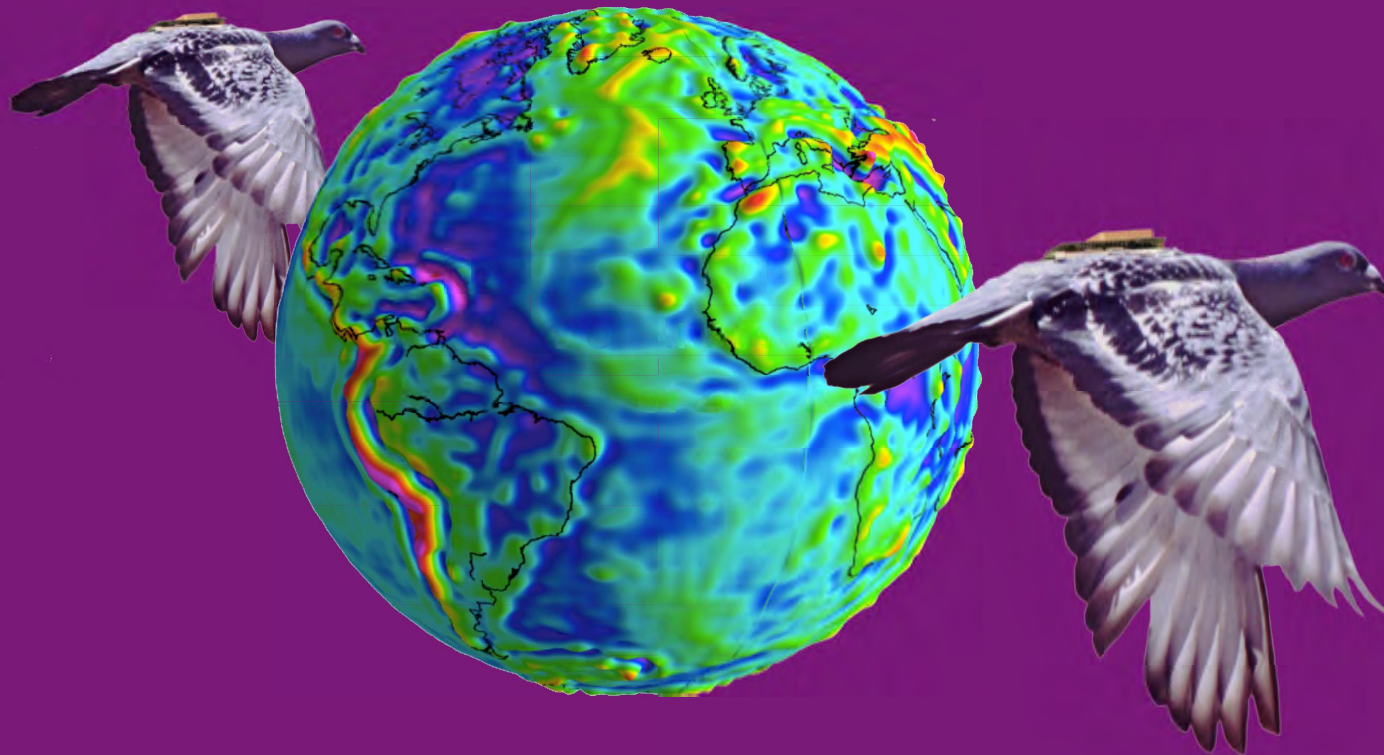
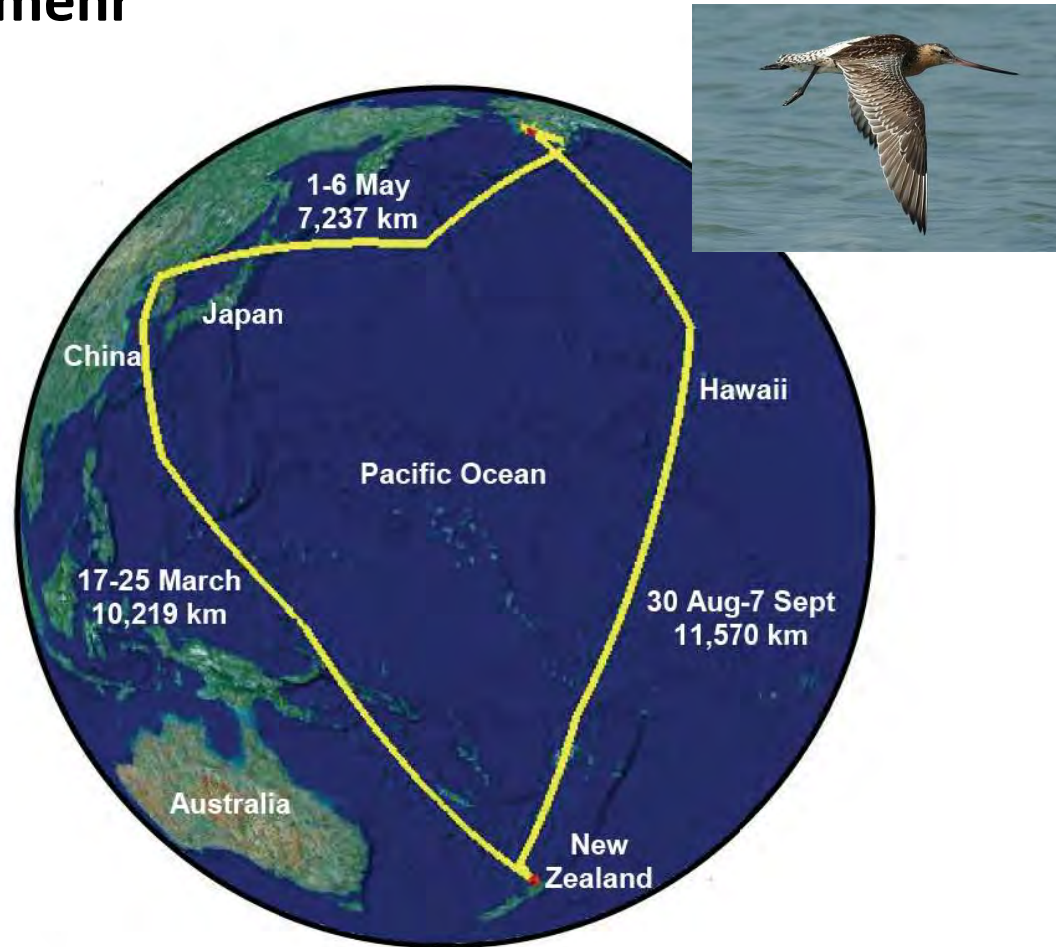


# Der 6. Sinn der Tauben – Neues aus der Vogelnavigation



Hans-Peter Lipp  
Anatomisches Institut Universität Zürich  
Naturwissenschaftliche Gesellschaft Winterthur  
27. November 2015

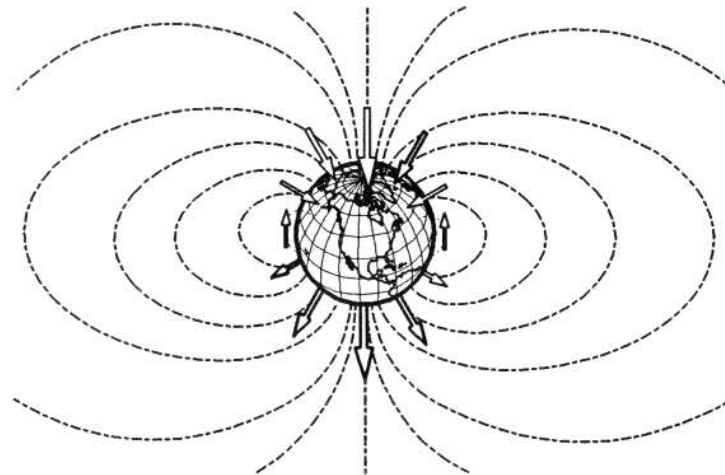
**Pfuhlschnepfen (*Lapponica mimosa*) fliegen um oder non-stop quer durch den Pazifik. Die Vögel müssen ihre Position kennen, sonst gäbe es sie nicht mehr**



**Zugroute einer Pfuhlschnepfe: von Neuseeland nach Alaska, via China und Korea (März Mai) und im Herbst wieder zurück, 11'570 km non-stop durch den Pazifik. Sie kennt zwei Ziele und benützt verschiedene Routen!**

# Worauf beruht ihr Positionssinn?

Die Lehrbuchmeinung: der Eintrittswinkel des Erdmagnetfelds



Hauptproblem: damit kann man den Breitengrad (Nord-Süd) bestimmen, aber nicht den Längengrad (Ost-West). **Etwas fehlt!**

# Albatrosse machen riesige Flüge von und zum Brutplatz quer durch den Indischen Ozean. Starke bewegliche Magnete auf dem Kopf verwirren sie nicht

## Orientation in the wandering albatross: interfering with magnetic perception does not affect orientation performance

F. Bonadonna<sup>1\*</sup>, C. Bajzak<sup>1</sup>, S. Benhamou<sup>1</sup>, K. Igloi<sup>1</sup>, P. Jouventin<sup>1</sup>, H. P. Lipp<sup>2</sup>  
and G. Dell’Omo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Behavioural Ecology Group, CNRS-CEFE, 1919 route de Mende, F-34293 Montpellier Cedex 5, France

<sup>2</sup>Division of Neuroanatomy and Behavior, Institute of Anatomy, University of Zurich, Winterthurerstrasse 190, CH-8057 Zurich, Switzerland

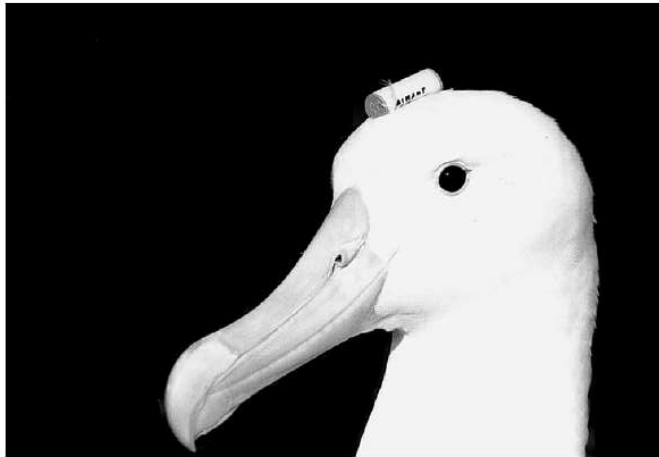
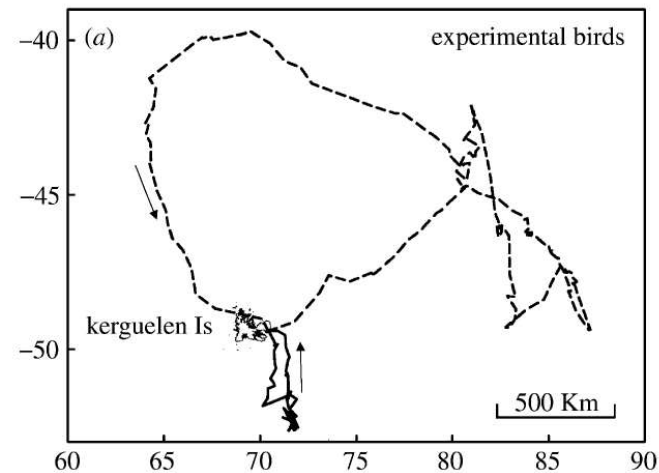


Figure 1. Wandering albatross with a head-mounted plastic box containing a mobile magnet.

8260 km mit Schüttelmagnet auf Kopf!



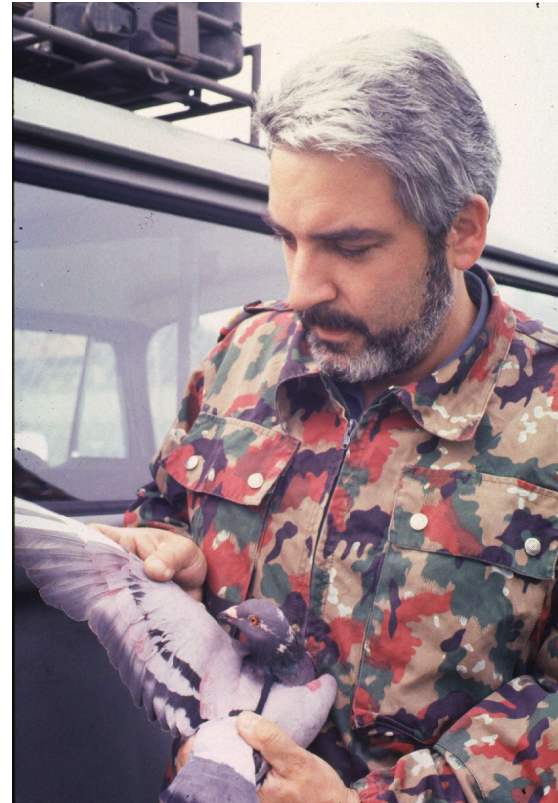


## Experimente mit Brieftauben



**Voll ausgerüstete Schweizer Armeebrieftaube (abgeschafft 1995)**

## Tempi passati: der Briefftaubendienst der Schweizer Armee (1917 - 1995)



## Wie finden Brieftauben den Weg?



Man kann es ihnen leider nicht zeigen

## **Ein wenig Theorie....**

**Das Heimfindevermögen der Brieftauben beruht auf:**

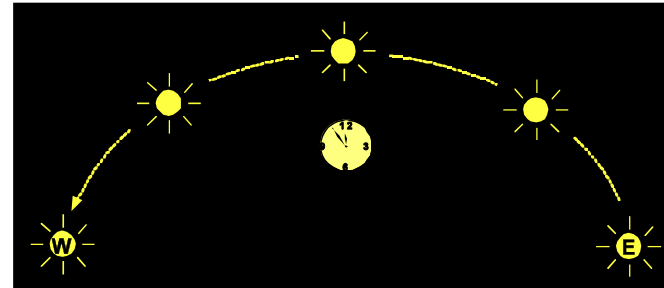
- Einem Sinn für Richtungen (Kompass)**
- Einem Sinn für die eigene Position  
(mentale Karte)**
- Motivation und Erfahrung**



# Der Richtungssinn (Kompass) hängt ab von:

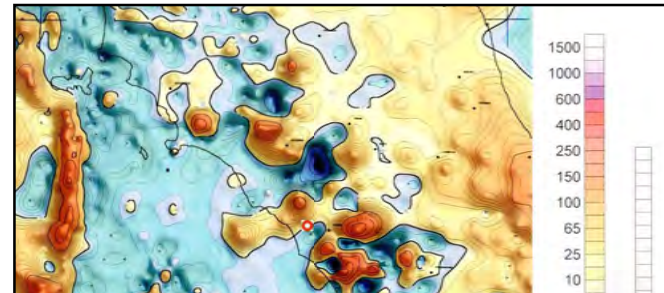
## Position der Sonne

- visuelle Wahrnehmung
- innere Uhr



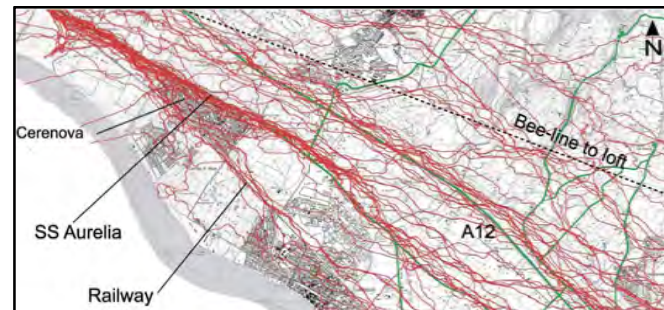
## Erdmagnetismus (?)

- Inklination Magnetfeld
- Stärke Magnetfeld
- Störungen des Erdmagnetfeldes



## Führung durch Leitstrukturen

- Strassen
- Eisenbahnen
- Küstenlinien etc

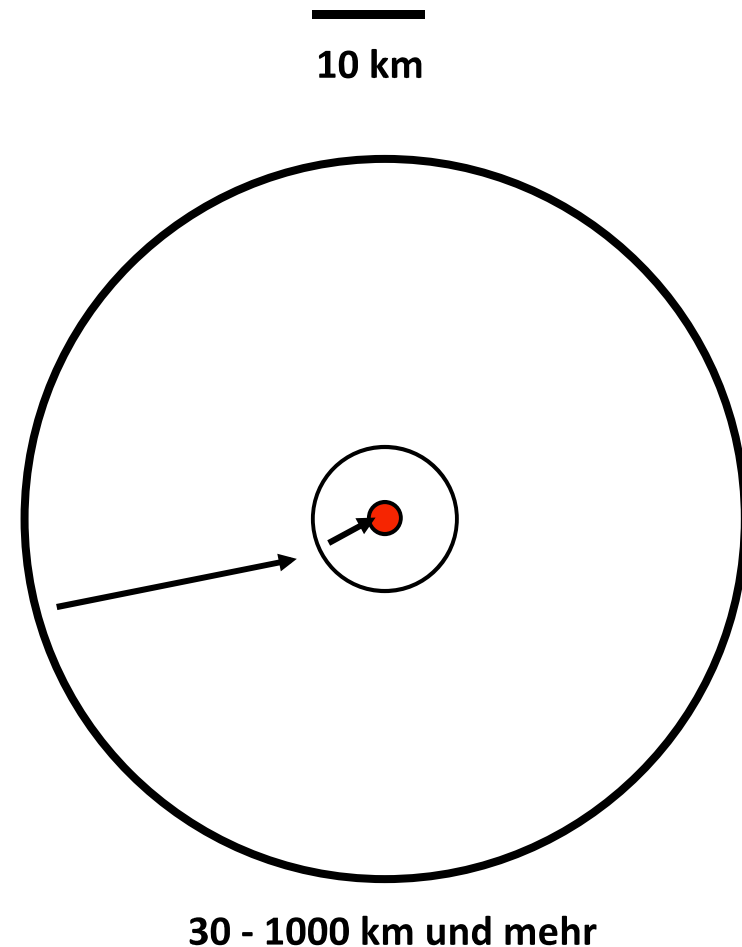




# Der Positions-Sinn - das grosse Geheimnis

## Zwei Arten mentaler Karten

- der Bezugspunkt: Heimschlag
- Die nähere Schlagumgebung (Erkennung von Landmarken)
- Langdistanz-Navigationskarte

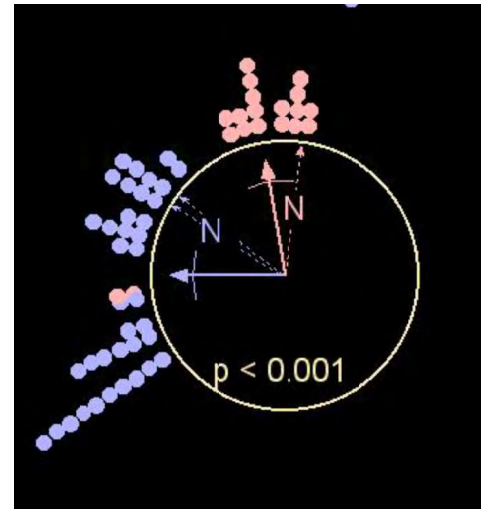


**Die Tauben werden im Verlauf von 1-4 Monaten auf die Koordinaten des Heimschlages geprägt: Geomagnetik, Geruchsinformationen und ????**

# Wie misst man Orientierung bei Brieftauben?



- Verschwinderichtung
- Heimkehrzeit



Während 50 Jahren - primitive Messungen!  
Was tut die Taube zwischen Auflass und Heimkehr?

## Moderne Methode: Wegaufzeichnung mit GPS



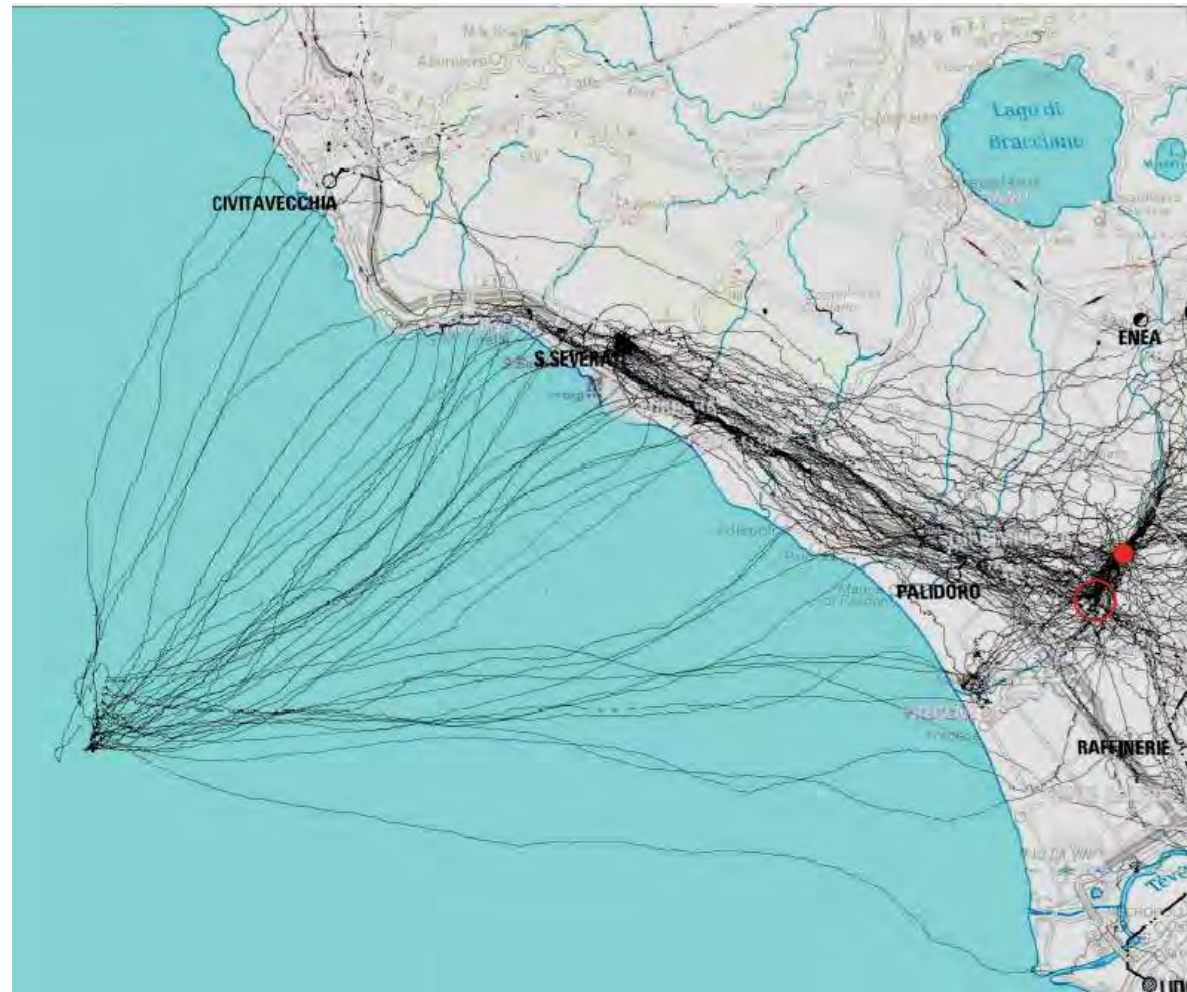
Foto Alfons Schmidlin

Die geographische Position der Taube wird jede Sekunde aufgezeichnet.

Taubenauflass mit GPS auf dem Meer.....



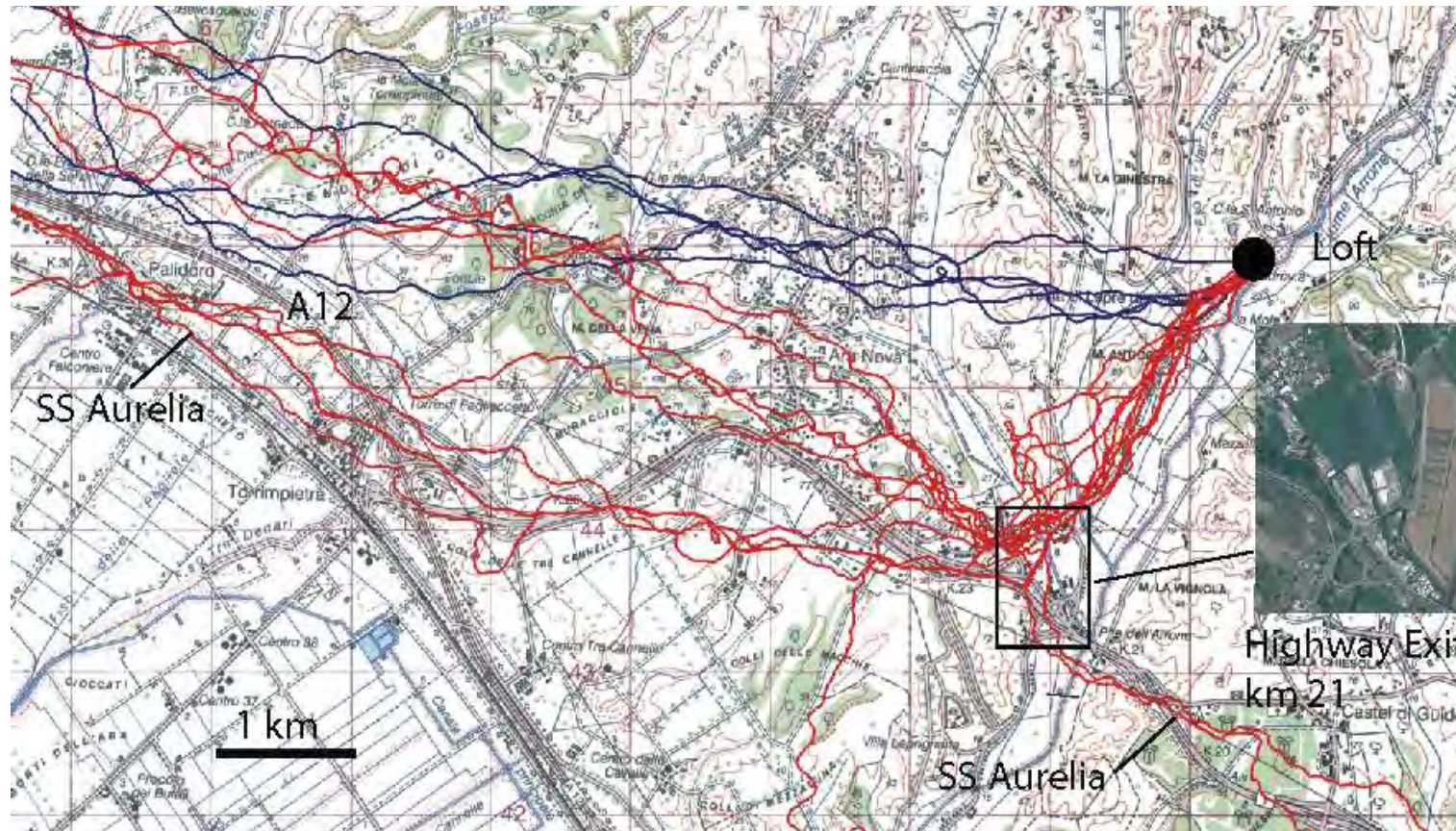
# Flugwege übers Meer: zuerst zum Land



und dann der Autobahn nach zum Schlag!



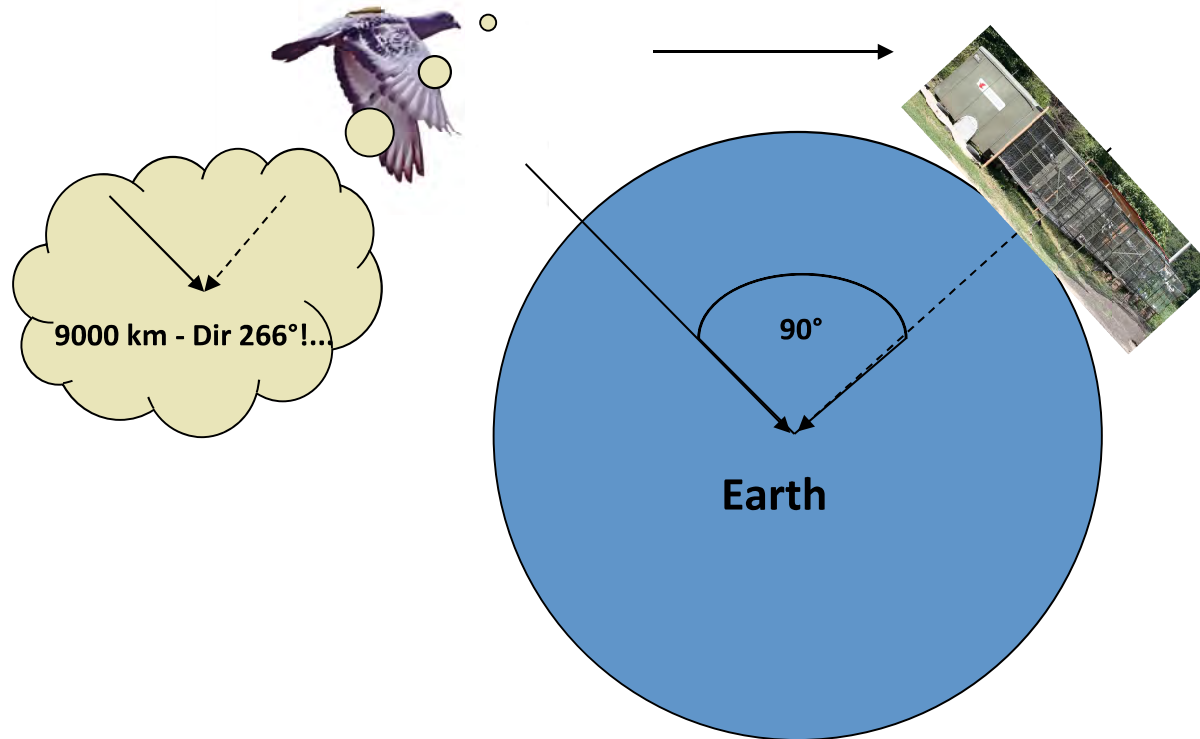
**Manche benützen sogar die Autobahnausfahrt!**



**Auch wenn es einen Umweg mit sich bringt!**

# Valerii Kanevskyi's Theorie

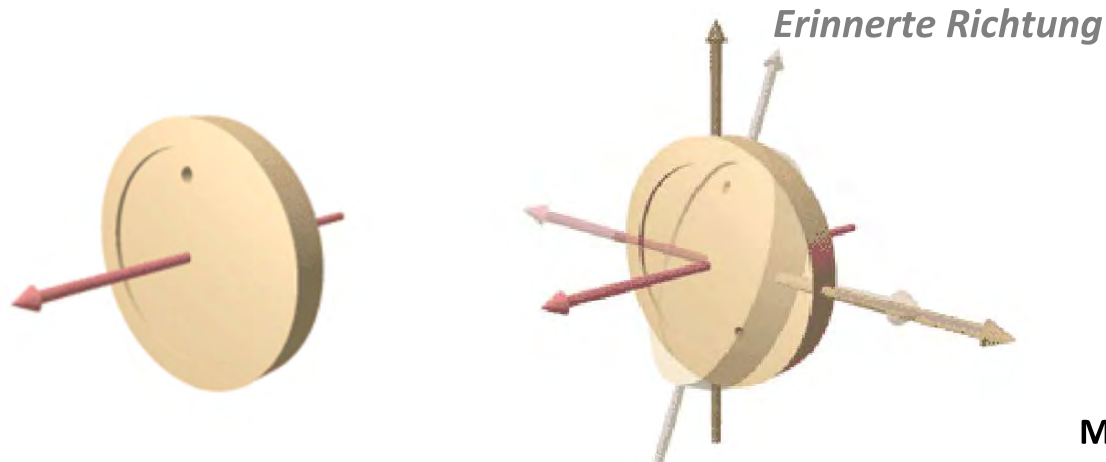
Tauben und Zugvögel können sich daran erinnern, **wie die Schwerkraft an ihrem Geburtsort gewirkt hat**. Sie vergleichen den Winkel zwischen erinnerter und lokaler Schwerkraft. Daraus ergibt sich die Richtung und Distanz nach Hause, von überall her auf der Welt.



Die heutige Technik benützt dazu ein Gyroskop

# Was ist ein Gyroskop?

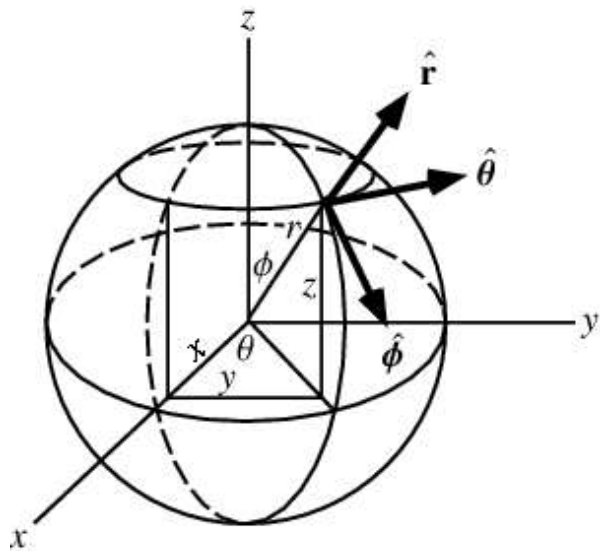
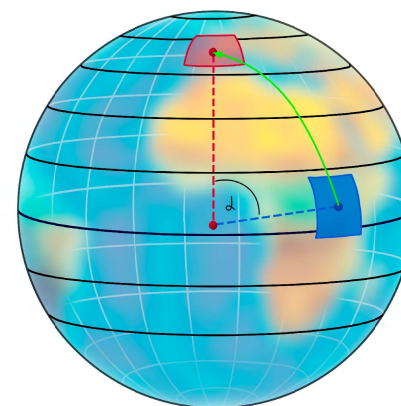
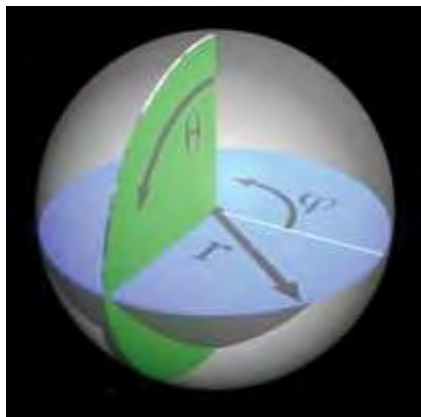
Aktuelle Richtung der Schwerkraft



Magnetresonanzgyroskop von Northrop-Grumman

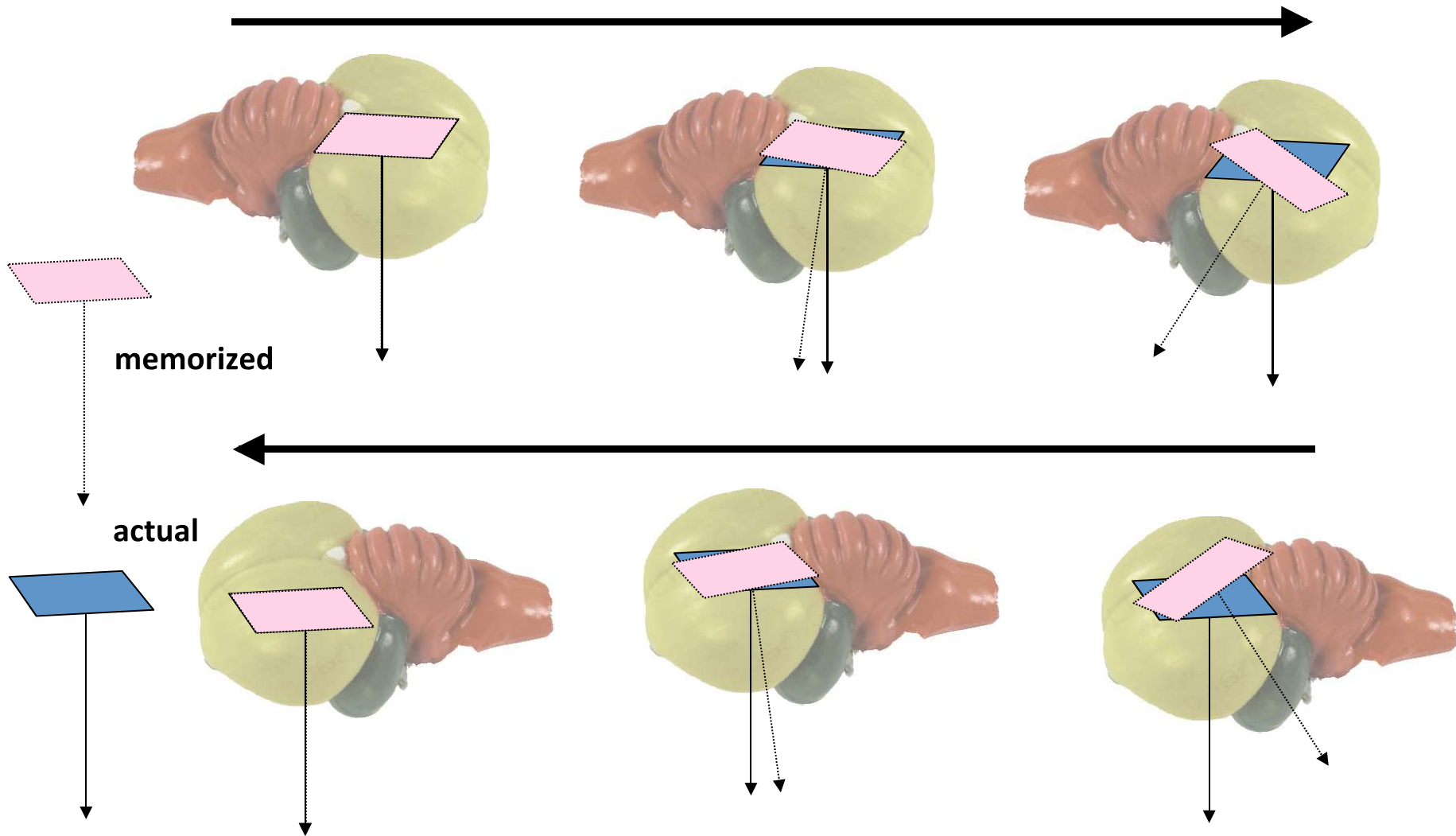
Die Schwungräder **behalten die Richtung der Schwerkraft** auch wenn sie anderswohin gebracht werden. Es ist eine Art mechanisches „Schwerkraftgedächtnis“. Heute gibt es auch kleinste nicht-mechanische Gyroskope

**Aus dem Vergleich von Schwerkraftvektoren kann man Heimrichtung und Distanz berechnen:**





**Neuronale Aktivitätsmuster von erinnerten und aktuellen  
Schwerkraftvektoren werden vielleicht im Taubengehirn  
übereinander projiziert -> analog zu einem künstlichen Horizont  
in einem Flugzeug?**

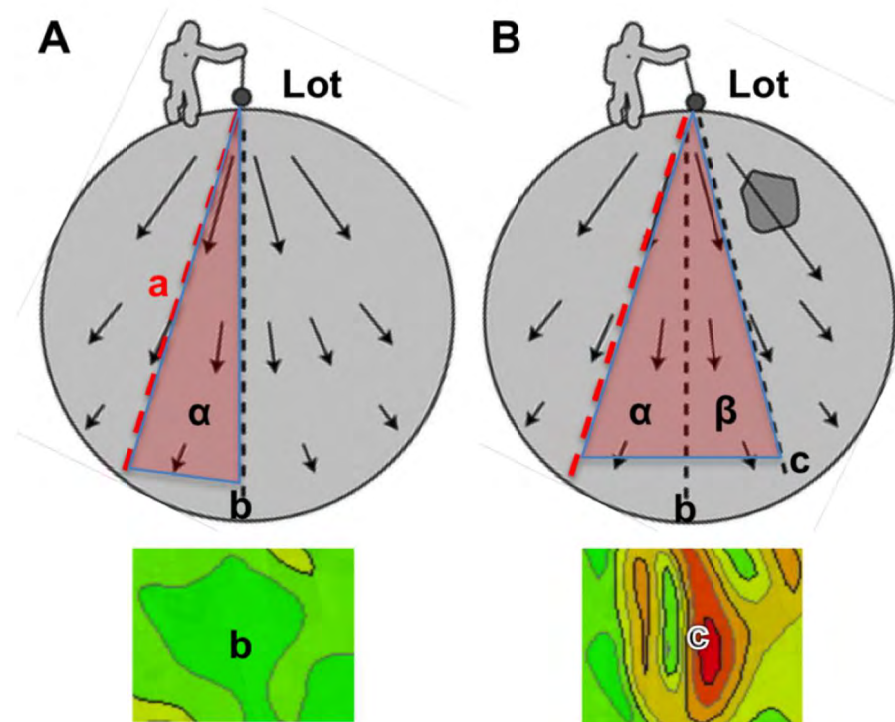
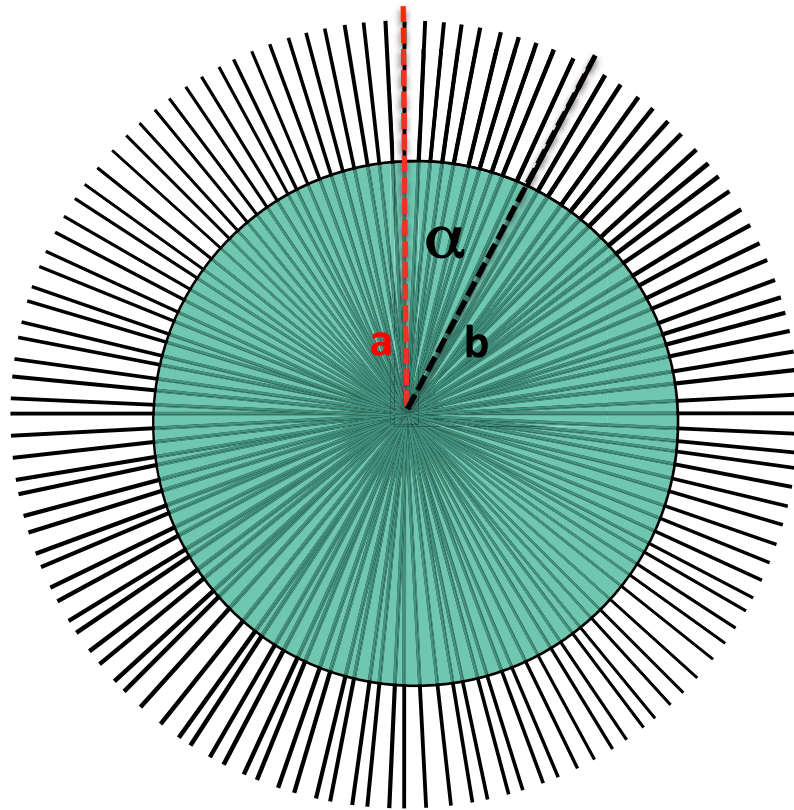




**Hypothese: wir erwarten dass Tauben über  
Schwerkraftanomalien Abweichungen im  
Flugpfad zeigen und sich allenfalls verirren**

**Was ist eine Schwerkraftanomalie?**

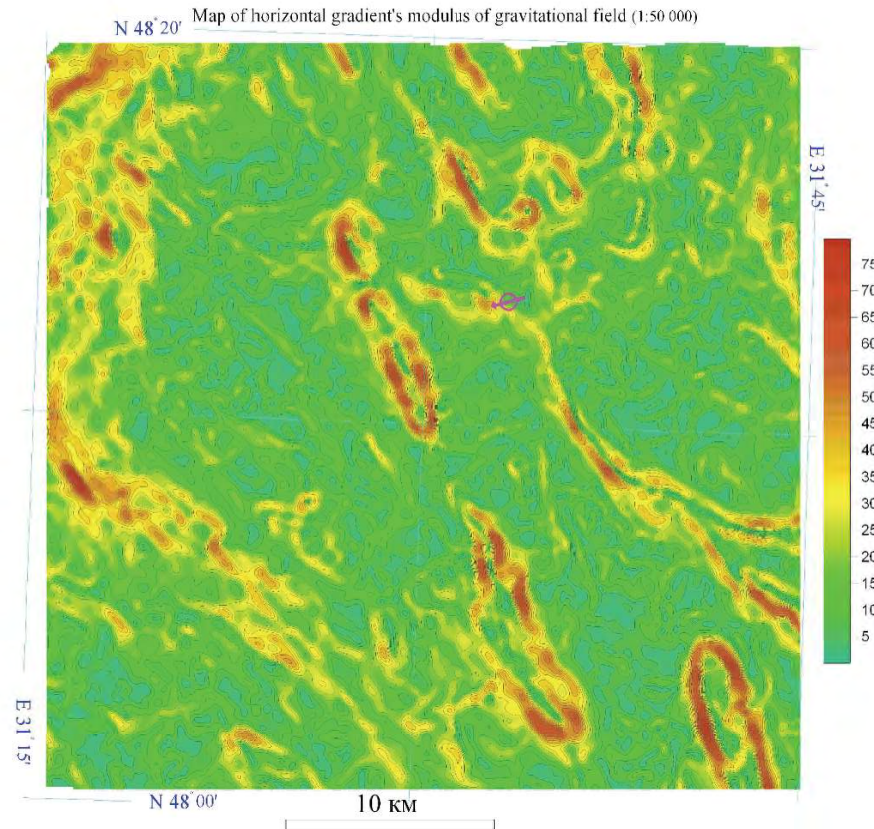
# Die Richtung der Schwerkraft ändert sich im Randbereich von Gravitationsanomalien



Normalerweise verändert sich die Richtung der Schwerkraft regelmässig über die Erdoberfläche

Schweres oder loses Material in der Tiefe erzeugt lokale Abweichungen in der Richtung der Schwerkraft. Diese Abweichungen können kartiert werden

# Karte mit horizontalen Abweichungen der Schwerkraft: machen diese den Tauben Probleme?







Bei „falscher“ Richtung der Schwerkraft (hier braun) berechnet die Taube ihren Standort nicht richtig, wird abgelenkt oder und kann sich verfliegen

# Voraussagen

- 1. Zieht man Brieftauben im Randbereich verschiedener Schwerkraftanomalien auf, so werden diese aus normalen Gebieten unterschiedlich abziehen (abnormale Heimkoordinaten).**
- 2. Brieftauben sollten beim Durchfliegen von Randzonen von Schwerkraftanomalien ihre Richtung ändern**
- 3. Lässt man Brieftauben aus Randgebieten von Schwerkraftanomalien auf, so sollten diese ihre Position falsch berechnen und sich öfters verirren**

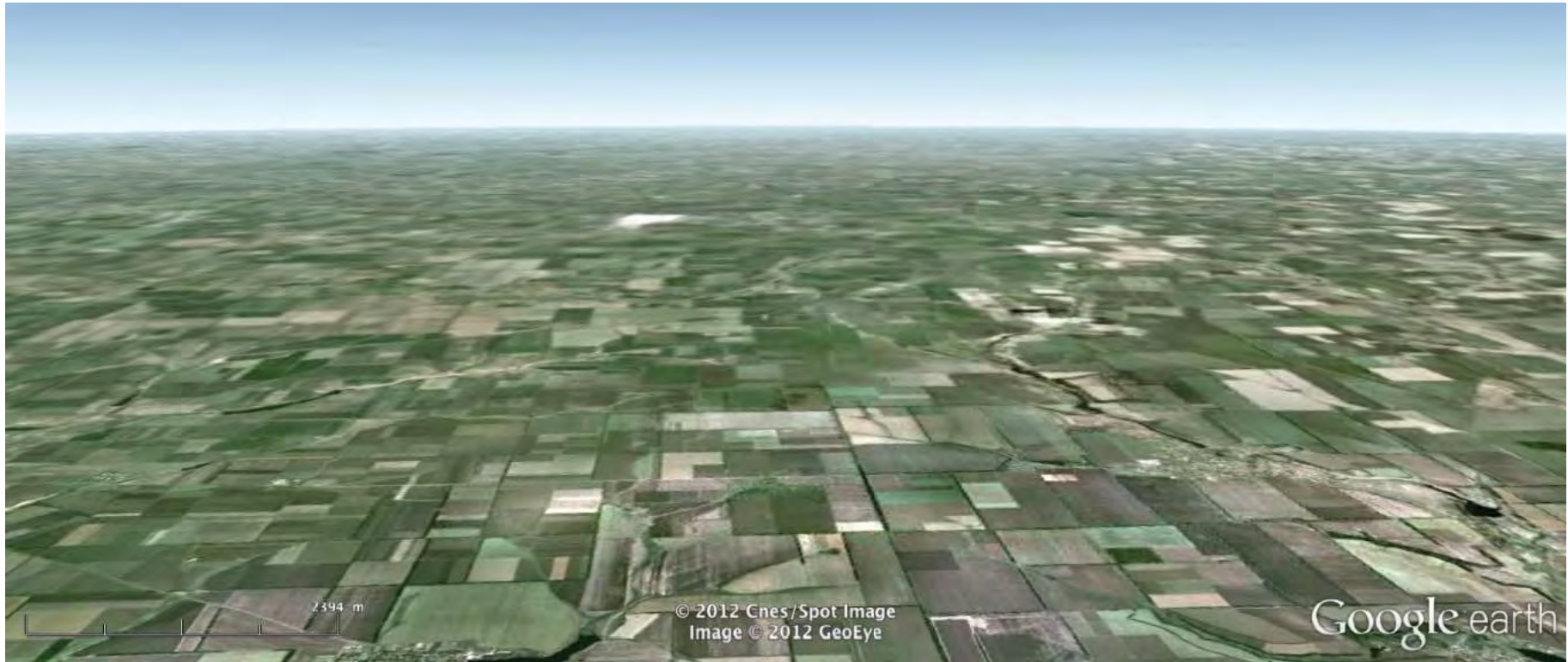
+

## Frühere Studien zur Beeinflussung der Taubenorientierung durch Schwerkraftanomalien

- Larkin & Keeton (1978) Mondphasen 
- Lednor & Walcott (1984) Schwache Anomalien 
- Kanevski (1984) Durchqueren von Anomalien 
- Dornfeldt (1990) Aus Schwerkraftanomalien 



**Um das zu testen muss man in ein flaches Land ohne Hügel und Berge – auf in die Ukraine**

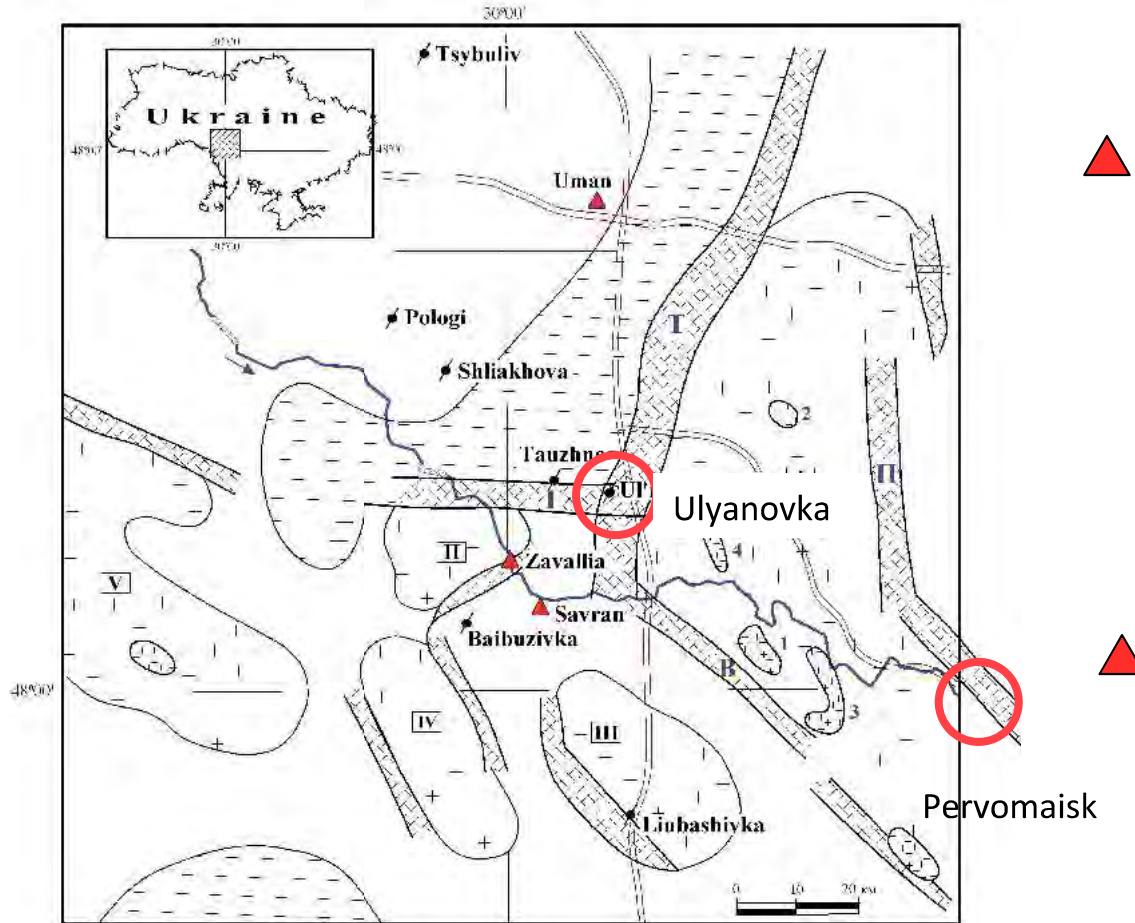


# Verschieben von mobilen Taubenschlägen der Schweizer Armee in die Ukraine

Januar 2010



# Die erste Zielregion: viele tektonische Brüche



Savran



Zavallia

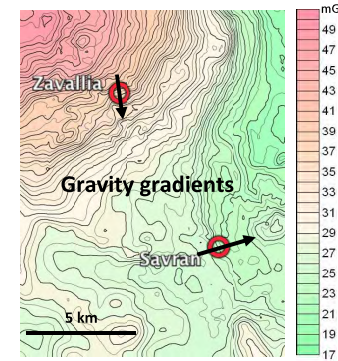
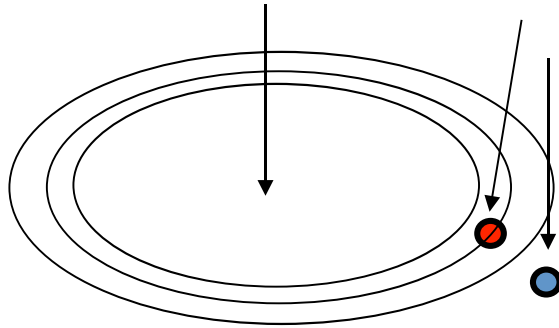
○ Auflassorte die von den Züchtern dort gefürchtet waren

▨ Tektonische Brüche mit Schwerkraftanomalien



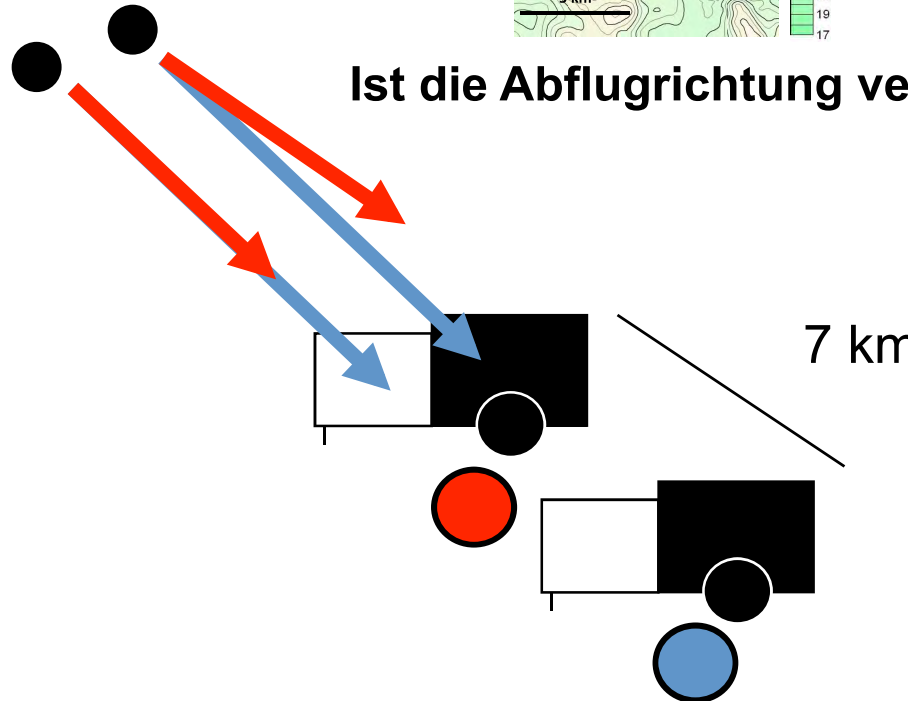
# Erster Versuch 2010: Aufzucht von Tauben in Schwerkraftanomalien

Die Richtung der Schwerkraft ändert sich in der Randzone von Anomalien



Ist die Abflugrichtung verändert?

GPS Versuch 50 km:



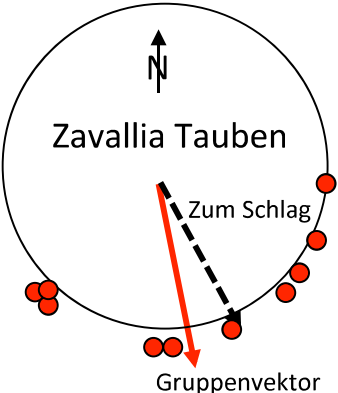
Virginia Meskenaite



Nicole Blaser

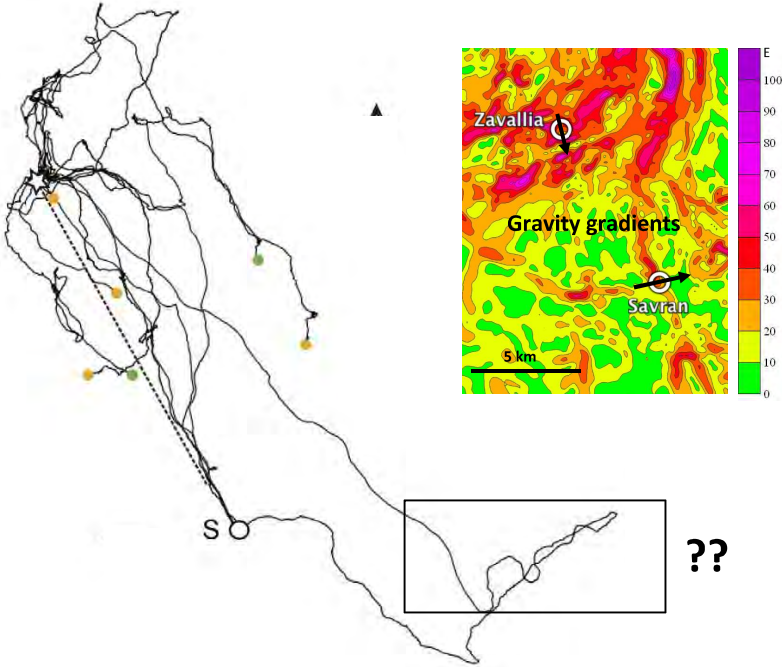
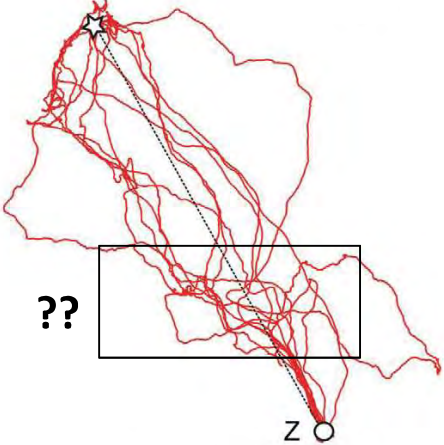
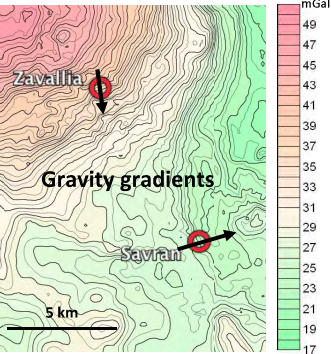
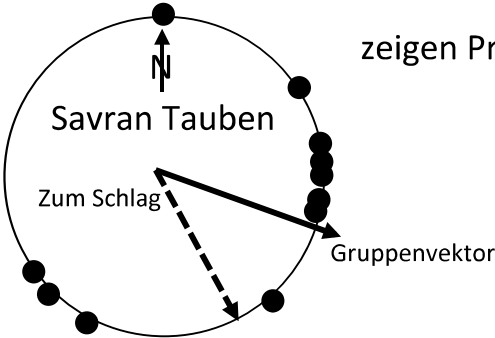
# Ermutigende Resultate: die Tauben fliegen unterschiedlich ab, entsprechend den Schwerkraftgradienten beim Schlag

kehren gut heim



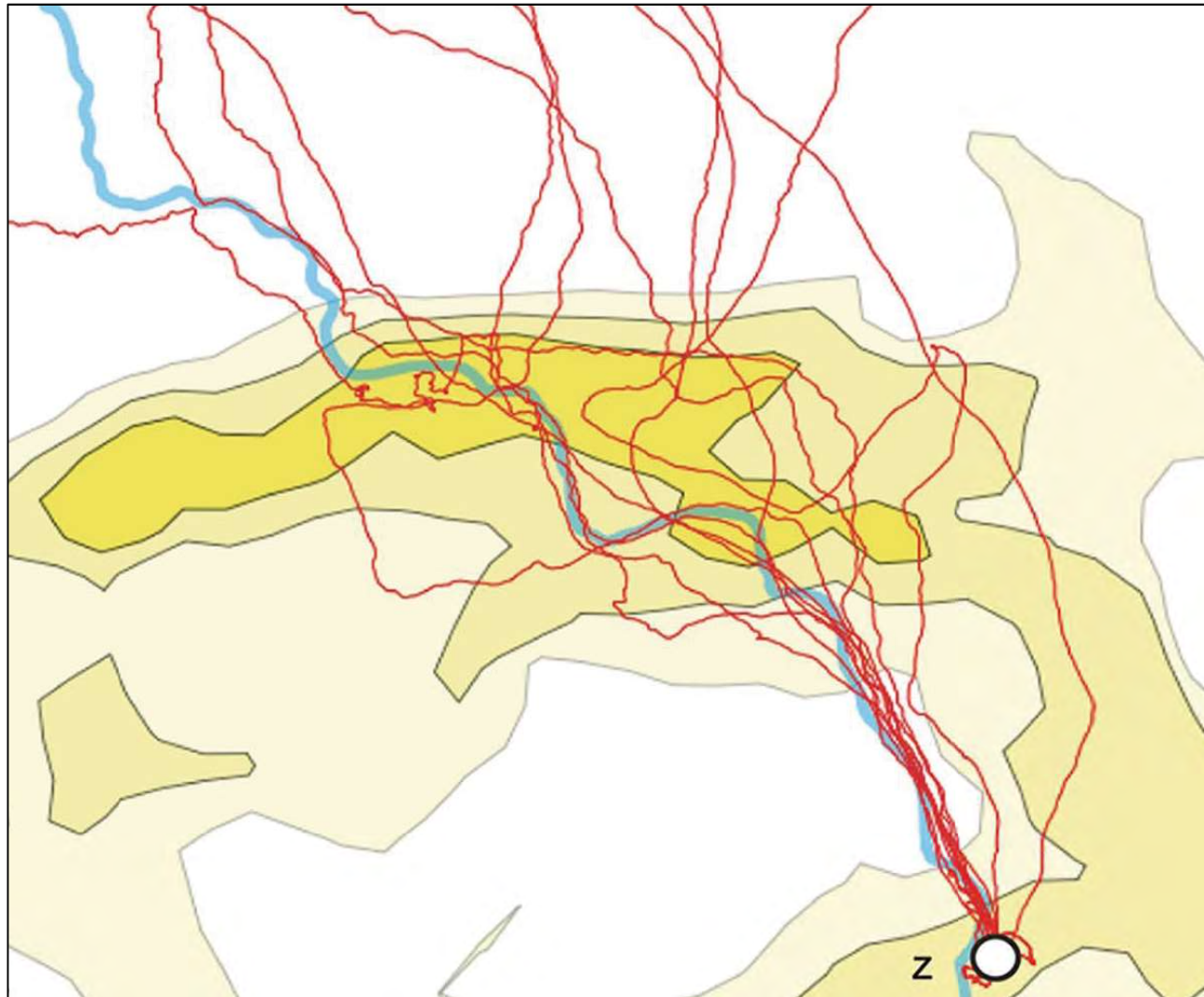
$p < 0.05$

zeigen Probleme

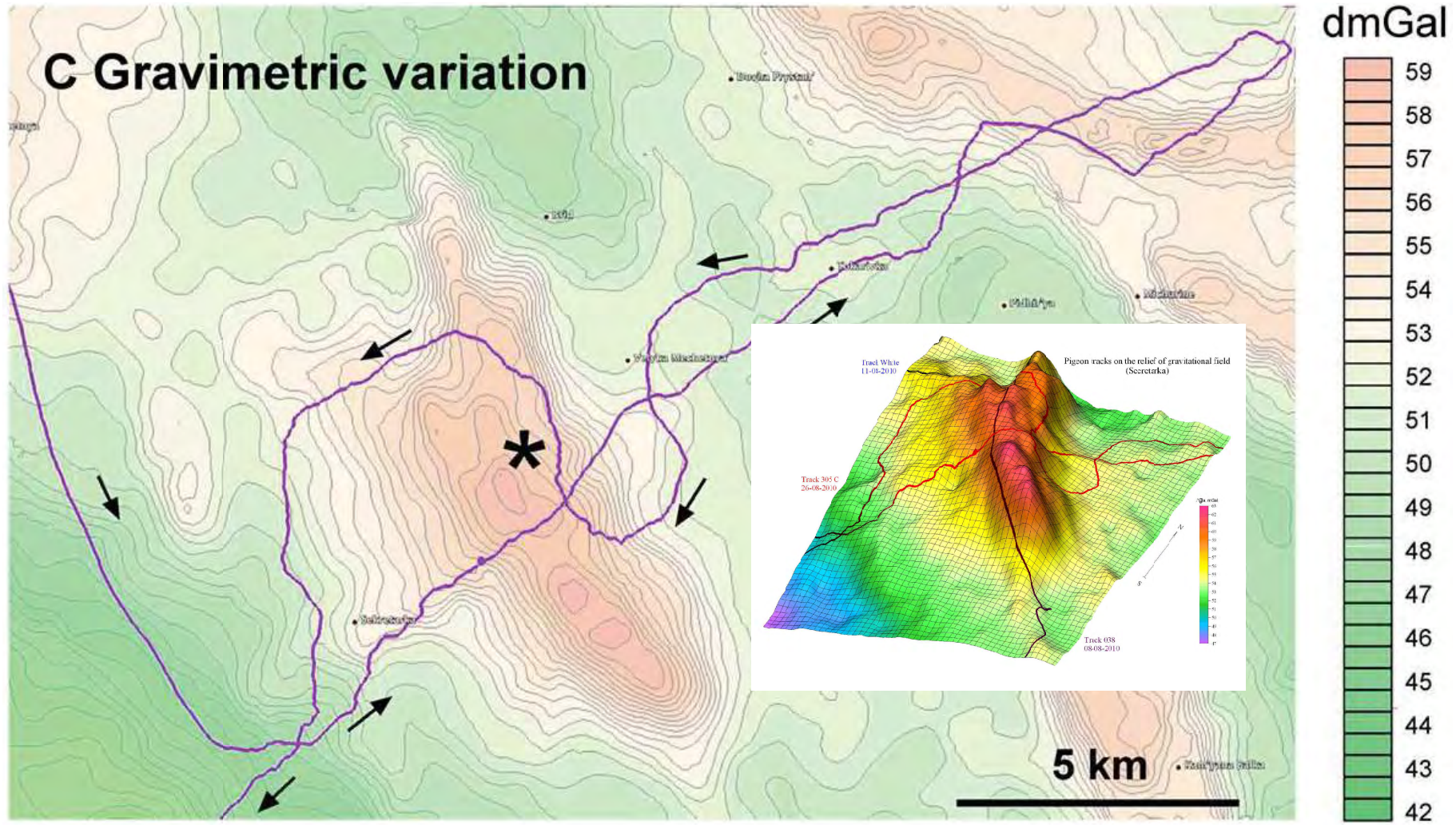




**Nach Auftreffen auf Schwerkraftanomalie zeigen sich Zavallia-Tauben plötzlich verwirrt**



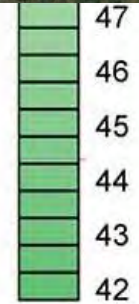
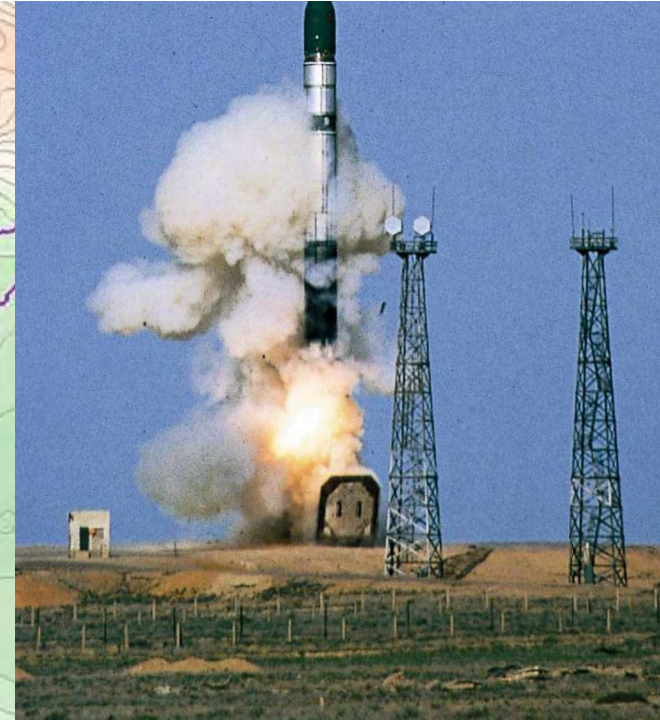
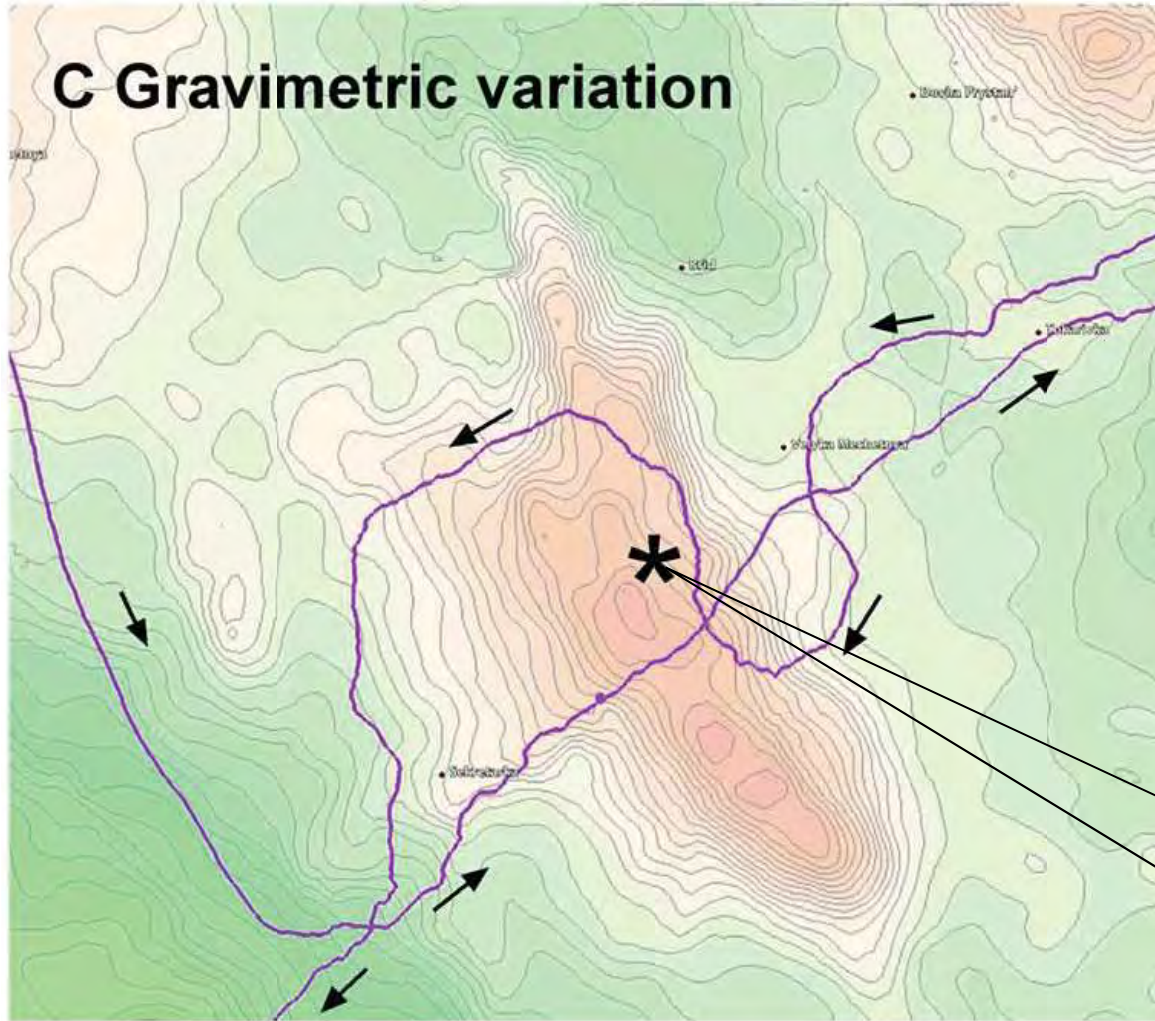
# Eine Taube aus Savran auf Abwegen – angelockt durch Schwerkraftanomalie?





# Warum kurvt sie herum?

SS-18 (Satan) Interkontinentalrakete



Alter Raketenbunker in  
Schwerkraftanomalie

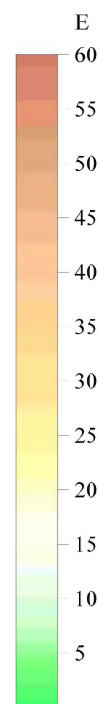
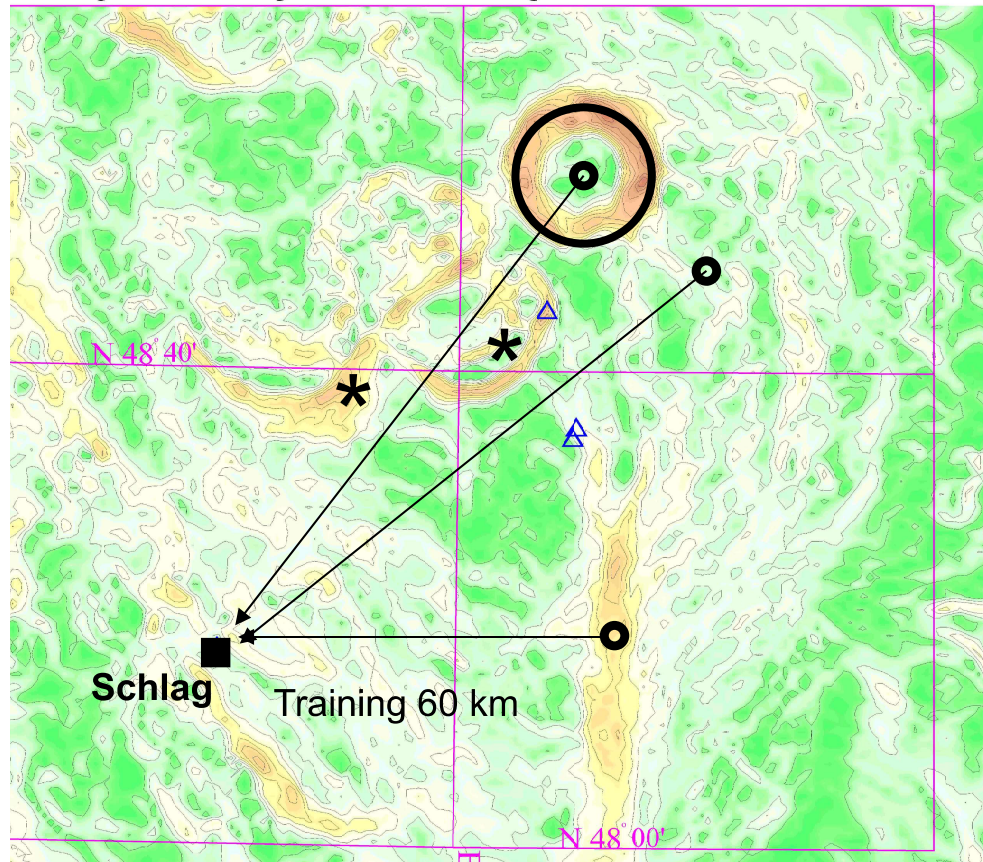
**Problem: an diesen Auflässorten überlappen sich teilweise Gravitations- und Magnetfeldanomalien**

**Nächster Schritt: verschieben der Anhänger nach Osten**



# Auflässe aus Gravitationsanomalien ohne Magnetfeldanomalien: aus Zentrum einer Anomalie

Map of horizontal gradient's modulus of gravitational field



**Die Boltishka Anomalie: ein alter Meteorkrater mit reduzierter Gravitation**

**Kontroll-Aufläss**

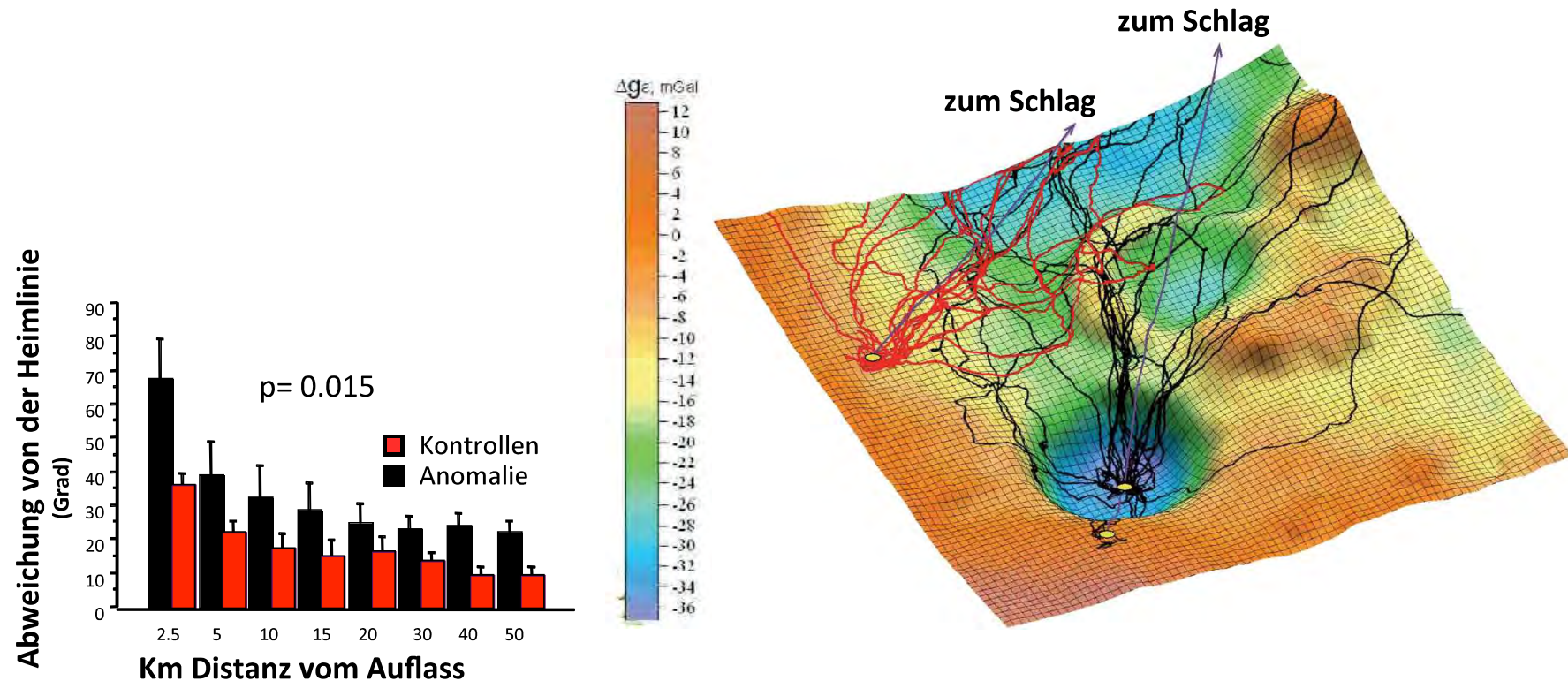
**\* Weitere Gravitationsanomalien auf dem Weg nach Hause**



**Ex-Armeebrieftaubenschläge in Novoukrainka**

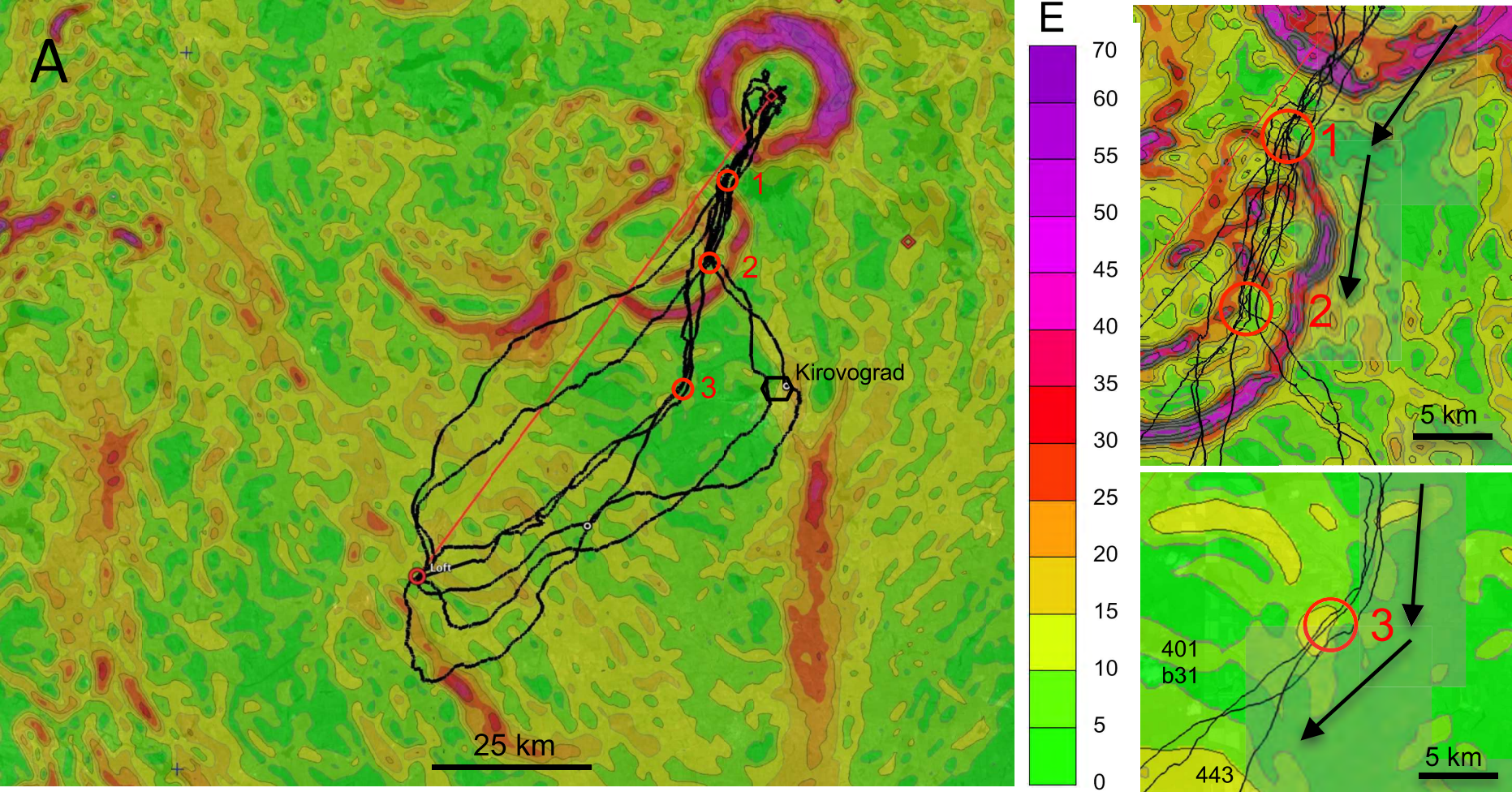


# 3D-Rekonstruktion der Schwerkraftanomalien und Flugpfade



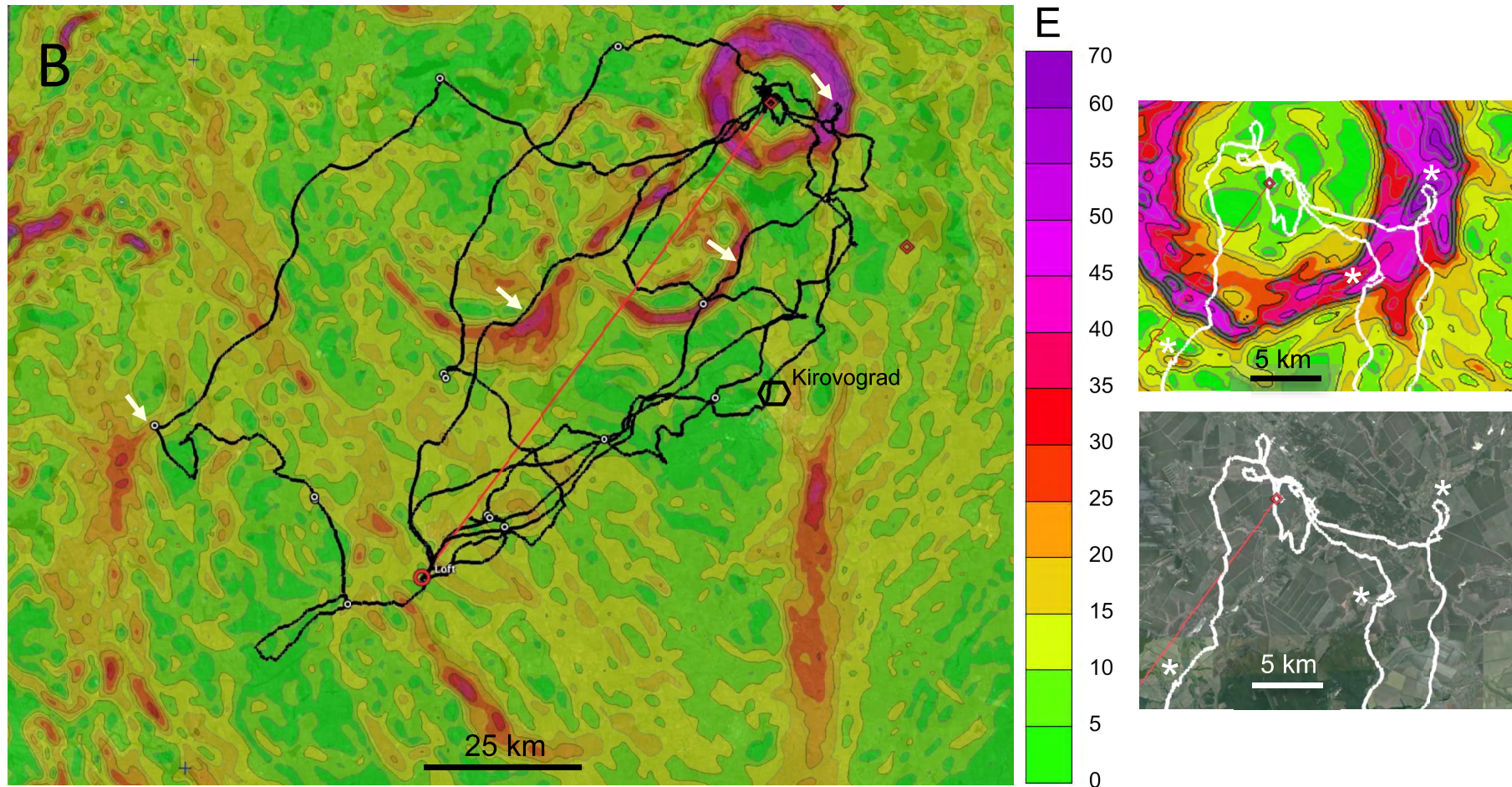
Die Tauben scheinen vor allem durch die zweite Anomalie in Flugrichtung beeinflusst: sie verteilen sich über weite Distanz

# Gute Tauben fliegen schnell und gut gerichtet, aber fliegen in der zweiten Schwerkraftanomalie auseinander





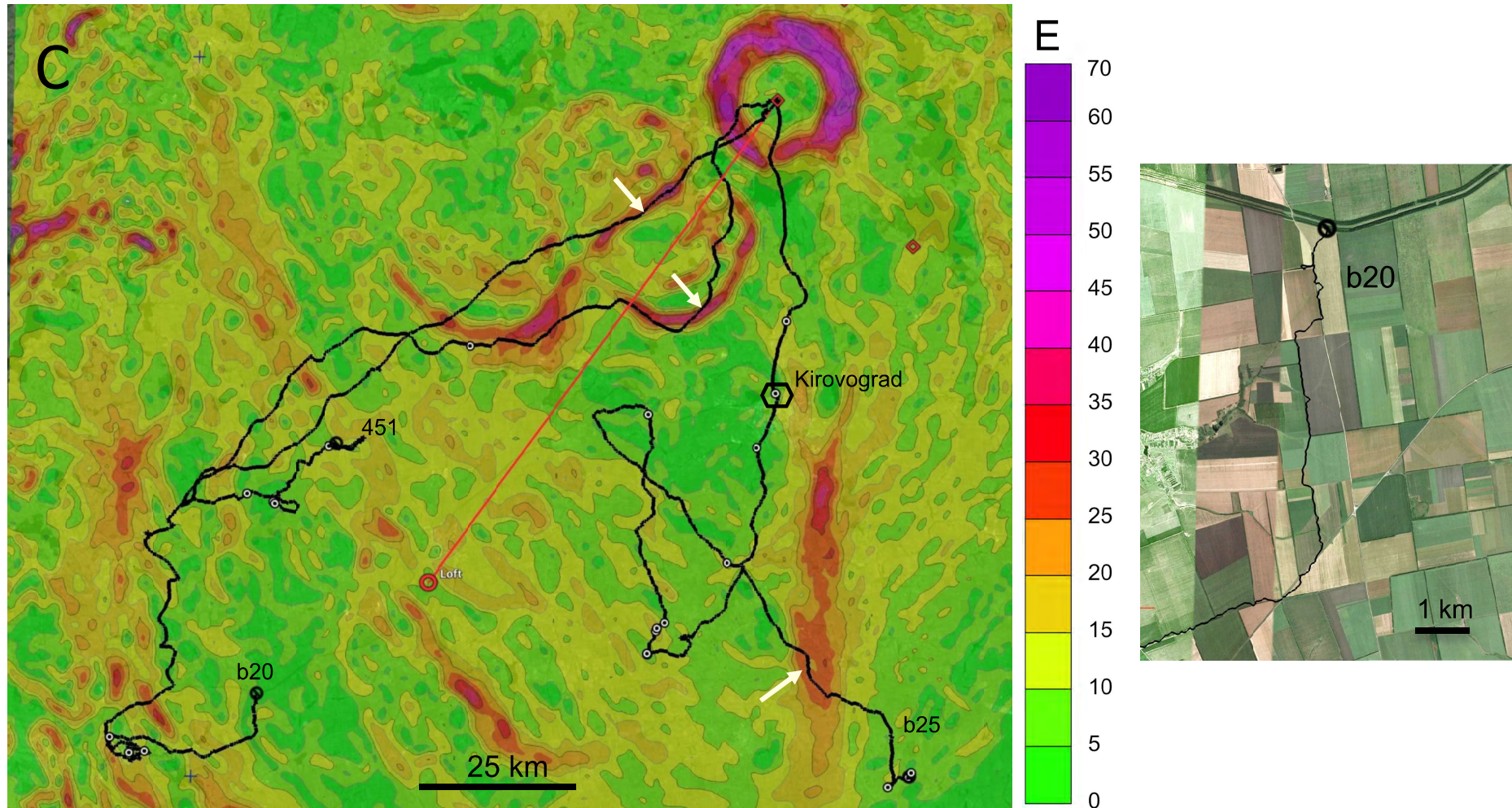
# Manche fliegen falsch ab, und machen dann grosse Umwege



Andere lassen sich durch Schwerkraftanomalien ablenken  
oder machen Pausen ●



# Manche verfliegen sich auch und kommen später nach Hause, viele Pausen



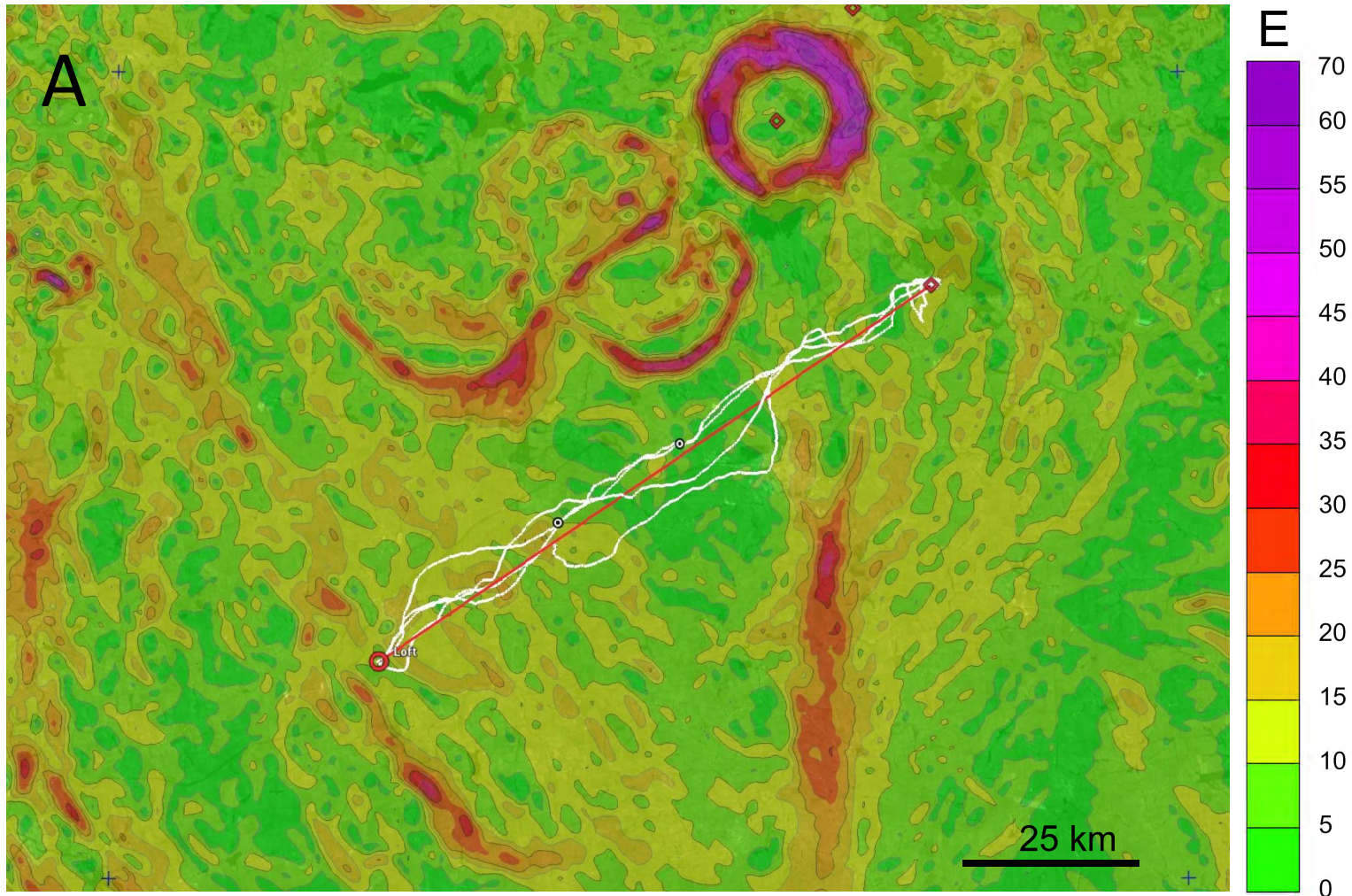
● Pausen

Verirrte Tauben folgen am Ende auch  
Wegen und Strassen!

**Und die Flüge ab der Kontrollstelle?**



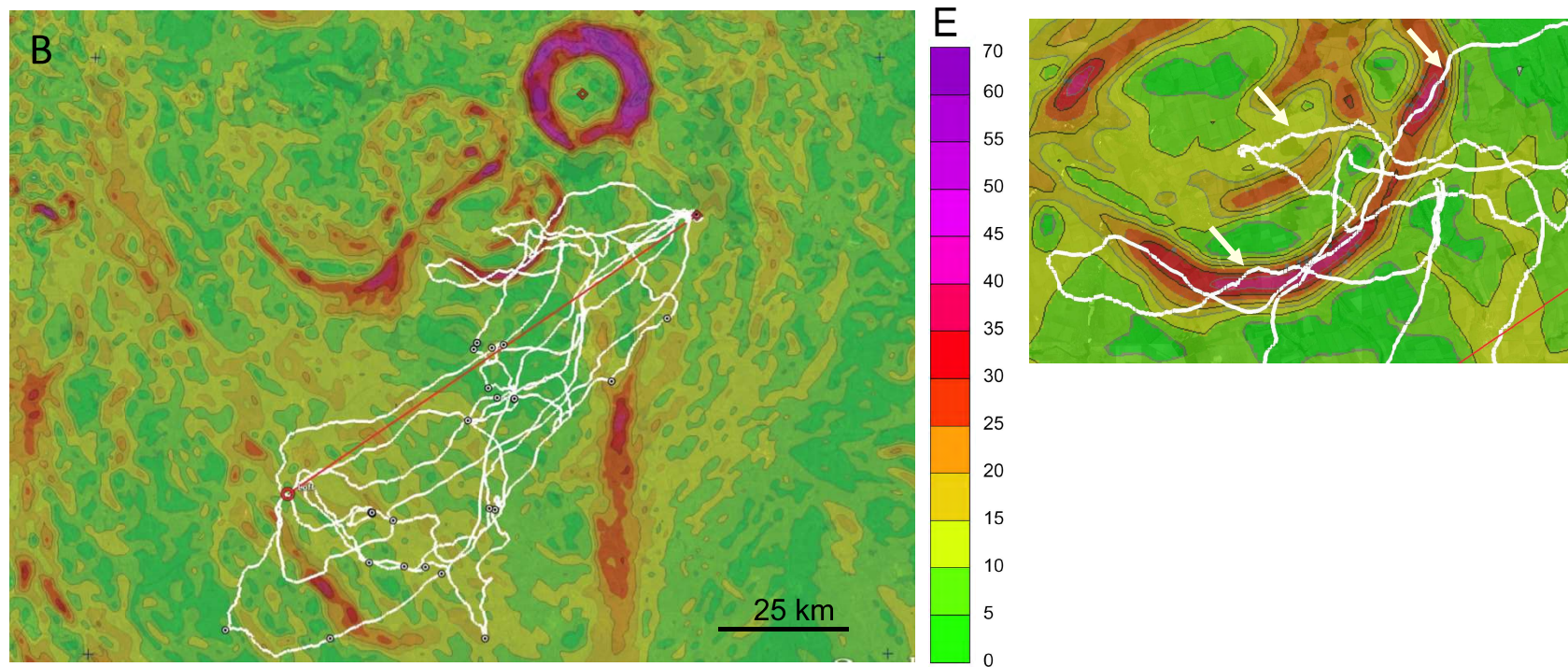
# Teilweise extrem gute und schnelle Flüge



Schnelle Flieger hocken trotz Sommerhitze nur selten ab



# Drei fliegen in eine Gravitationsanomalie und werden stark abgelenkt

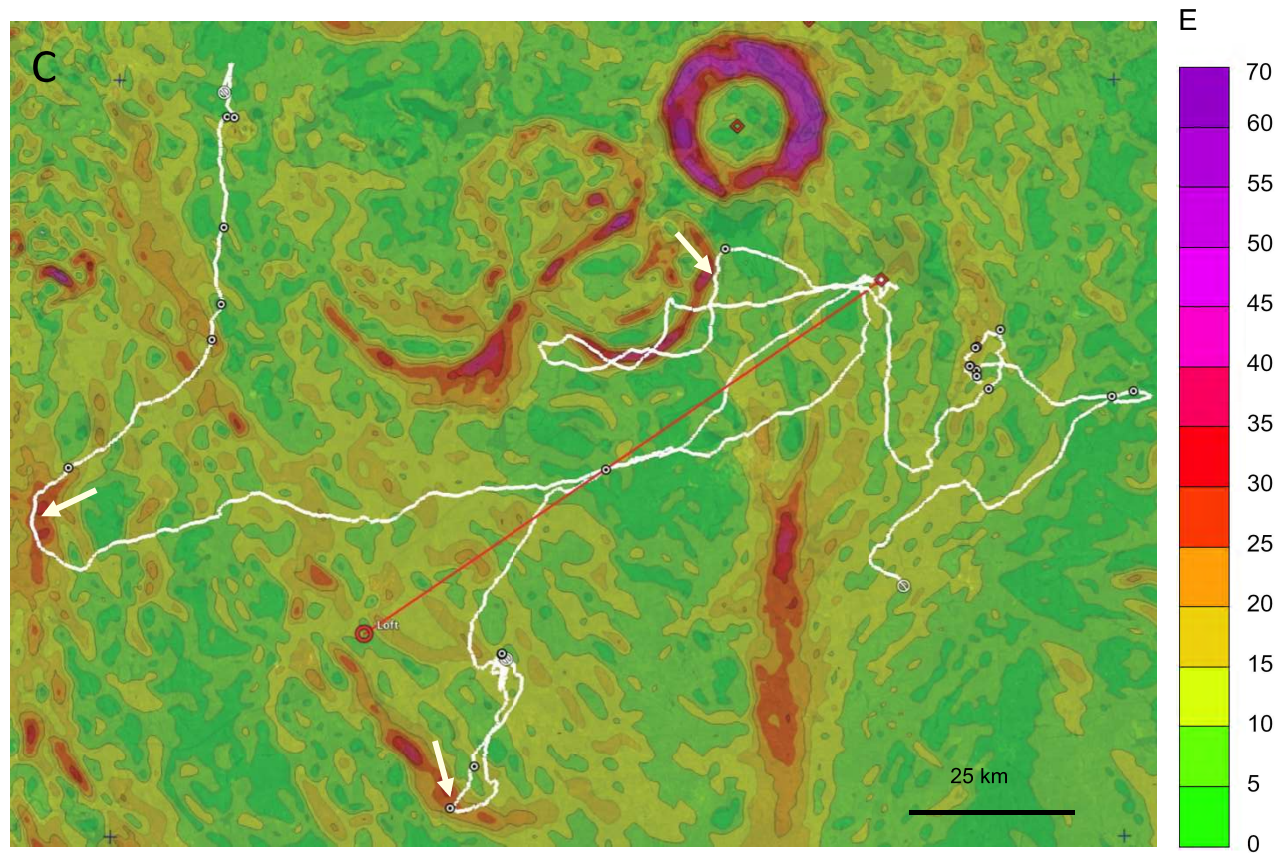


Schlechtere Tauben lassen sich ablenken oder hocken häufig ab

● Pausen



# Von 3 Spätheimkehrern flog jeder in eine Anomalie

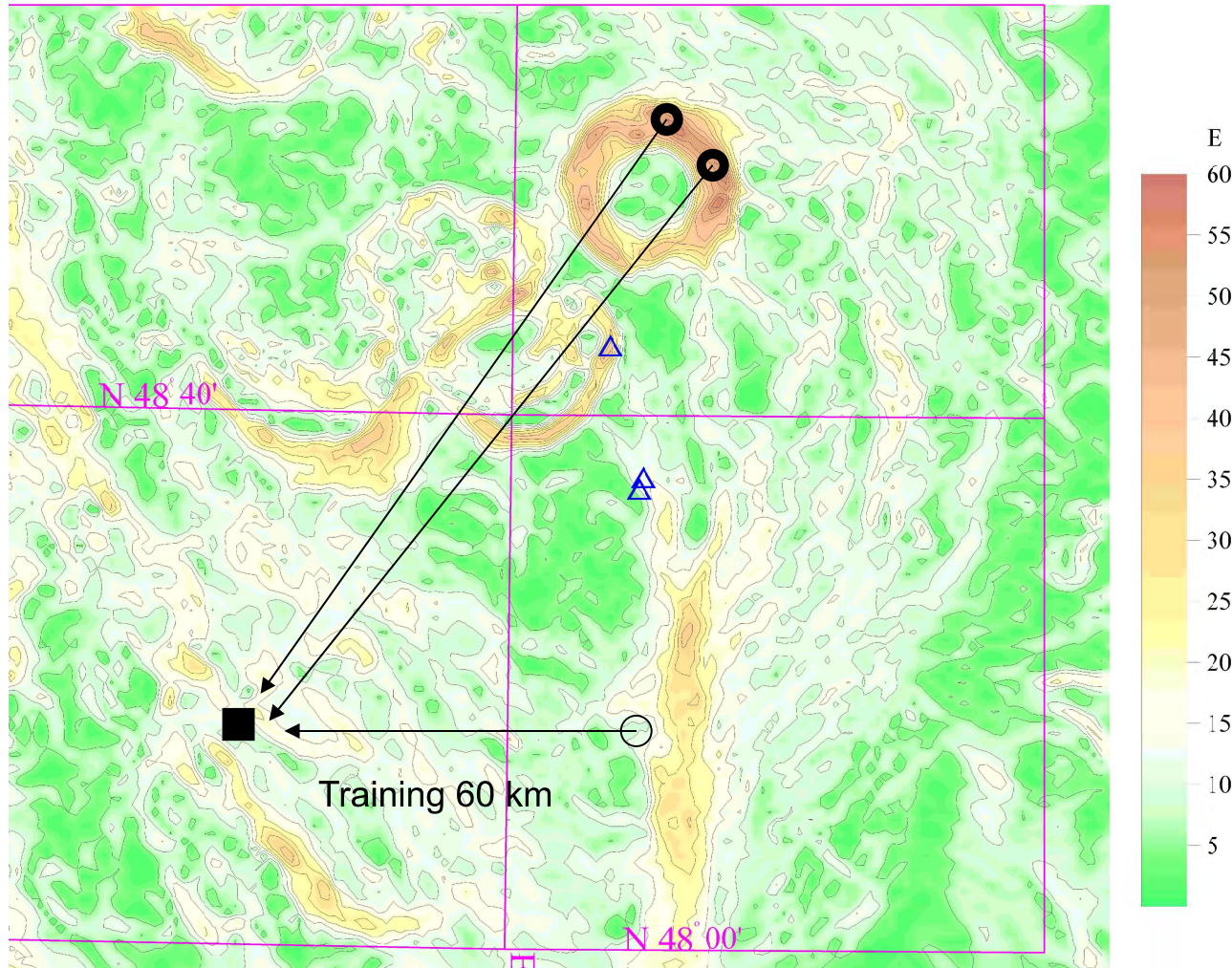


Tauben die in Gravitationsanomalien erscheinen oft verwirrt und hocken häufig ab

● Pausen

# 2012: Auflass von Tauben an Orten bei denen Verluste vorausgesagt wurden - Boltishka

Map of horizontal gradient's modulus of gravitational field





# Neue GPS-Technologie zum Orten verflogener Tauben

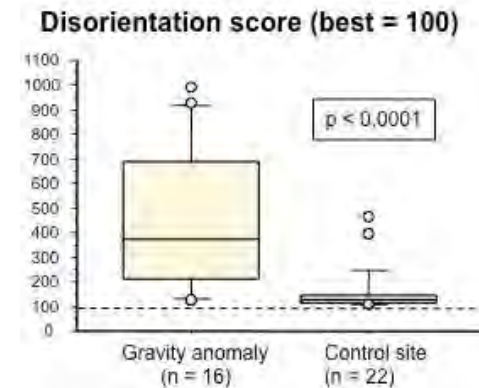
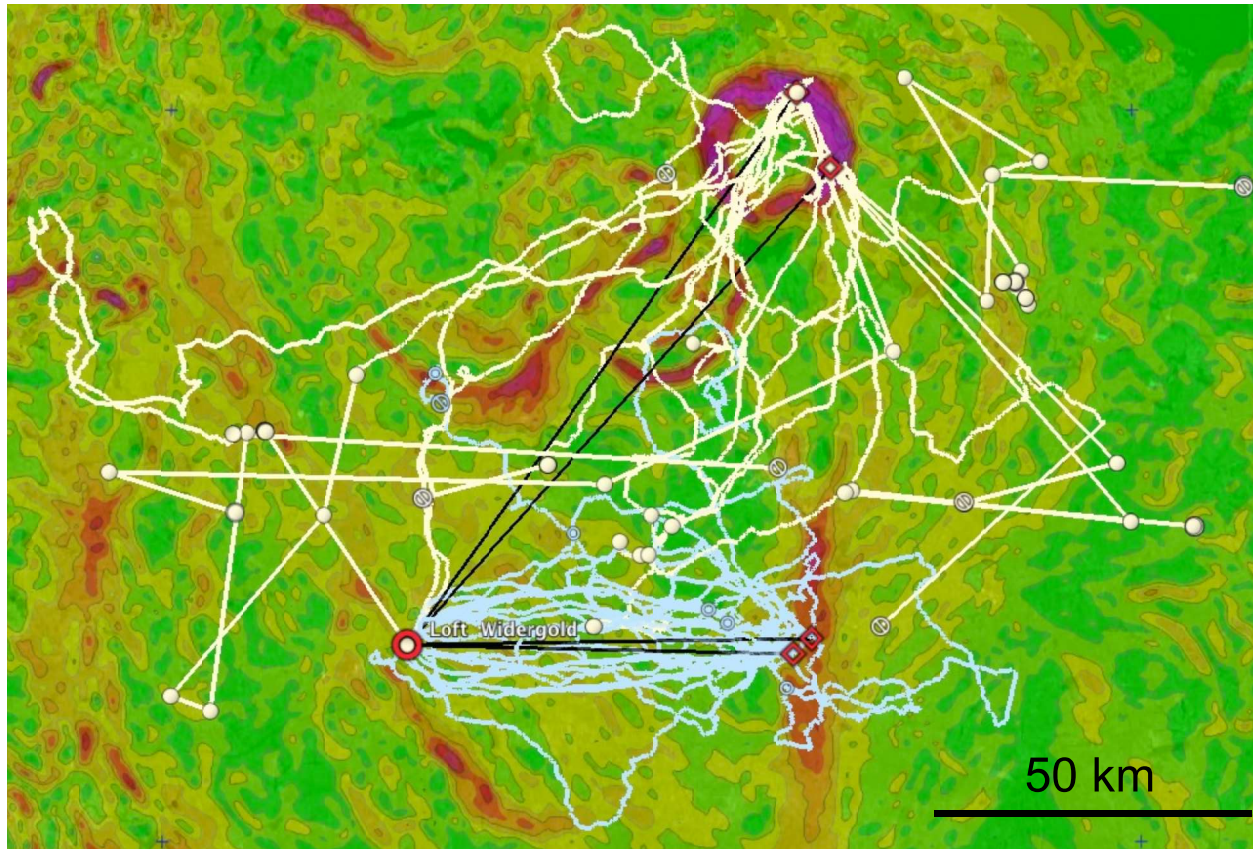


Einführung durch  
Carlos David Santos

- Tauben werden mit GPS/GSM Loggern aufgelassen (1 Fix pro Sekunde).
- **Alle 5 Minuten wurden die Daten ans Internet gesendet und in Belgien registriert.** So konnte man die auch Flugpfade von nicht heimkehrenden Tauben erfassen.
- Die Logger stoppten genaue Registrierung nach 4 Stunden, **sandten aber danach die genaue Position alle 12 Stunden.** So konnten wir die Position verlorener Tauben **bis zu 2 Wochen nachverfolgen.**



# Voraussage bestätigt: gut trainierte Tauben verfliegen sich bis zu 200 km vom Schlag



Typische Auflassstelle

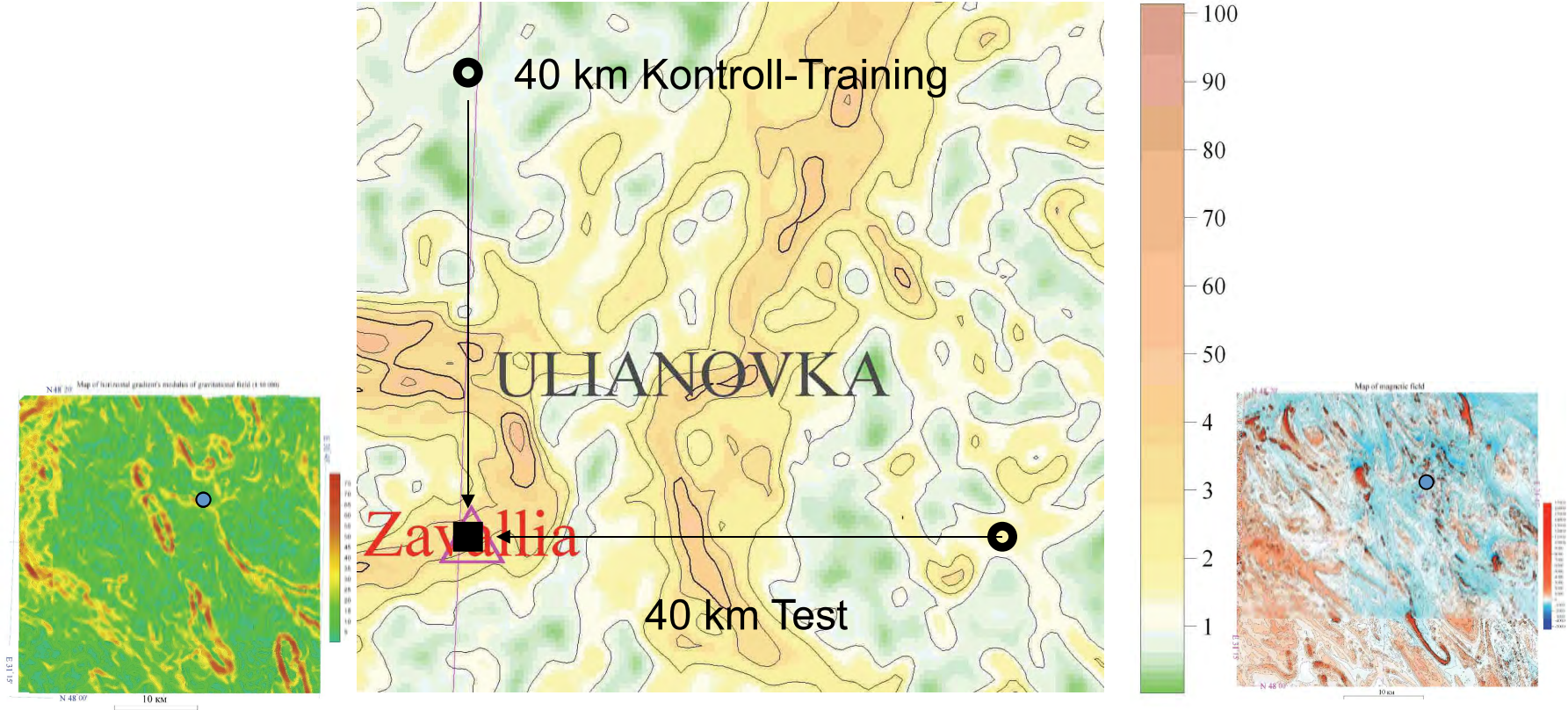
Home same day fast	2
Home same day late	4
2-30 days later	4
Lost forever	9

Home same day fast:	17
Home same day late:	1
2-30 days later:	1
Lost forever:	0

GPS/GSM Tracking nach 4h

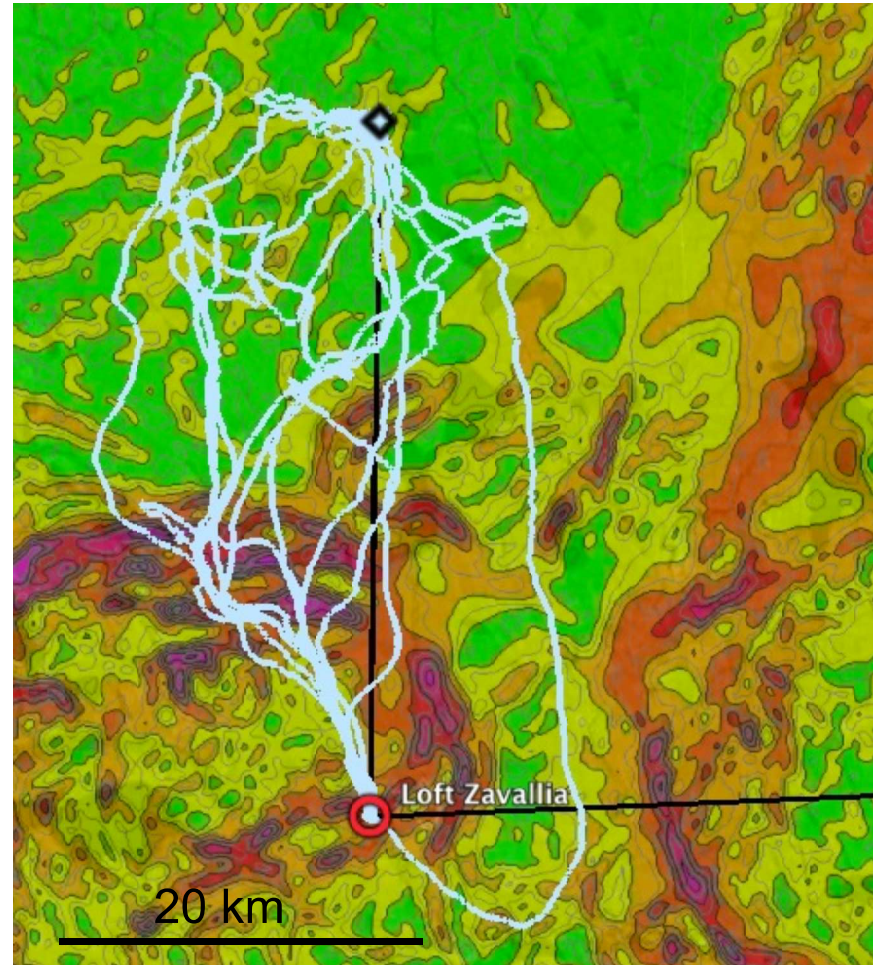


# 2012: Auflass von Tauben an Orten bei denen Verluste vorausgesagt wurden - Lipnyaine

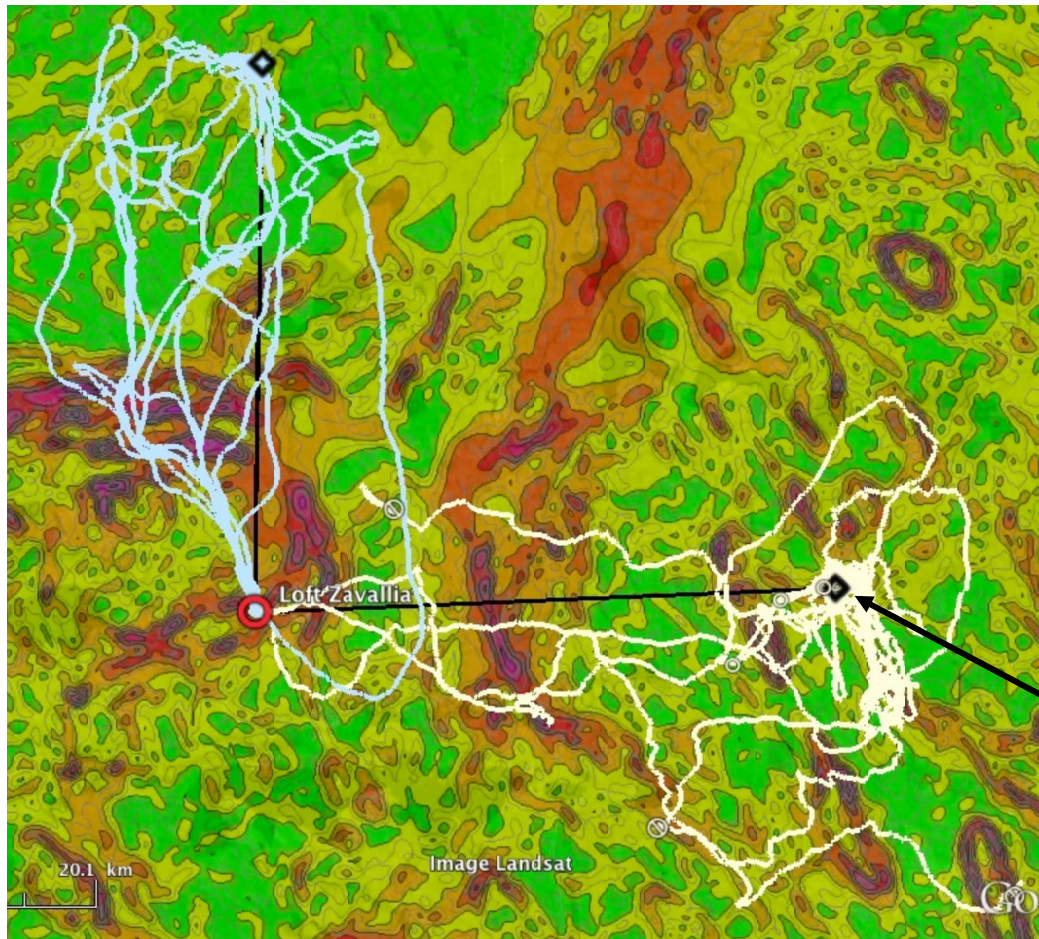




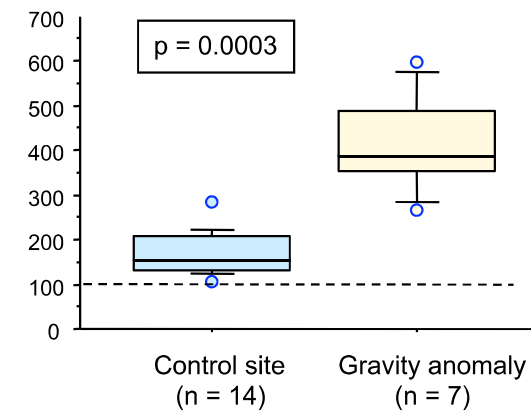
**Beim Auflass aus Norden flogen 14 Tauben gut**



# Drei Tage später zeigen die Tauben grosse Probleme beim ersten Testauflass



Disorientation score (best = 100)



Was ist hier los?

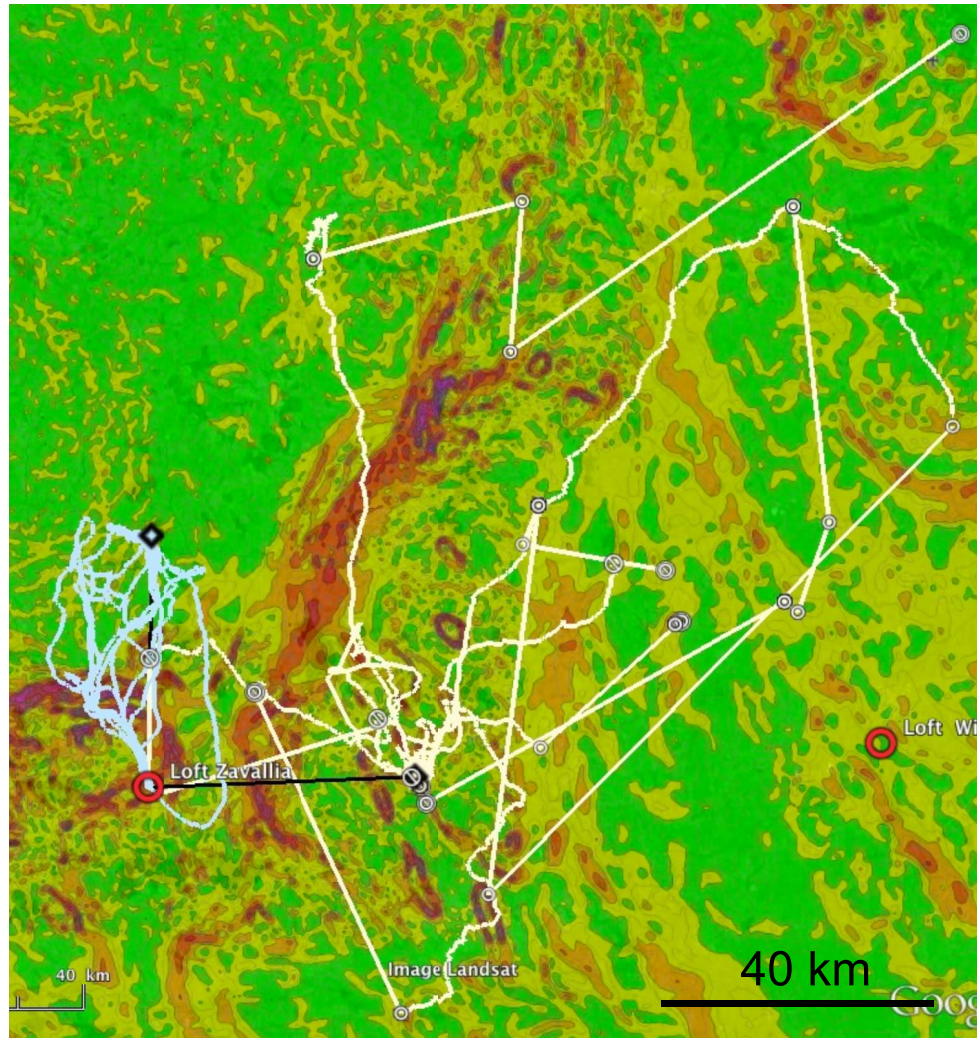
3 Tauben am späten Abend zurück, 4 andere nach 2-30 Tagen



**Die Tauben kreisten extrem lange, dann hockten viele ab. Die Landschaft war völlig eben.**



## 5 Tage später, Auflass der restlichen Tauben, diesmal mit starkem Südwind

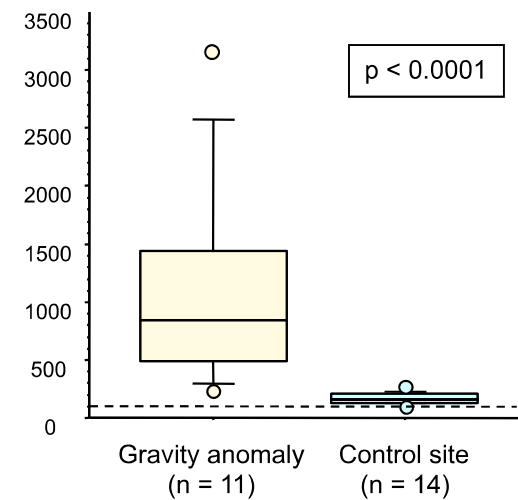


Zurück gleicher Tag: 2

2-30 Tage später: 5

Verloren: 4

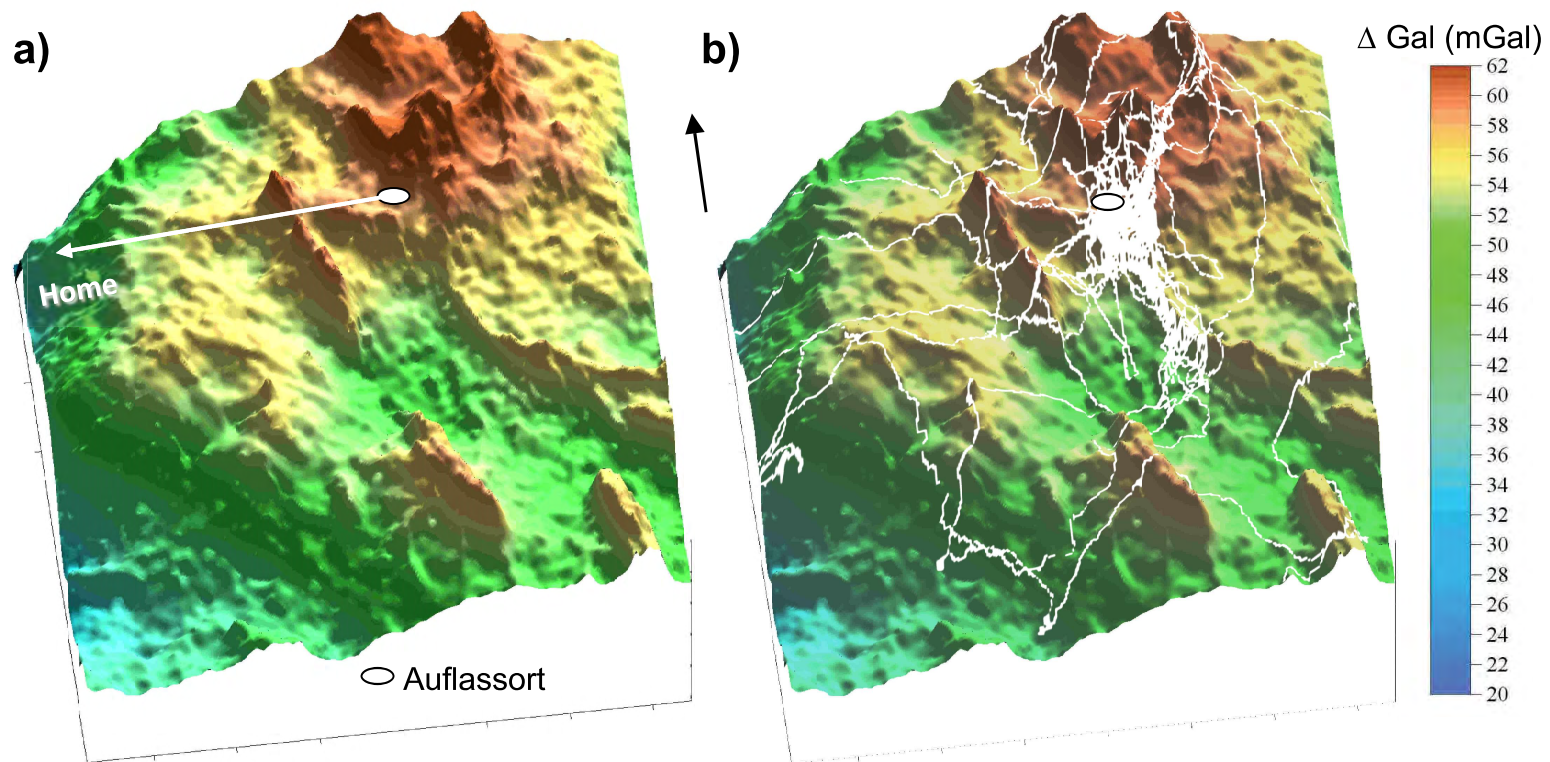
Disorientation score (best = 100)



Die Tauben kehrten schlecht zurück, manche verflogen sich bis zu 200 km vom Schlag!



# Ein genauer Augenschein der Gravitationsanomalie (in 3D) am Auflassort:



**Die Tauben schienen wie in einem Käfig aus  
Anomalien gefangen....**



## Zusammenfassung

- Brieftauben scheinen ein extrem **feines Gefühl für Unregelmässigkeiten in der Richtung der Schwerkraft zum Erdmittelpunkt** zu haben.
- Die Voraussagen von Kanevskyi's Hypothese scheinen damit bestätigt.
- Brieftauben gehen wahrscheinlich verloren, **wenn ihr Kartensinn gestört ist** und sie ihren Standort nicht mehr richtig bestimmen können. Manchmal kehren sie zurück wenn sie **zusätzliche Richtungsinformationen** bekommen.
- Bei verlorengegangenen Tauben **scheint aber auch die Heimkehrmotivation nach einigen Tagen zu sinken**, vor allem wenn sie Futter finden. Ursache unbekannt.

## Wo liegen die Haken?

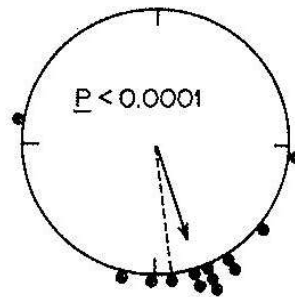
- Die **Winkelunterschiede** zwischen den Schwerkraftvektoren sind **extrem klein**.
- Vögel müssten daher extrem empfindlich auf **Veränderungen der horizontalen Komponente** (“Verbiegung”) des Schwerkraftvektors sein.
- Warum ändern die Tauben die Flugrichtung erst **nach** Durchfliegen von Randzonen der Schwerkraftanomalien?
- Wo liegen die **Sinneszellen** für “Verbiegung” der Schwerkraftvektors?

**Hier noch Zusatzinformationen und Spekulationen**

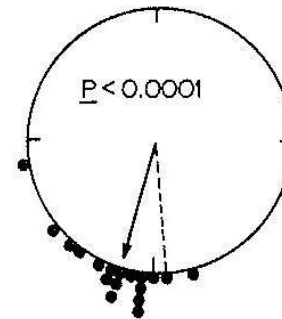


## Hinweise

Vögel mussten extrem empfindlich auf **Veränderungen der horizontalen Komponente** (“Verbiegung”) des Schwerkraftvektors sein.



16 June 1972  
Lunar Day 5



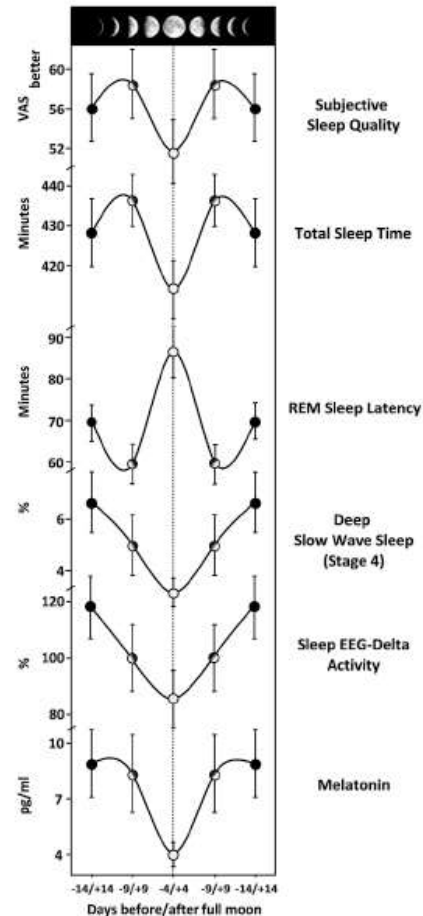
6 July 1972  
Lunar Day 25

Larkin and Keeton (1978)

Tauben die man stets am gleichen Ort aufgelassen hatte, **änderten ihre Abflugrichtung mit den Mondphasen.....**

# Hinweise

Menschen im Schlaflabor scheinen sensitiv auf Mondphasen zu sein



Cajochen et al., Current Biology 2013

Wenn das stimmt wären auch manche Menschen **empfindlich auf die Schwerkraftkonstellationen von Sonne, Mond und Erde....**

# Hinweise

Warum ändern die Tauben die Flugrichtung erst **nach** Durchfliegen von Randzonen der Schwerkraftanomalien?

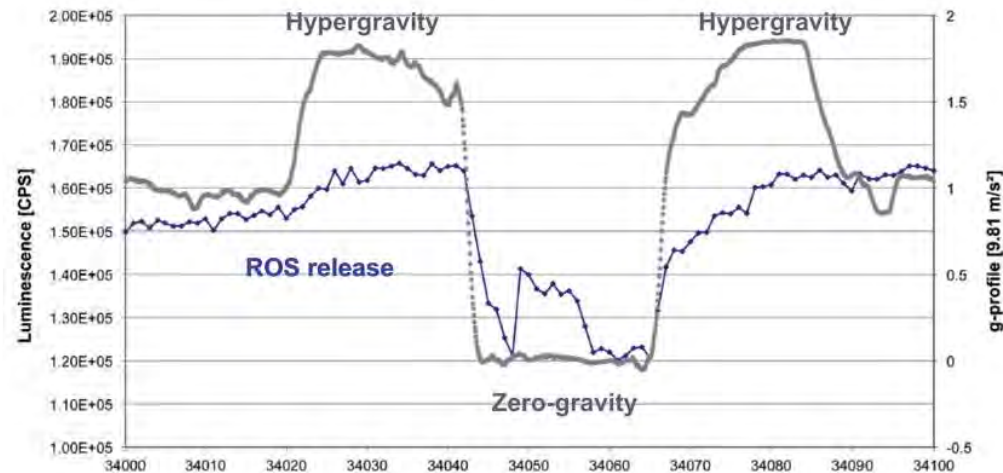
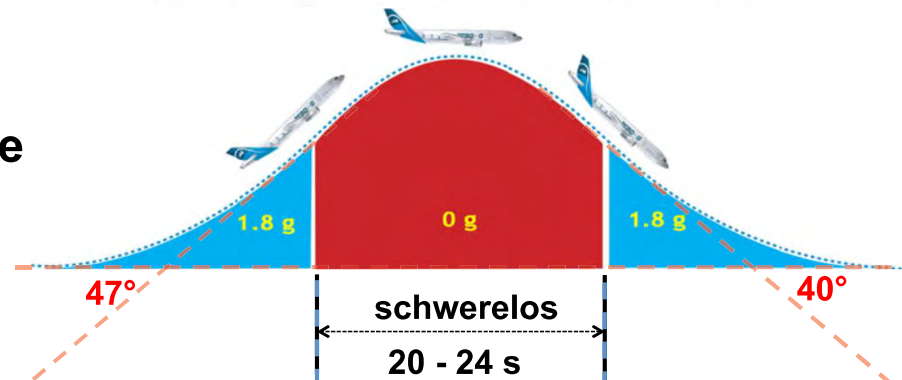


Diagramm von Prof. O. Ullrich, Anatomisches Institut UZH

Parabolflüge

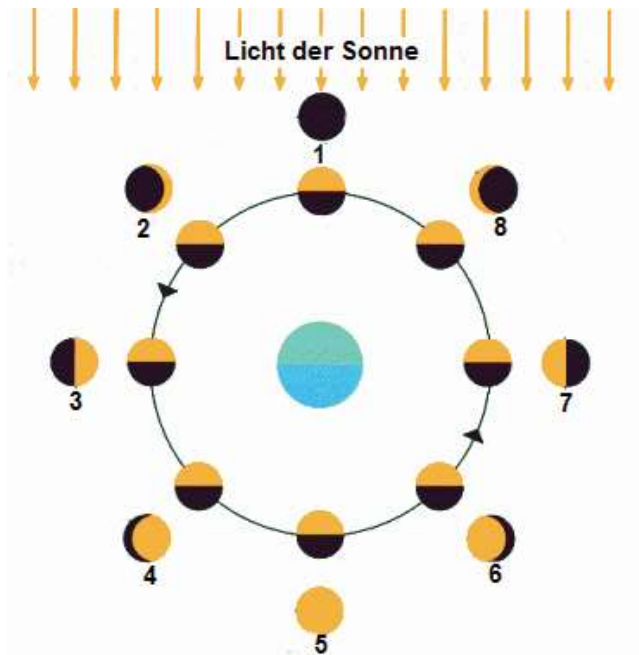


Intrazelluläre Gravizeption!?

Zellen des Immunsystems aktivieren intrazelluläre Signalkaskaden (ROS) nach Veränderungen der Schwerkraftverhältnisse, **aber mit Verzögerung**



# Intrazelluläre Gravizeption: eine uralte biologische Uhr?



1. Mondphasen reflektieren periodisch **wechselnde Konstellationen von Sonne, Erde und Mond**.
2. An einem beliebigen Punkt auf der Erde erzeugt **dies periodische schwache horizontale Ablenkungen des lokalen Schwerkraftvektors**.
3. Die ersten Lebewesen auf der Erde waren im Wasser schwebende Einzeller.
4. Wäre es denkbar, dass diese einen **intrazellulären Mechanismus zum Erspüren schwacher Veränderungen des lunaren Gravitationsfeldes** entwickelt haben?
5. Wäre es denkbar dass später Pflanzen und Tiere **diese innere Uhr in ihren Zellen bewahrt haben**, und bei Bedarf diese Gravizeption auch **für andere Zwecke wie Navigation** einsetzen können?

# Pflanzen in der Schwerelosigkeit erkennen wahrscheinlich die Zugwirkungen von Mond und Sonne!

Planta (2015) 241:1509–1518  
DOI 10.1007/s00425-015-2280-x



ORIGINAL ARTICLE

## Lunar gravity affects leaf movement of *Arabidopsis thaliana* in the International Space Station

Joachim Fisahn<sup>1</sup> · Emile Klingelé<sup>2</sup> · Peter Barlow<sup>3</sup>

Received: 17 December 2014 / Accepted: 13 March 2015 / Published online: 21 March 2015  
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

### Abstract

**Main conclusion** Cyclic leaf ascent and descent occur in synchrony and phase congruence with the lunisolar tidal force under a broad range of conditions.

Digitized records of the vertical leaf movements of *Arabidopsis thaliana* were collected under space flight condi-

**Keywords** Circadian clock · Etide · Lunisolar Zeitgeber

### Abbreviations

ISS International Space Station  
EMCS European Modular Cultivation System

## Was laut Kanevskyi auch noch erklärbar wäre:

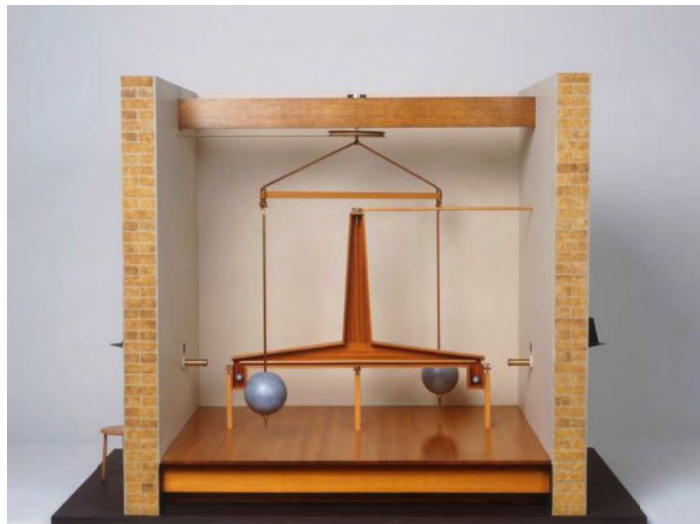
- Tiere die in einer tektonischen Bruchzone mit **plötzlicher Subduktion grosser unterirdischer Massen** leben würden plötzlich einen „Mismatch“ zwischen erinnerten und aktuellem Schwerkraftvektor spüren.
- Sie versuchen den Mismatch **durch Weglaufen oder Wegfliegen in eine benachbarte Zone zu korrigieren** bis Erinnerung und aktuelle Information wieder übereinstimmen. Sie entgehen damit der Zone des stärksten Erdbebens



**Wo Rauch ist ist auch Feuer**

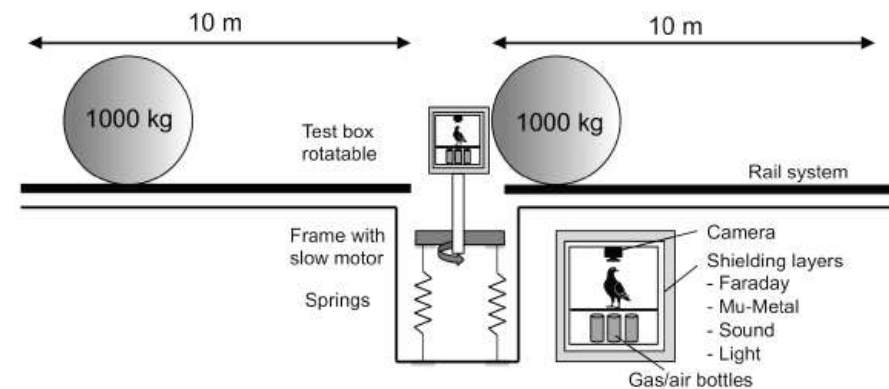
**Wir brauchen jedoch experimentelle Hinweise**

# Ein neues Cavendish Experiment: kann man in einem Organismus Zellen finden, bei denen schwache laterale Gravitationskräfte das Ablesen von Proteinen aus den Genen auslösen?



Das klassische Cavendish Experiment (1796)

Bestimmen der Anziehungskraft einer grossen Masse auf eine kleine Masse mittels einer Torsionswaage



Das biologische Cavendish Experiment:

Erkennen von aktivierten Genen in Geweben von Tieren und Pflanzen mittels molekularen Methoden (PCR)

## Mein Dank and so viele:

**Giacomo Dell'Omo**

**Alexei Vyssotski**

Alexander Latanov

**David P. Wolfer**

Andrei Dobridienev

Maria Savini

Andrea Keller

Sophie Renaudineau

**Gaia Dell'Ariceia**

**Dina Dechmann**

Marie-Noelle Divet

Irina Lipp

Martin Schletterer

Gerhart Tröster

**Nicole Blaser**

**Virginia Meskenaite**

Igor Steiner

Francesco Bonnadonna

Christian Ulrich

Rita & Alfons Schmidlin

Irina Leshchinska

Natasha Bologova

Walter Wietlispach

Cesare Calderoni

Marc Cremades

Walter Hofer

Fred Teuscher

Walter Tanner

Hannes Kunz

Hans Zemp

Victor Fizner



und



**Natürlich, der guten alten Armeebrieftaube:**



***Columba militaris helvetica***