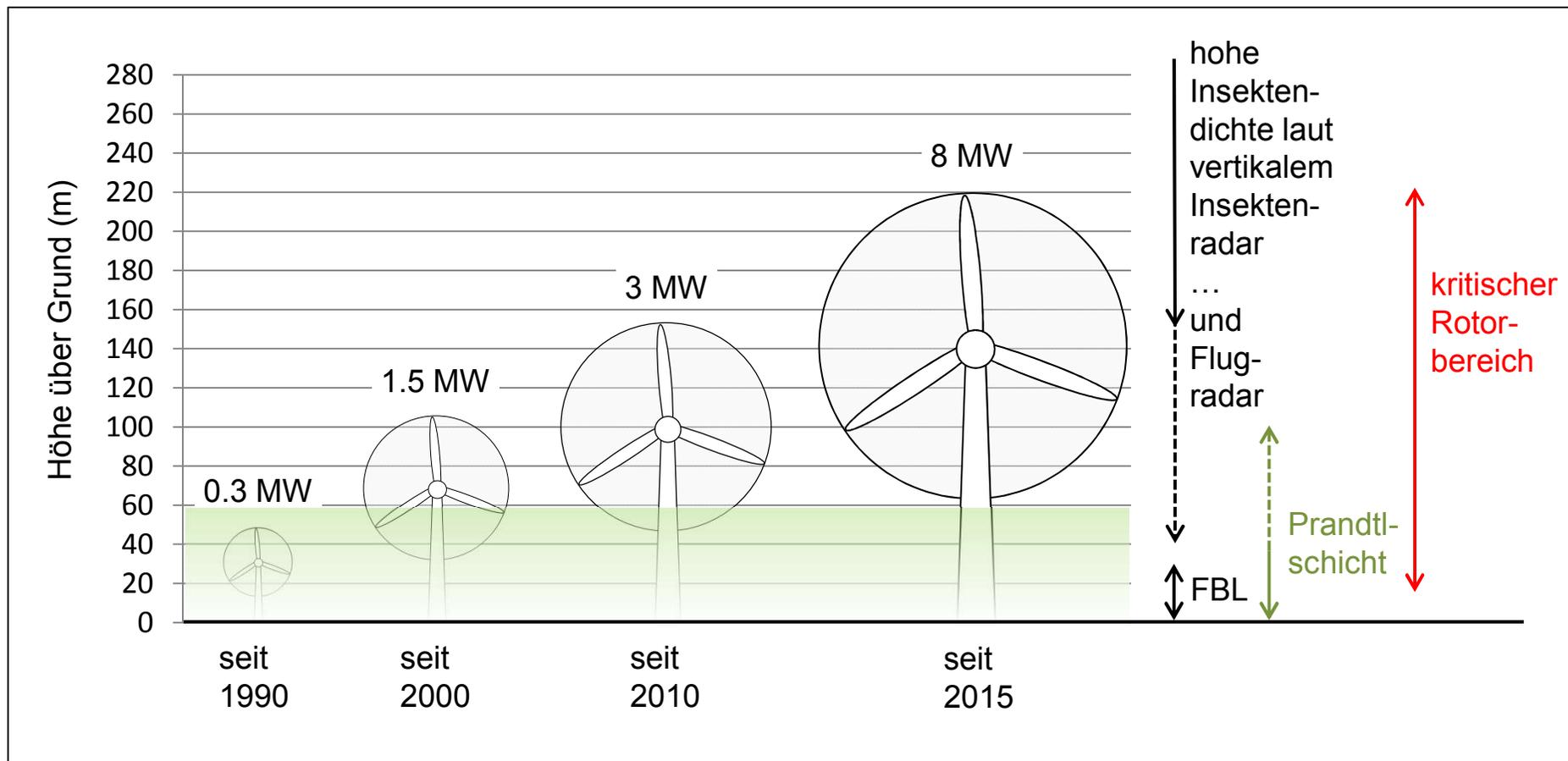
Anzahl, Leistung, Erzeugung



Jahresvolllaststunden



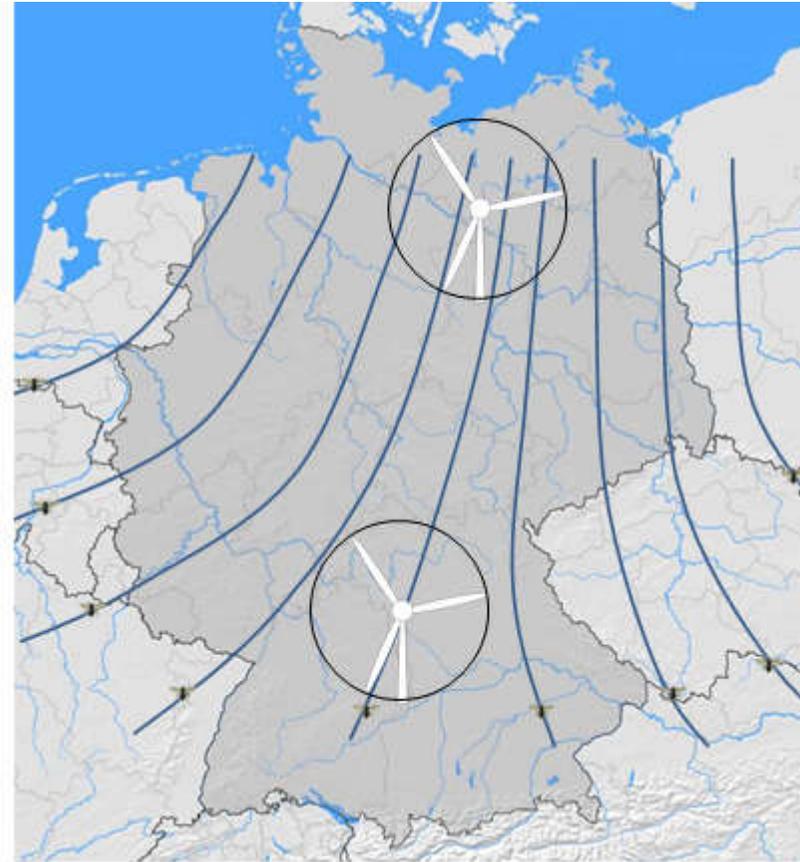
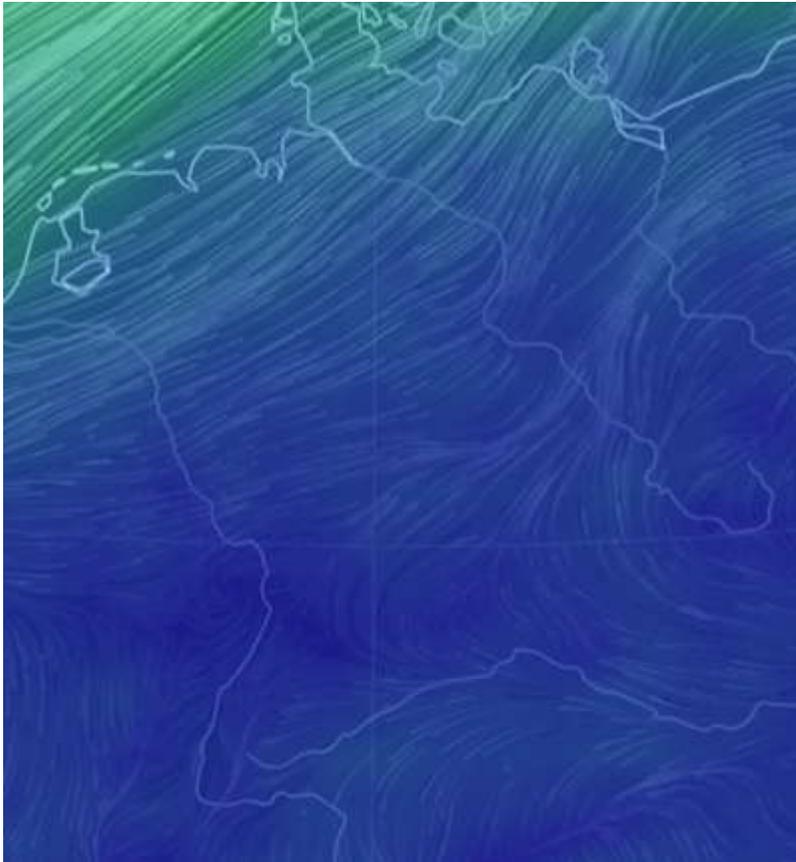
Windkraftanlagen und migrierende Fluginsekten suchen und nutzen den Wind oberhalb der Prandtl-Schicht



FBL: Normale Fluggrenze (Flight Boundary Layer) bei ca. 30 m



Die Rotoren durchquerende Menge an Fluginsekten ist proportional zur Insektendichte und Windgeschwindigkeit



earthwindmap 20.06.2018, 14:00



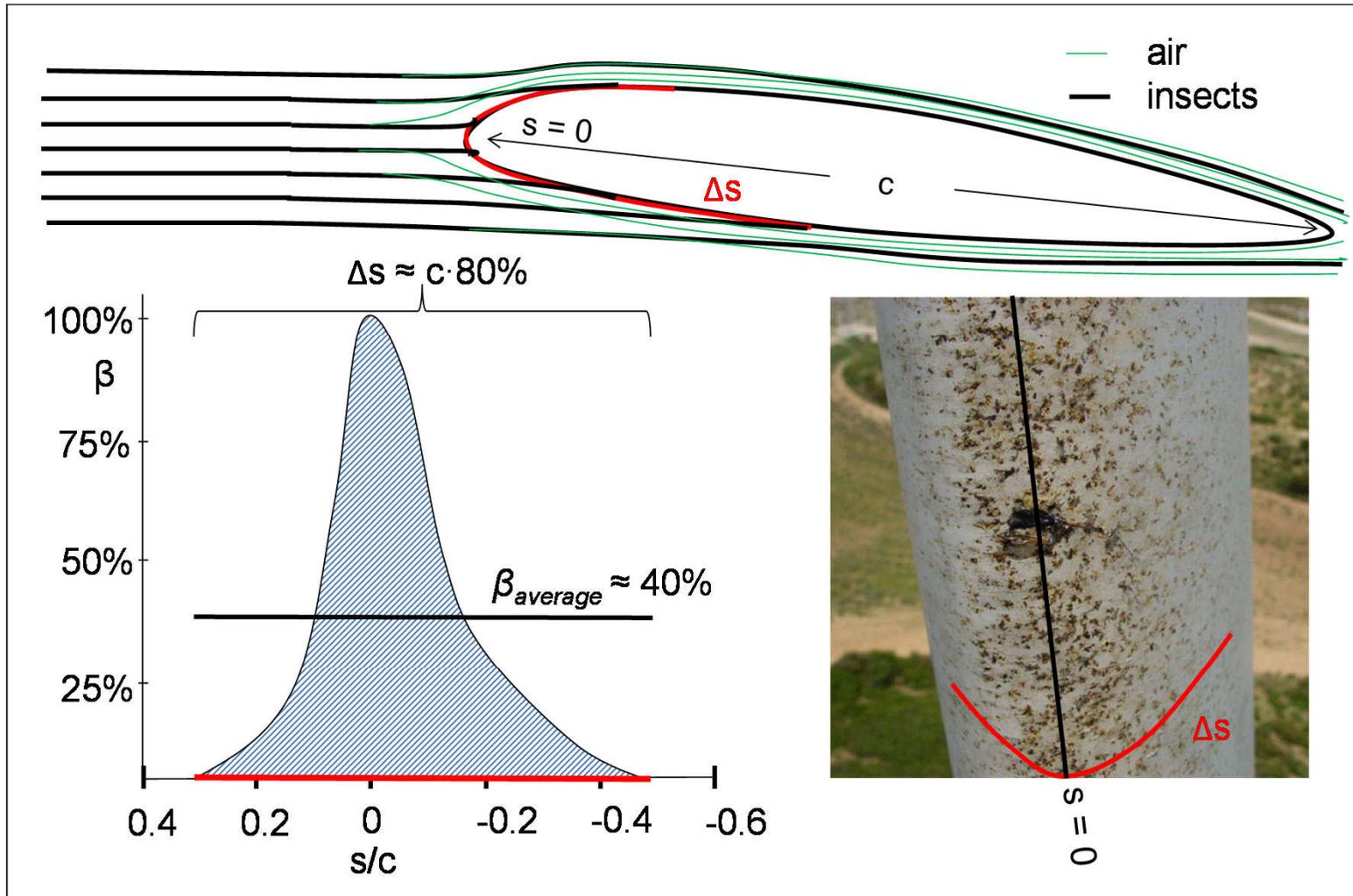
Die Dichte der Insekten in der Luft ist gering, aber die Volumenströme durch den Windpark sind gewaltig

- Installierte Leistung der Windgeneratoren 2017: 56 GW
- Rotorfläche in Deutschland: 158 Mio. m²
- Volumenstrom durch die Rotoren: 8 Mio. km³/a (Apr-Okt)
- Angenommene durchschnittliche Insektendichte: 9 kg/km³ (in Rotorhöhe)
- Durchsatz an Fluginsekten (M_{Rotor}): 72.000 t/a

- Verhältnis Blattfläche / Rotorfläche: 5%
- Potenzieller Schaden (M_{Schaden}): 3.600 t/a
- Mittlere Insektenmasse: 1 mg/Insekt
- Anzahl potenziell beschädigter Insekten: 3.600 Mrd./a
18 Mrd./Tag (Apr-Okt)



Wissenschaftlich quantifizierbare Verschmutzung



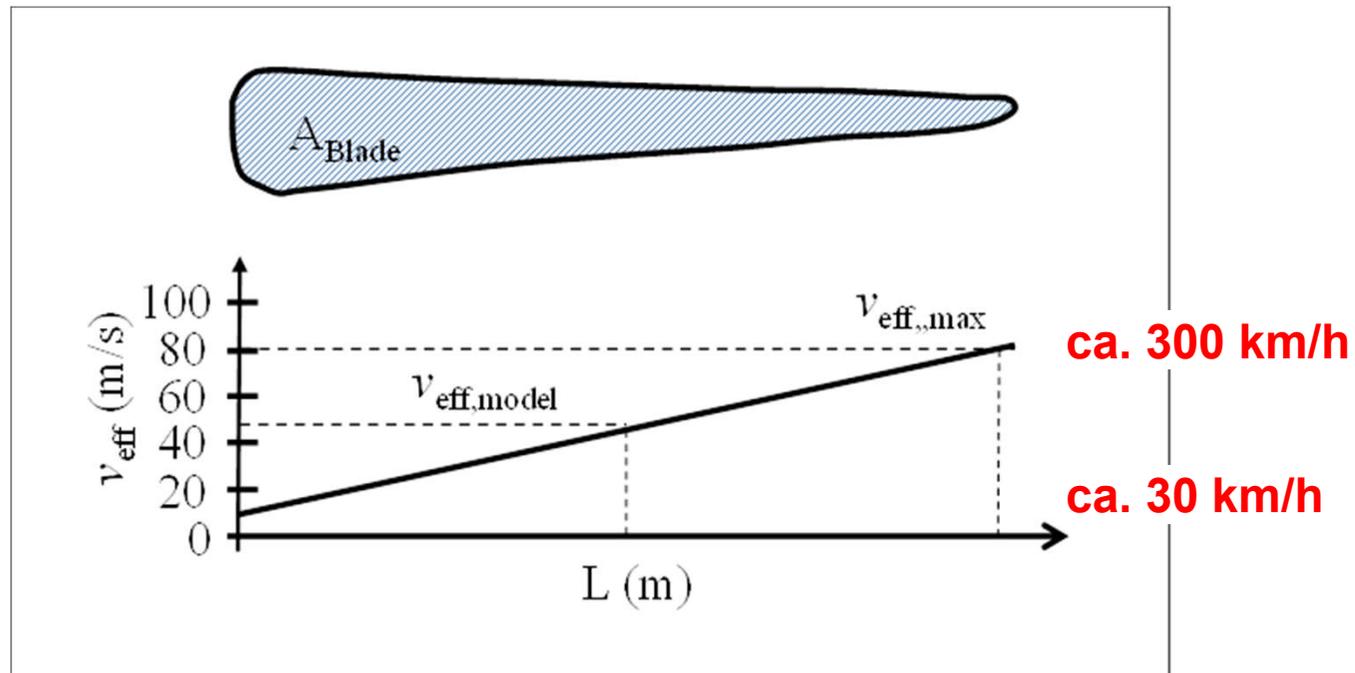
Theoretisch fliegen 95% unbeschädigt durch den Rotor

$$\rho_{damage} = \rho_{surface} \cdot \rho_{impact} \cdot \beta_{average} \cdot \frac{v_{eff,model}}{v_{wind}}$$

≈ 5%

5% Δs/c=80% 40% 45 m/s
 ρ_{surface} ρ_{impact} β_{average} v_{eff,model}
 14 m/s

Blattflächenanteil Verschmutzungslänge Sammelwirkungsgrad

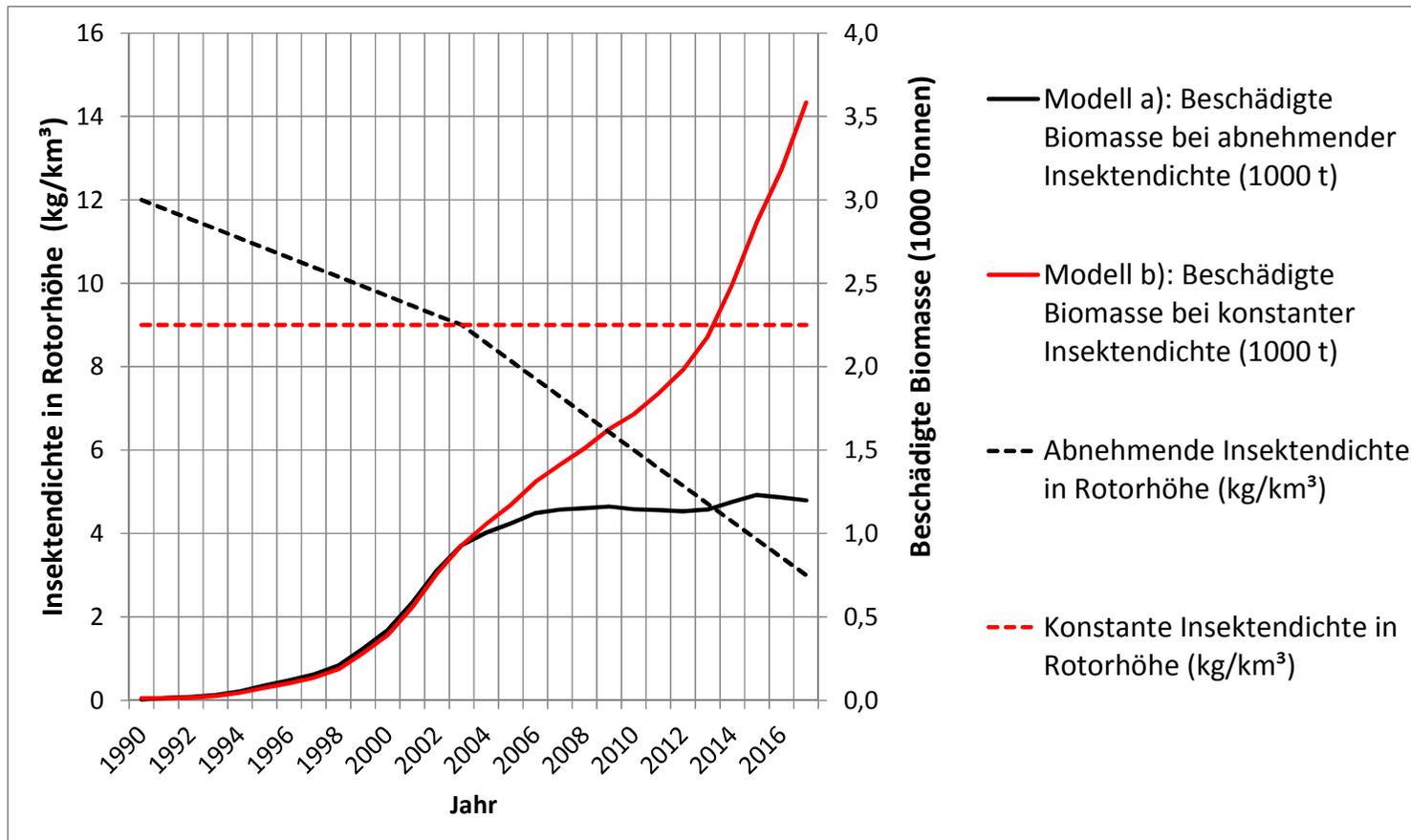


Ergebnis der Modell- analyse:

Jahr				a) Abnehmende Insektendichte			b) Konstante Insektendichte		
	Installierte Leistung	Rotorfläche	Saisonaler Durchsatz	Insekten- dichte	Gefährdete Biomasse	Beschädigte Biomasse	Insekten- dichte	Gefährdete Biomasse	Beschädigte Biomasse
	$P_{windpark}$	A	V_{wind}	δ_{insekt}	M_{Rotor}	$M_{Schaden}$	δ_{insekt}	M_{Rotor}	$M_{Schaden}$
	MW	10^6 m^2	10^6 km^3	kg/km ³	1000 t/a	1000 t/a	kg/km ³	1000 t/a	1000 t/a
1990	63	0,2	0,0	12,00	0,1	0,0	9,00	0,2	0,0
1991	105	0,3	0,0	11,77	0,3	0,0	9,00	0,2	0,0
1992	175	0,5	0,0	11,54	0,4	0,0	9,00	0,3	0,0
1993	319	0,9	0,0	11,31	0,6	0,0	9,00	0,5	0,0
1994	612	1,7	0,1	11,08	1,1	0,1	9,00	0,9	0,0
1995	1.092	3,1	0,2	10,85	1,8	0,1	9,00	1,5	0,1
1996	1.525	4,3	0,2	10,62	2,4	0,1	9,00	2,0	0,1
1997	2.037	5,7	0,3	10,38	3,1	0,2	9,00	2,7	0,1
1998	2.849	8,0	0,4	10,15	4,2	0,2	9,00	3,7	0,2
1999	4.352	12,2	0,6	9,92	6,2	0,3	9,00	5,6	0,3
2000	6.069	17,0	0,9	9,69	8,4	0,4	9,00	7,8	0,4
2001	8.710	24,4	1,2	9,46	11,7	0,6	9,00	11,2	0,6
2002	11.873	33,2	1,7	9,23	15,6	0,8	9,00	15,2	0,8
2003	14.546	40,7	2,1	9,00	18,6	0,9	9,00	18,6	0,9
2004	16.534	46,3	2,3	8,57	20,1	1,0	9,00	21,1	1,1
2005	18.346	51,4	2,6	8,14	21,2	1,1	9,00	23,4	1,2
2006	20.527	57,5	2,9	7,71	22,5	1,1	9,00	26,2	1,3
2007	22.144	62,0	3,1	7,29	22,9	1,1	9,00	28,2	1,4
2008	23.704	66,4	3,3	6,86	23,0	1,2	9,00	30,2	1,5
2009	25.508	71,4	3,6	6,43	23,2	1,2	9,00	32,5	1,6
2010	26.926	75,4	3,8	6,00	22,9	1,1	9,00	34,3	1,7
2011	28.873	80,8	4,1	5,57	22,8	1,1	9,00	36,8	1,8
2012	31.095	87,1	4,4	5,14	22,7	1,1	9,00	39,6	2,0
2013	34.227	95,8	4,8	4,71	22,9	1,1	9,00	43,6	2,2
2014	39.153	109,6	5,5	4,29	23,8	1,2	9,00	49,8	2,5
2015	45.043	126,1	6,4	3,86	24,6	1,2	9,00	57,3	2,9
2016	50.011	140,0	7,1	3,43	24,3	1,2	9,00	63,6	3,2
2017	56.356	157,8	8,0	3,00	24,0	1,2	9,00	71,7	3,6
Kumulierte Biomasse (1990 - 2017 in t):					395	19,8		629	31,4



Beschädigte Biomasse im Fall a) abnehmender und im Fall b) gleichbleibender Insektendichte seit 1990

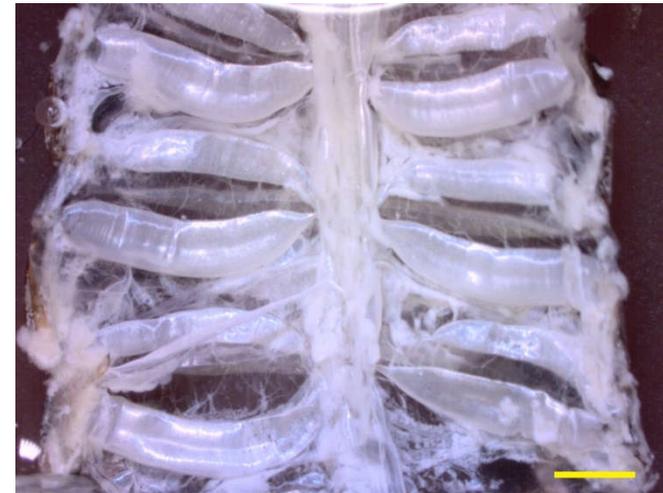


Was passiert im Fall einer Erholung der Insektenpopulation?



Im Modell nicht berücksichtigte Vorgänge

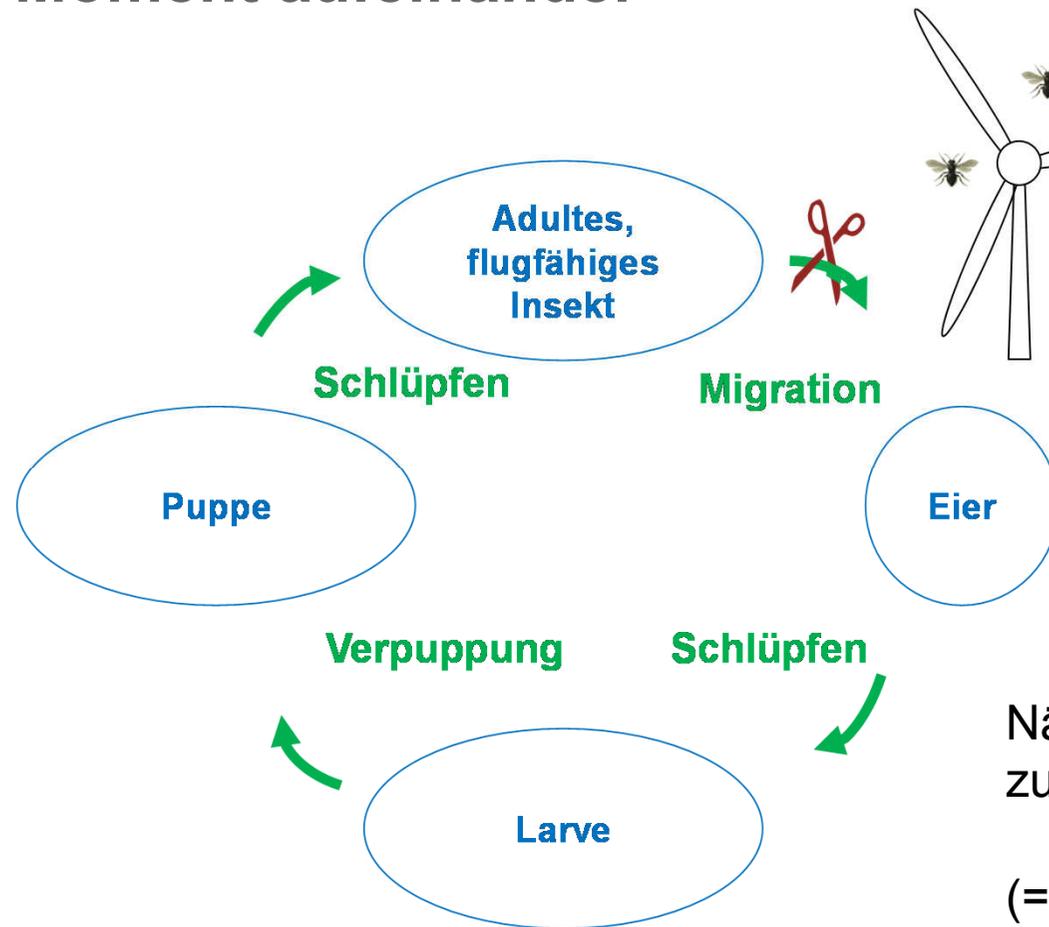
- Selektive Migration in starken Strömungen führt selektiv zu Windparks
- Lockwirkung von Insektenrückständen an Rotorblättern (Pfadmarkierung)
- Akustische gravitationsähnliche Schwarmkoordination
- Optische und thermische Lockwirkung durch Beleuchtung, Farbe und Wärme
- Auf- und Abstieg quer durch Rotorebene am Beginn und Ende der Migration
- Tatsächliche Betriebsstunden bei nicht nominaler Windgeschwindigkeit
- Unterschiedliche Massenträgheit und höheres Risiko großer Insekten
- Teilweiser Aufschlag an Fühlern, Mundwerkzeugen, usw. ohne sichtbare Rückstände an den Rotorblättern
- Barotrauma beim Durchfliegen des Unterdrucks auf der Saugseite der Rotorblätter ohne sichtbare Rückstände an den Rotorblättern



Tracheen einer Schabe



Fluginsekten und Windräder treffen in einem kritischen Moment aufeinander



- Schmetterlinge
- Marienkäfer
- Zikaden
- Heupferde
- Stubenfliegen
- Fruchtliegen
- Blattläuse
- Wespen
- Käfer
- Spinnen
- ...

Nächste Generation ist proportional zur Reproduktionsrate betroffen

(= normalerweise erfolgreiche Nachkommen pro Weibchen).



Gegenmaßnahmen

- Abschalten der Windparks von Apr bis Okt bei über 10°C Umgebungstemperatur → ca. 30% Verlust an Windenergieertrag.
- Schwarmerkennung durch RADAR/LIDAR und abschalten nur bei hohem (?) Schwarmaufkommen.
- Monitoring der betroffenen Fluginsekten und Erfassung von Verhaltensmustern und DNA-Barcodes an allen/repräsentativen Windparks.
- Intensive Untersuchung, Verifizierung und Quantifizierung der Schadensmechanismen und Entwicklung effektiver Präventivmaßnahmen.
- An Fledermäuse und Vögel angelehnte Abschaltungen sind unzureichend, da nicht überall Fledermäuse als Tracer für Fluginsekten vorhanden sind.
- Reduzierung der Leistung ist unzureichend, da Insekten schon bei niedrigen Aufprallgeschwindigkeiten beschädigt werden.



Status bisheriger Schutzmaßnahmen (MEE 2010)

- „Insekten sind auf Grund ihrer geringen Empfindlichkeit gegenüber Windenergieanlagen nur dann Gegenstand gezielter Untersuchungen, wenn sich das Habitat einer geschützten Art im **Baustellenbereich** befinden könnte.
- Da Windenergieprojekte keine umfangreichen Veränderungen der Lebensräume zur Folge haben, ist die **Vermeidung von Abschottungen im Allgemeinen die einzige zu berücksichtigende Maßnahme** zur Erhaltung der ökologischen Netze.
- Weitere Maßnahmen sind beispielsweise die **Regulierung des Betriebs der Anlagen während besonderer Risikozeiten** (starkes Insektenaufkommen und schwacher Wind). Diese Maßnahmen werden derzeit erprobt.,

Derzeitige Schutzmaßnahmen basieren auf zwei wesentlichen Irrtümern:

1. Insekten fliegen nur unterhalb ihrer natürlichen Fluggrenze bei 30 Metern über Grund
2. Insekten fliegen nicht bei hohen Windgeschwindigkeiten und Turbulenzen

➔ Viele Insekten erheben sich zum Zweck der Migration im geschlechtsreifen, flugfähigen Stadium bei gutem Wetter über die turbulente Prandtl-Schicht hinaus und fliegen dort bis zu 2000 Meter hoch mit hohen Geschwindigkeiten über teils große Entfernungen. Es gibt gute Gründe für die Annahme, dass die meisten Spezies in unterschiedlichen zeitlichen Abständen solche Verhaltensweisen aufzeigen (nach Johnson 1969).



Vorsorge- und Verursacherprinzip (UBA 2015)

Das Vorsorgeprinzip ist eines der Hauptprinzipien des deutschen Umweltrechts. Es ist in Artikel 34 Absatz 1 des Einigungsvertrags als Selbstverpflichtung des Gesetzgebers ausdrücklich geregelt und damit geltendes Bundesrecht. Das Vorsorgeprinzip ist darüber hinaus in Artikel 20a des Grundgesetzes verankert. Dieser beauftragt den Staat, auch in Verantwortung für künftige Generationen die natürlichen Lebensgrundlagen zu schützen, was neben Gefahrenabwehr auch Vorsorge gebieten kann.

Das Vorsorgeprinzip ermöglicht es dem Staat insbesondere, Situationen der Ungewissheit rechtlich zu bewältigen, und stellt sicher, dass der Staat auch in diesen Situationen handlungsfähig ist. Für staatliches Handeln bedarf es nicht der Überzeugung, dass ein Risiko tatsächlich vorliegt. Vielmehr genügen plausible oder ernsthafte Anhaltspunkte für ein Umweltrisiko.

Liegen diese vor, ist es Sache des Risikoverursachers, die begründeten Anzeichen für bestimmte Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu widerlegen und die der Besorgnis unterliegenden Annahmen zu erschüttern.



Fazit

- Die Windenergie kann durch einfache technische Maßnahmen einen nennenswerten Beitrag zur Minderung des Insektenrückgangs leisten.
- Dies setzt nicht voraus, dass die gesamte Fluginsektenpopulation und die Schäden durch andere Faktoren wie Verkehr, Insektizide, Monokulturen usw. zum Vergleich ebenfalls quantifiziert werden.
- Werden keine Gegenmaßnahmen ergriffen, wird der inzwischen stark angewachsene Windpark im Fall einer sich erholenden Insektenpopulation deutlich mehr Insekten schädigen als bisher und damit einer Erholung direkt entgegen wirken.
- Der anhaltende Verzicht auf einen Verträglichkeitsnachweis von Windkraftanlagen gegenüber migrierenden Fluginsekten nach 30 Jahren Ausbau der Windenergie steht im Konflikt mit dem im Grundgesetz verankerten Vorsorgeprinzip.
- Zum Teil schon vor 30 Jahren empfohlene sowie moderne Maßnahmen zum Monitoring und Schutz von Fluginsekten in Windparks sind ohne weitere Verzögerung umzusetzen.



Abschlussbericht auf:
www.dlr.de/tt/fluginsekten

Dr. Franz Trieb

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

Institut für Technische Thermodynamik | Systemanalyse und Technikbewertung

Pfaffenwaldring 38-40 | 70569 Stuttgart | Deutschland

Telefon ++49-(0)711-6862-423 | Telefax ++49-(0)711 6862 8100 | franz.trieb@dlr.de
www.DLR.de/tt/system



Literaturhinweise

Amirzadeh et al. (2017): Amirzadeh, B., Louhghalam, A., Raessi, M., Tootkaboni, M., A computational framework for the analysis of rain-induced erosion in wind turbine blades, part I: Stochastic rain texture model and drop impact simulations, Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics 163 (2017) 33–43, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jweia.2016.12.006>

Aralimarad et al. (2011): Flight altitude selection increases orientation performance in high-flying nocturnal insect migrants, Animal Behaviour 82 (2011) 1221-1225, doi:10.1016/j.anbehav.2011.09.013

BladeCleaning (2018): BladeCleaning - Limpieza de Palas, Quick Facts, website accessed 19.06.2018 http://www.bladecleaning.com/problematica_EN.htm

Böttger et al. (1990): Böttger, M., et al., Biologisch-ökologische Begleituntersuchungen zum Bau und Betrieb von Windkraftanlagen, Norddeutsche Naturschutz Akademie, NNA Berichte 3. Jahrgang, Sonderheft 1990 https://www.nna.niedersachsen.de/download/92395/B90-S_Biologisch-oeekologische_Begleituntersuchungen_zum_Bau_und_Betrieb_von_Windkraftanlagen.pdf

Chapman et al. (2004): Chapman, J. W., Reynolds, D. R., Smith, A. D., Smith, E. T. & Woiwod, I. P.. An aerial netting study of insects migrating at high-altitude over England. Bulletin of Entomological Research (2004), 94, 123-136, <https://doi.org/10.1079/BER2004287>

Chapman et al. (2010): Chapman, J.W., Nesbit, R.L., Burgin, L.E., Reynolds, D.E., Smith, A.D., Middleton, D.R., Hill, J.K., Flight Orientation Behaviors Promote Optimal Migration Trajectories in High-Flying Insects, Science 327, 682 (2010), DOI: 10.1126/science.1182990, Supporting Online Material <http://science.sciencemag.org/content/sci/suppl/2010/02/02/327.5966.682.DC1/Chapman.SOM.pdf>

Chapman et al. (2015): Chapman, J.W., Reynolds, D.R., Wilson, K., Long-range seasonal migration in insects: mechanisms, evolutionary drivers and ecological consequences, Ecology Letters, (2015), doi: 10.1111/ele.12407, http://www.lancaster.ac.uk/staff/wilsonk4/publications-files/Chapman_et_al_2015_ele12407.pdf

Contreras and Frasier (2008): Contreras, R.F., Frasier, S.J., High-Resolution Observations of Insects in the Atmospheric Boundary Layer, JOURNAL OF ATMOSPHERIC AND OCEANIC TECHNOLOGY, American Meteorological Society, Volume 25 (2008), DOI: 10.1175/2008JTECHA1059.1

Corten and Veldkamp (2001): Corten, G.P. & Veldkamp, H.F., Aerodynamics: Insects can halve wind-turbine power, Nature 412, 41–42 (05 July 2001), doi:10.1038/35083698 <http://www.nature.com/articles/35083698>

Corten (2001): Corten, G.P., Flow separation on wind turbine blades, Ph.D. Thesis, Utrecht University, 2001, ISBN 90-393-2582-0, NUGI 837, pp. 107

Deutscher Bundestag (2016): Ausschuss für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit des deutschen Bundestages, Wortprotokoll der 73. Sitzung, Öffentliches Fachgespräch zu dem Thema "Ursachen und Auswirkungen des Biodiversitätsverlustes bei Insekten", 18(16) SB-132 (2016) <https://www.bundestag.de/blob/416200/27ef1e1f3f6a34d1a9374f8702249dbf/protokoll-18-73-data.pdf>



Drake (1984): Drake, V.A., The vertical distribution of macro-insects migrating in the nocturnal boundary layer: a radar study, *Boundary Layer Meteorology* 28 (1984) 353-374. DOI: 0006-8314/84/0284-0353\$03.30.

Ehrmann et al. (2017): Ehrmann, R.S., Wilcox, B., White, E.B., Maniaci, D.C., Effect of Surface Roughness on Wind Turbine Performance, SANDIA Report SAND2017-10669, Sandia National Laboratories 2017 http://energy.sandia.gov/wp-content/uploads/2017/10/LEE_Ehrmann_SAND2017-10669.pdf

Fiore & Selig (2015): Fiore, G. and Selig, M.S., Simulation of Damage for Wind Turbine Blades Due to Airborne Particles, *Wind Engineering*, Volume 39, No. 4 (2015), 399–418, <https://doi.org/10.1260/0309-524X.39.4.399>

Geerts and Miao (2005): Geerts, B., Miao, Q., The Use of Millimeter Doppler Radar Echoes to Estimate Vertical Air Velocities in the Fair-Weather Convective Boundary Layer, *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, American Meteorological Society, Volume 22 (2005), 225-246, <https://doi.org/10.1175/JTECH1699.1>

Geiger et al. (2016): Geiger M, Moriniere J, Hausmann A, Haszprunar G, Wägele W, Hebert P, Rulik B (2016) Testing the Global Malaise Trap Program – How well does the current barcode reference library identify flying insects in Germany? *Biodiversity Data Journal* 4: e10671. <https://doi.org/10.3897/BDJ.4.e10671>

Gorbonos et al. (2016): Gorbonos, D., Ianconescu, R., Puckett, J.G., Ni, R., Ouellette, N.T., Gov, N.S., Long-range acoustic interactions in insect swarms: an adaptive gravity model, *New J. Phys.* 18 (2016) 073042, <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/18/7/073042/meta>

Hallmann et al. (2017): Hallmann C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., et al. (2017) More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS ONE* 12 (10): e0185809. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>

Hansson (1999): Hansson, B.S. (Ed.), *Insect Olfaction*, Springer (1999), Doi: 10.1007/978-3-662-07911-9

Harris et al. (2006): Harris, M., Hand, M., Wrigh, A., Lidar for Turbine Control, Technical Report NREL/TP-500-39154 (2006).

Hebert et al. (2003): Hebert, P.D.N., Cywinska, A., Ball, S.L. and deWaard J.R., Biological identifications through DNA barcodes. *Proceedings of the Royal Society B.* 270 (2003), 313–321. doi:10.1098/rspb.2002.2218, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1691236/>

Hinsch & Westermann (1996): Hinsch, C., Westermann, D., Rotorblattreinigung - was schafft der Regen, was der Reiniger? *DEWI Magazin* Nr. 9, August 1996 http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Magazin_09/08.pdf

Hu et al. (2016): Hu, G., Lim, K.S., Horvitz, N., Clark, S.J., Reynolds, D.R., Sapir, N., Chapman, J.W., Mass seasonal bioflows of high-flying insect migrants, *Science – Research Reports*, VOL 354 ISSUE 6319 (2016) <http://science.sciencemag.org/>



- Jeffries et al. (2013): Jeffries D.L., Chapman J., Roy H.E., Humphries S., Harrington R., et al. (2013), Characteristics and Drivers of High-Altitude Ladybird Flight: Insights from Vertical-Looking Entomological Radar. PLoS ONE 8(12): e82278. doi:10.1371/journal.pone.0082278
- Johnson (1957): Johnson, C.G., The distribution of insects in the air and the empirical relation of density to height, Journal of Animal Ecology, Vol. 26, No. 2 (1957), pp. 479-494, DOI: 10.2307/1760, <https://www.jstor.org/stable/1760>
- Johnson (1969): Johnson, C.G. (1969) Migration and dispersal of insects by flight. Methuen, London.
- Keuper (1993): Keuper, A., Windenergie ist aktiver Umwelt- und Naturschutz. – DEWI Magazin (1993) 2, S. 37-49, http://www.dewi.de/dewi/fileadmin/pdf/publications/Magazin_02/10.pdf
- Krishnan et al (2016): Krishnan, K., Robison, R., Tetteh, E., Loth, E., Farrell, T., Crouch, J., Berry, D., Characterization of insect residue on an aerodynamic leading edge, in 8th AIAA Atmospheric and Space Environments Conference (2016), pp. 3445.
- KNE (2018): Technische Systeme zur Vermeidung von potenziellen Auswirkungen auf Vögel und Fledermäuse durch die Windenergienutzung, Kompetenzzentrum Naturschutz und Energiewende (2018), <https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/2018/02/KNE-Synopse-Technische-Vermeidungsma%C3%9Fnahmen-02-2018.pdf>
- Long et al. (2011): Long, C.V., Flint, J.A. Lepper, P.A., Insect attraction to wind turbines: does colour play a role? Eur J Wildl Res (2011) 57:323–331; DOI 10.1007/s10344-010-0432-7
- LUBW (2017): Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg, Windkraft und Naturschutz, aktualisiert am 27.01.2017, <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/natur-und-landschaft/artenschutz-und-windkraft/>
- MEE (2010): Handbuch für die Umweltverträglichkeitsprüfung von Windparks, Ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement Durable et de la Mer (MEE), Übersetzung der Koordinierungsstelle Windenergie e.V. (2010), pp.81, http://www.naturpark-stephanshausen.de/pdf/Guide_etude_impact_eolien_2010_DT.pdf
- Mikkola (2003): Mikkola, K., Red Admirals Vanessa atalanta (Lepidoptera: Nymphalidae) select northern winds on southward migration, Entomologica Fennica 14 (2003), 15–24 http://www.entomologifennica.org/Volume14/EF_14_1/2Mikkola.pdf
- Phengpom et al. (2016): Phengpom, T., Kamada, Y., Maeda, T., Matsuno, T., Sugimoto, N., Analysis of Wind Turbine Pressure Distribution and 3D Flows Visualization on Rotating Condition, IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN), Vol. 06, Issue 02 (February. 2016), ||V1|| PP 18-30
- Reynolds et al. (2017): Reynolds, A.M., Sinhuber, M. and Ouellette, N.T., Are midge swarms bound together by an effective velocity-dependent gravity? Eur. Phys. J. E (2017) 40: 46, <https://doi.org/10.1140/epje/i2017-11531-7>
- Reynolds et al. (2017a): Reynolds, D.R., Chapman, J.W., Drake, V.A., Riders on the Wind: The Aeroecology of Insect Migrants, in P.B. Chilson et al. (eds.), Aeroecology, Springer Nature (2017), https://doi.org/10.1007/978-3-319-68576-2_7
- Reynolds et al. (2017b): Reynolds, D.R., Chapman, J.W., Stewart, A.J.A., Windborne migration of Auchenorrhyncha (Hemiptera) over Britain, Eur. J. Entomol. 114: 554–564, 2017, doi: 10.14411/eje.2017.070, ISSN (online): 1802-8829 <http://www.eje.cz>



Rohrig et al. (2017): Rohrig, K., (Hrsg.), Durstewitz, M., Behem, G., Berkhout, V., Buchmann, E., Cernusko, R., Faulstich, S., Hahn, B., Lutz, M.A., Pfaffel, S., Rehwald, F., Spriestersbach, S., Windenergie Report Deutschland 2017, Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik (IEE), ISBN 978-3-8396-1358-0, <http://dnb.de>

Rollins et al. (2012): Rollins, K. E., Meyerholz, D. K., Johnson, G. D., Capparella, A. P., & Loew, S. S. (2012). A forensic investigation into the etiology of bat mortality at a wind farm: barotrauma or traumatic injury? *Veterinary Pathology*, 49(2), 362-371.

Science News (2018): An impressive video of insect migration at Cole de Bretolet, Switzerland can be watched at <https://www.youtube.com/watch?v=O8REX5QeHo>

Stefanescu et al. (2013): Stefanescu, C., Páramo, F., Åkesson, S., Alarcón, M., Ávila, A., Brereton, T., Carnicer, J., Cassar, L.F., Fox, R., Heliola, J., Hill, J.K., Hirneisen, N., Kjellén, N., Kühn, E., Kuussaari, M., Leskinen, M., Liechti, F., Musche, M., Regan, E., Reynolds, D., Roy, D.B., Ryrholm, N., Schmaljohann, H., Settele, J., Thomas, C.D., van Swaay, C. & Chapman, J. (2013): Multi-generational long-distance migration of insects: studying the painted lady butterfly in the Western Palaearctic. *Ecography*, Volume 36, Issue 4, April 2013, Pages 474-486 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0587.2012.07738.x/abstract>

Stull (1988): Stull, R.B., *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*, Atmospheric and Oceanographic Sciences Library (1988), ISBN 978-94-009-3027-8

UBA (2015): Umweltbundesamt, Vorsorgeprinzip, Internet presentation 23.11.2015 <https://www.umweltbundesamt.de/themen/nachhaltigkeit-strategien-internationales/umweltrecht/umweltverfassungsrecht/vorsorgeprinzip>

UVPG (1990): Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung, Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz, <http://www.gesetze-im-internet.de/uvpg/index.html>

Weidel (2008): Weidel, H., *Die Verteilung des Aeroplanktons über Schleswig-Holstein*, Dissertation, Christian-Albrechts-Universität Kiel, 2008, <https://dnb.info/1019553197/34>

Wilcox & White (2016): Wilcox, B., White, E., Computational analysis of insect impingement patterns on wind turbine blades, *Wind Energy* 19 (2016), 483–495, DOI: 10.1002/we.1846 <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/we.1846>

Wilcox et al. (2017): Wilcox, B.J., White, E.B., Maniaci, D.C., Roughness Sensitivity Comparisons of Wind Turbine Blade Sections, Sandia National Laboratories, Sandia Report SAND2017-11288 (2017) http://energy.sandia.gov/wp-content/uploads/2017/10/LEE_Wilcox_SAND2017-11288.pdf

WindForS (2018): Wind Energy Research Cluster, Lidar Complex - Development of LIDAR technologies for detecting wind field structures with regard to optimising wind energy use in mountainous-complex terrain. <https://www.windfors.de/en/projects/lidar-complex/>

WTM (2018): Wind-Turbine-Models, database of existing wind turbines at the internet website <https://en.wind-turbine-models.com/turbines> accessed on 29.06.2018.

Flying insects tell tales of long-distance migrations, <https://www.sciencenews.org/article/flying-insects-tell-tales-long-distance-migrations>

