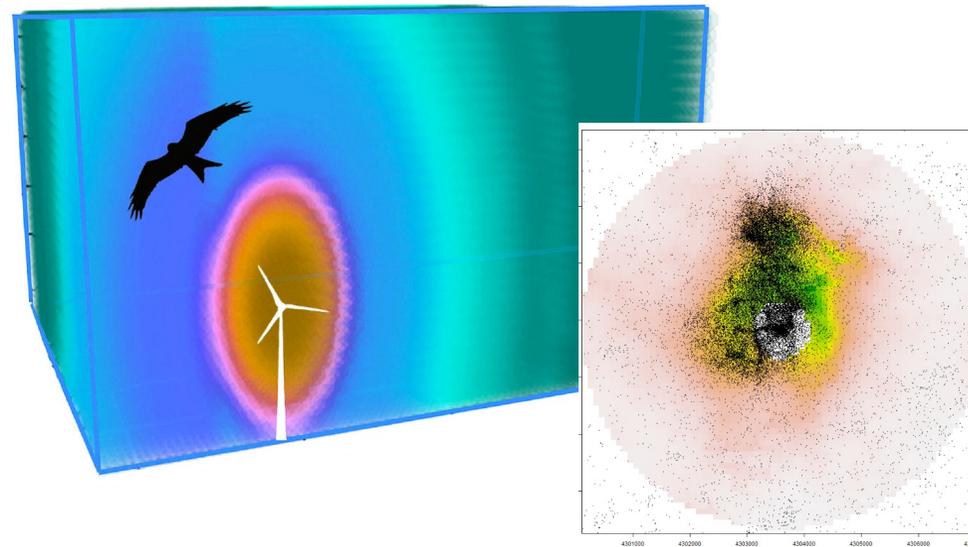


# Das Hybrid-Modell

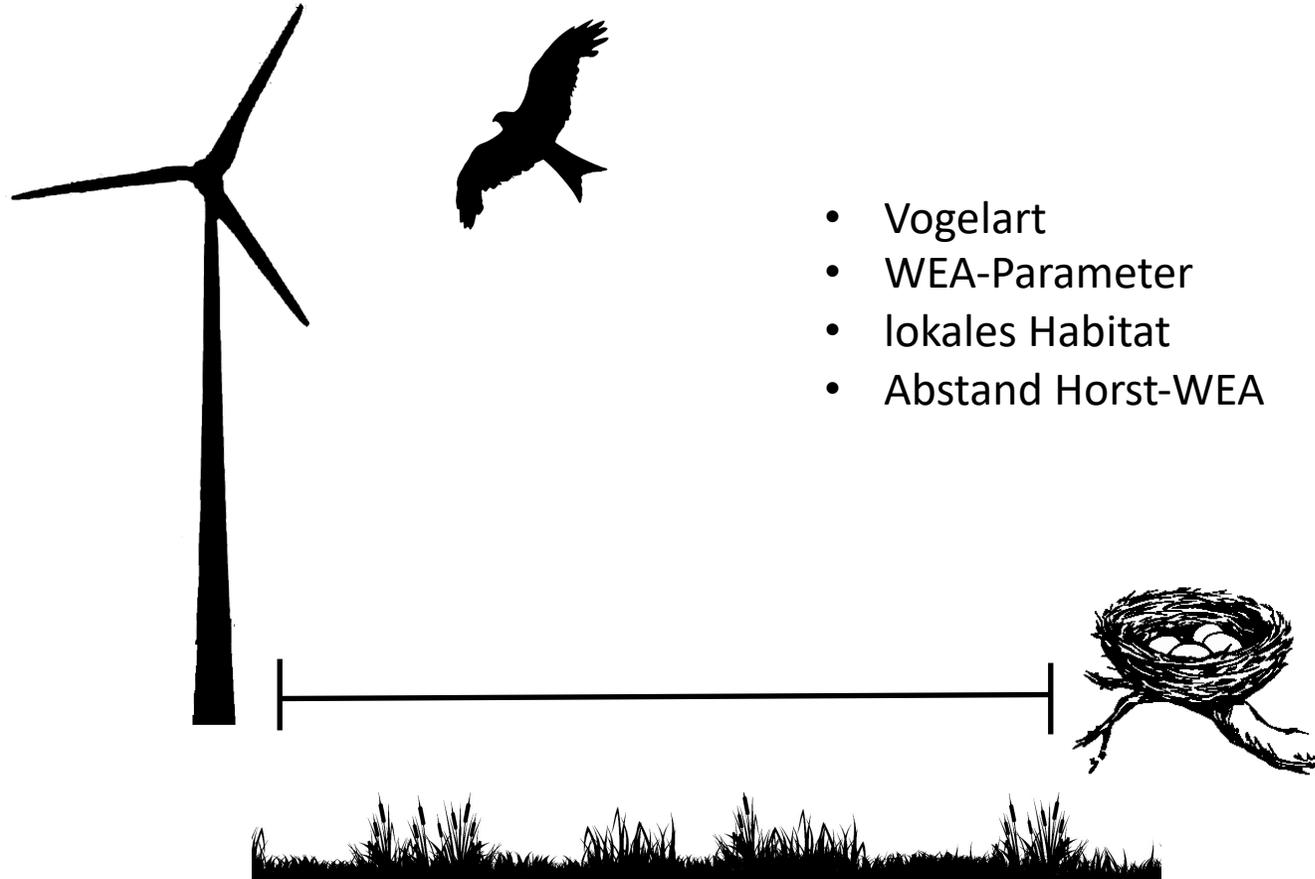
Eine probabilistische Methode zur Abschätzung der Kollisionswahrscheinlichkeit von Brutvögeln an Windenergieanlagen

*Moritz Mercker (Bionum GmbH)*

*in Zusammenarbeit mit Jan Blew & Jannis Liedtke & Thilo Liesenjohann (BioConsult SH) sowie dem TB Raab*



## Fragestellung



- Vogelart
- WEA-Parameter
- lokales Habitat
- Abstand Horst-WEA

Ist das Vogelschlagrisiko berechenbar?

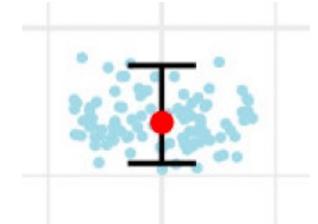
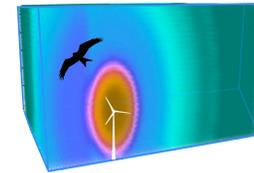
Wenn ja, mit welcher Sicherheit?

## Welche Chancen bietet die Berechnung?

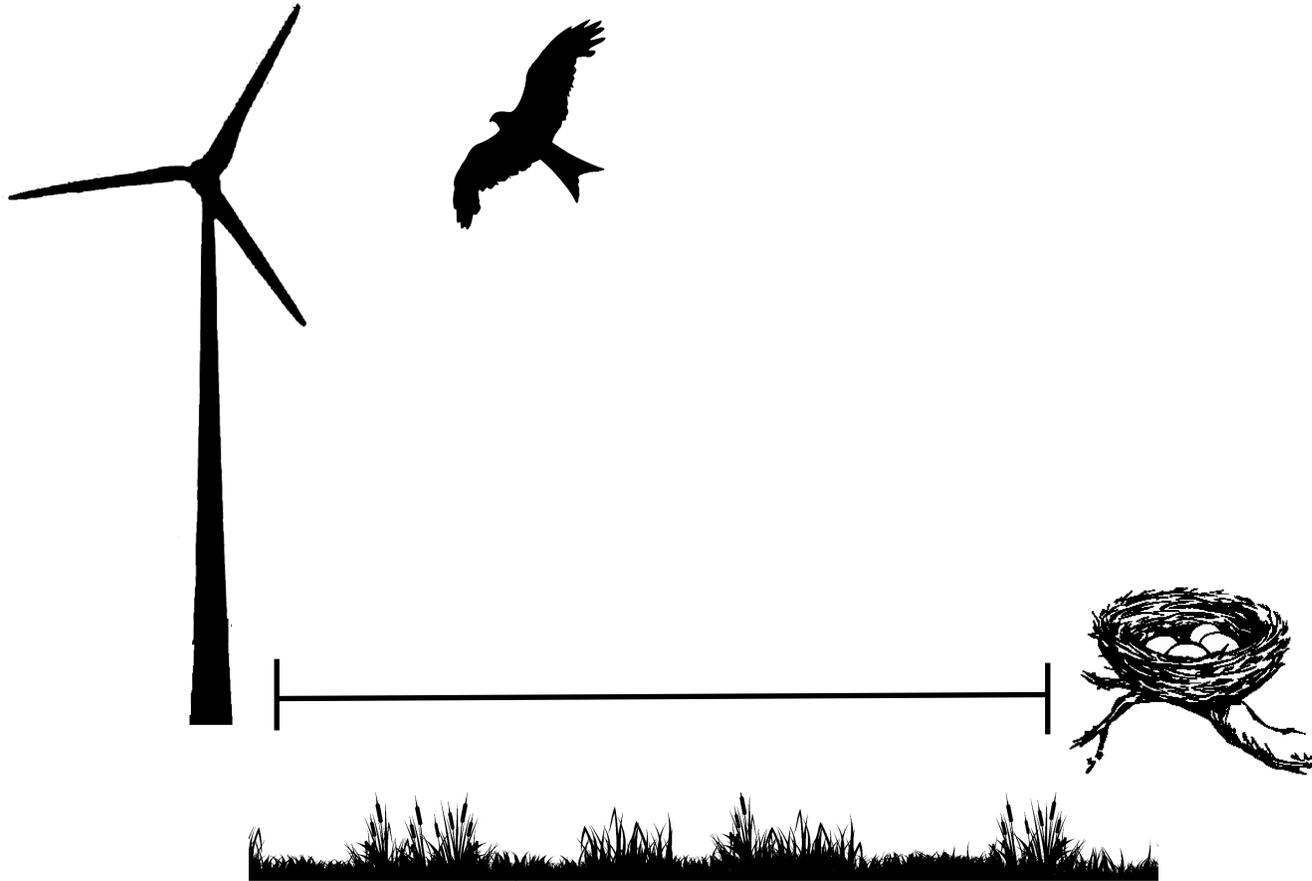
Raumnutzungsanalyse (RNA)



Berechnung



- schnell
- empirisch fundiert & standardisiert
- Einfaches (quantitatives) Ergebnis

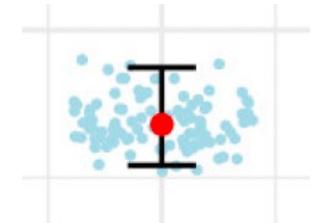
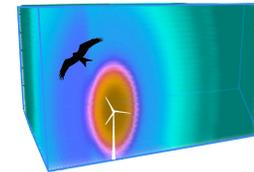


## Welche Chancen bietet die Berechnung?

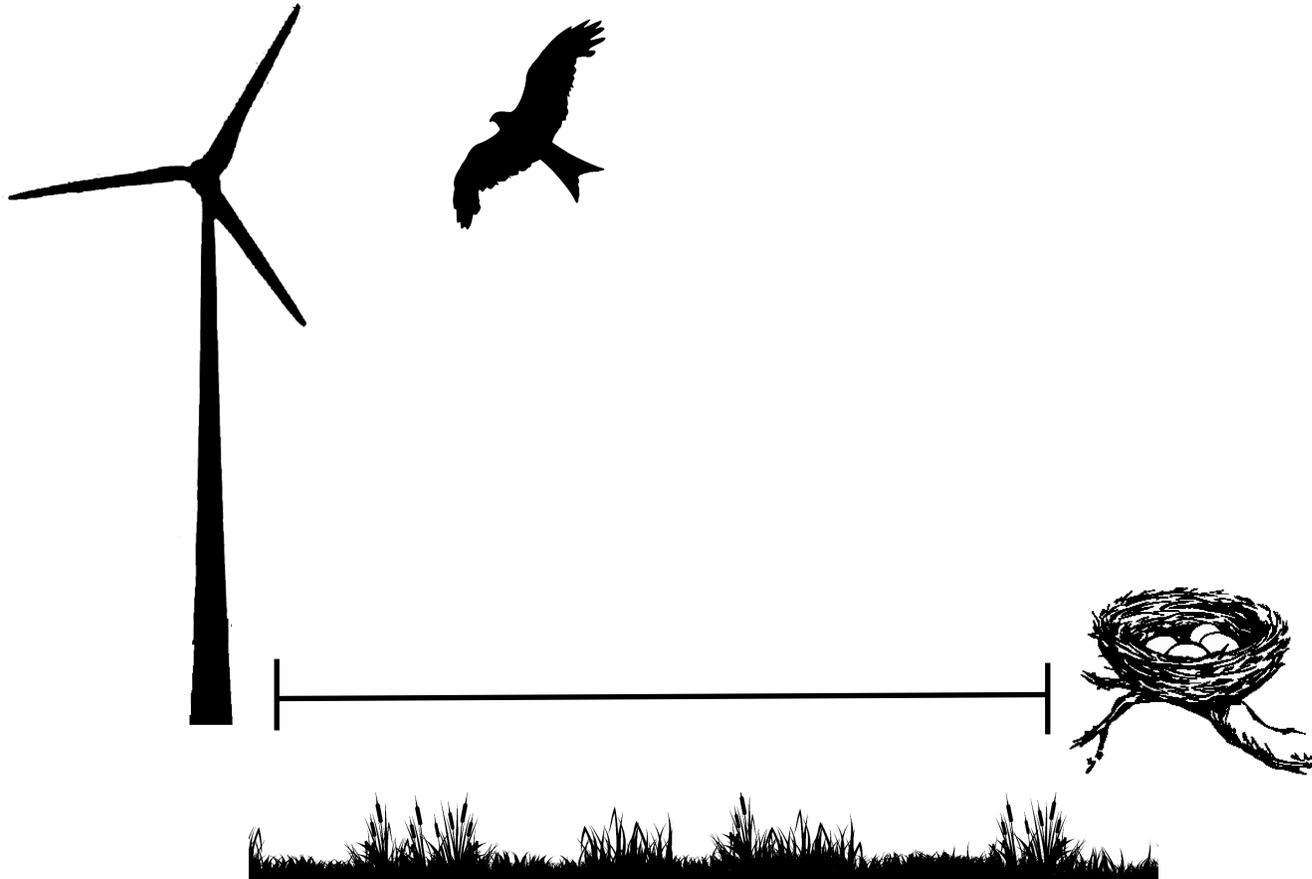
Raumnutzungsanalyse (RNA)



Berechnung



- schnell
- empirisch fundiert & standardisiert
- Einfaches (quantitatives) Ergebnis

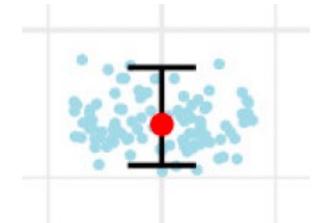
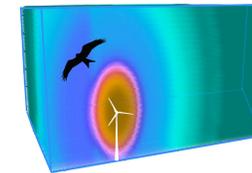


## Welche Chancen bietet die Berechnung?

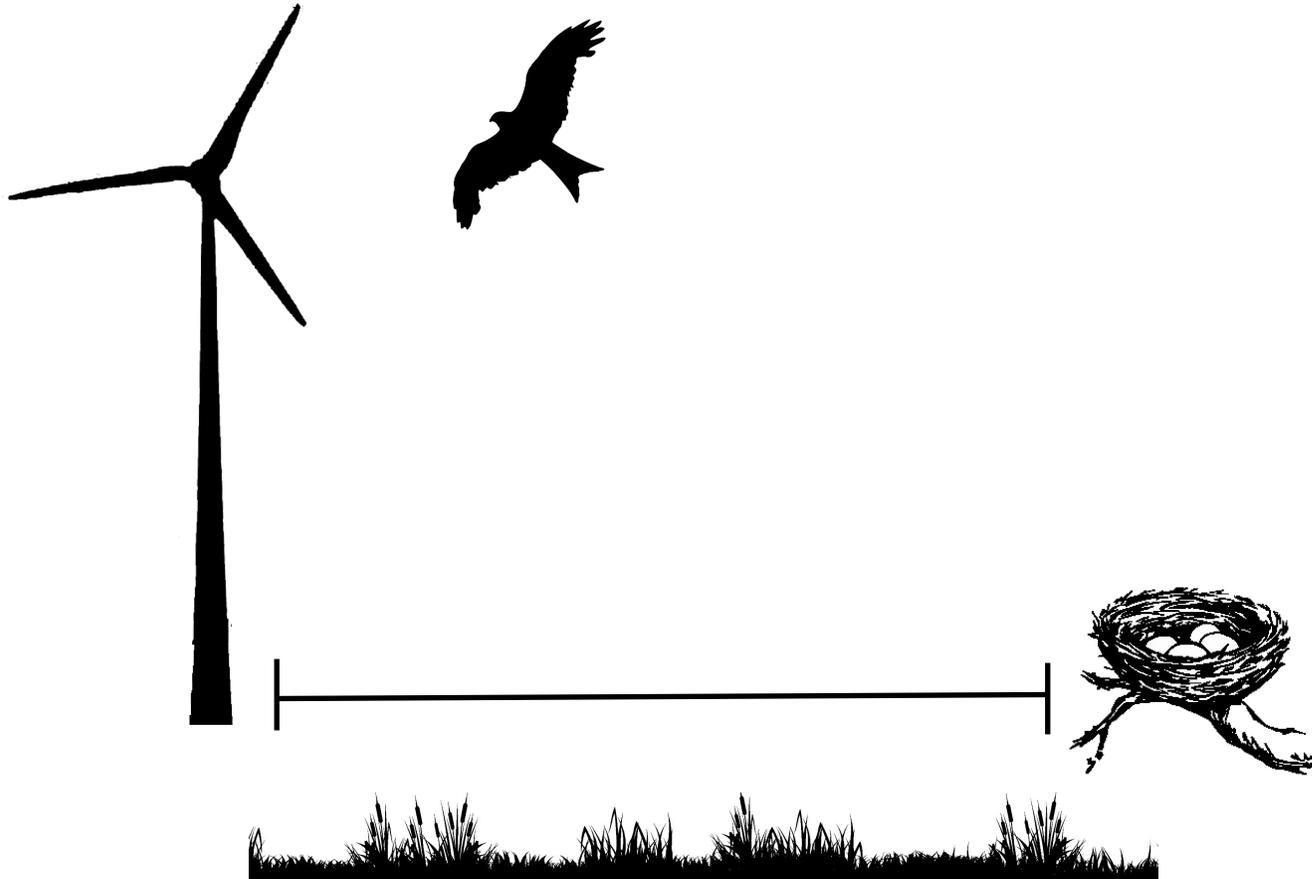
Raumnutzungsanalyse (RNA)



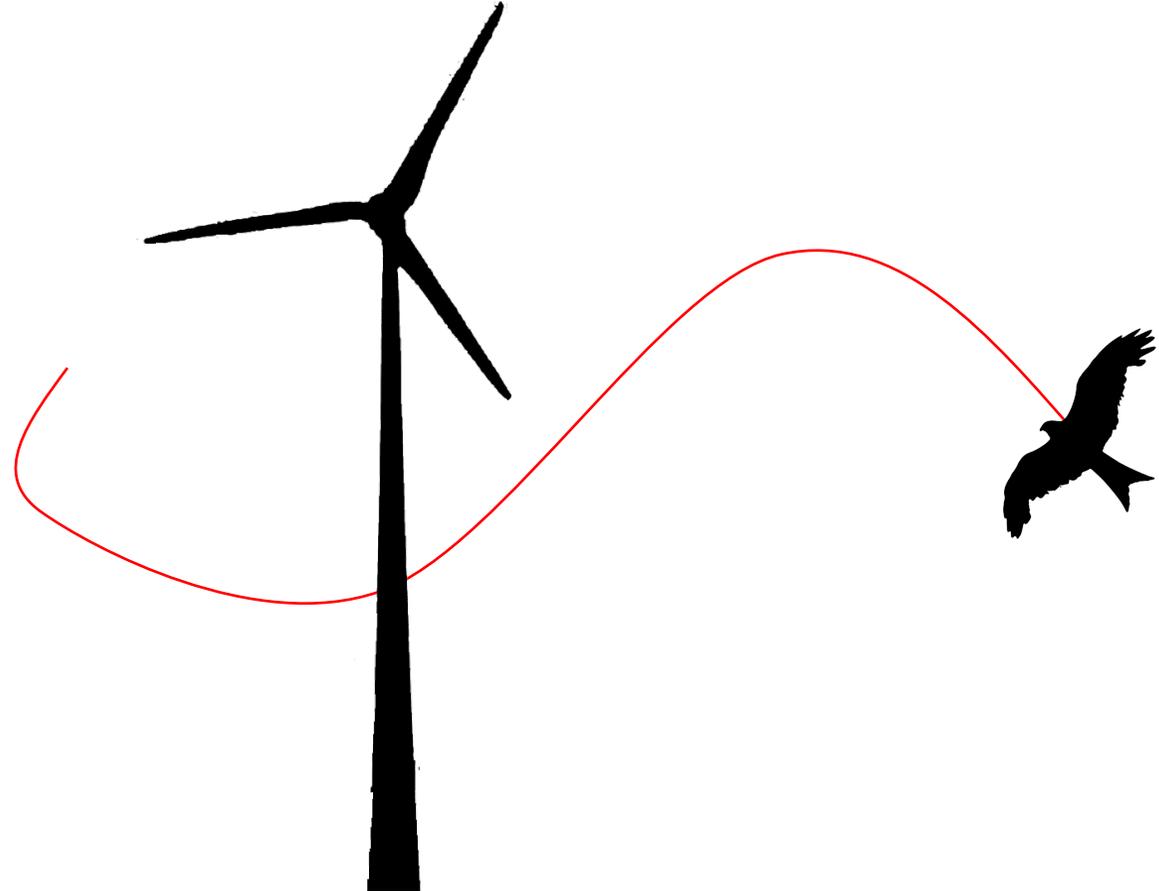
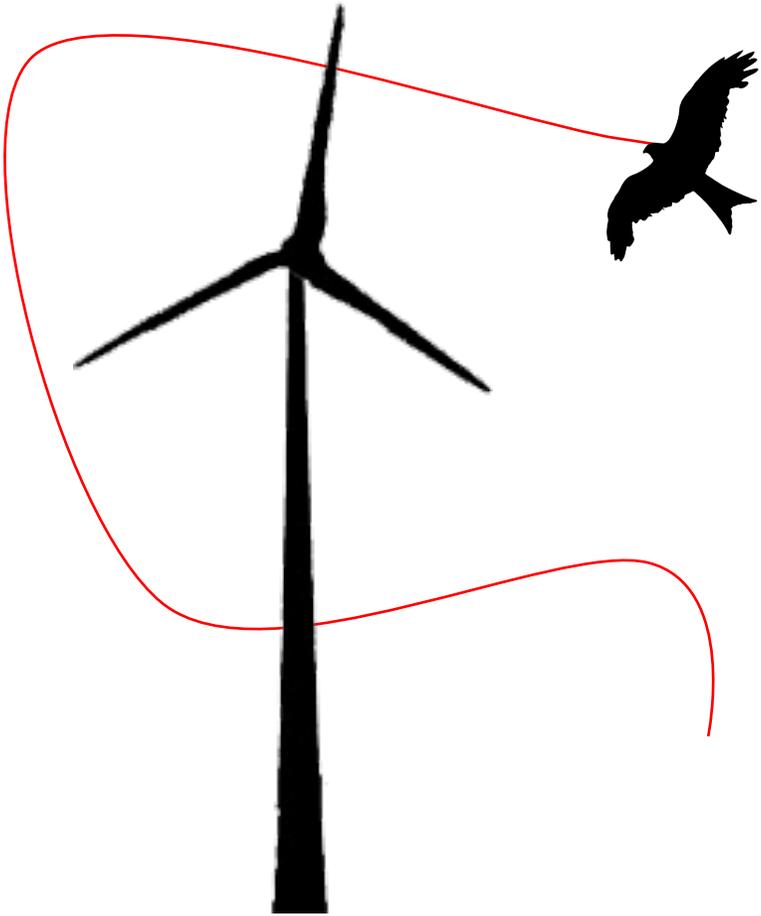
Berechnung



- schnell
- empirisch fundiert & standardisiert
- Einfaches (quantitatives) Ergebnis

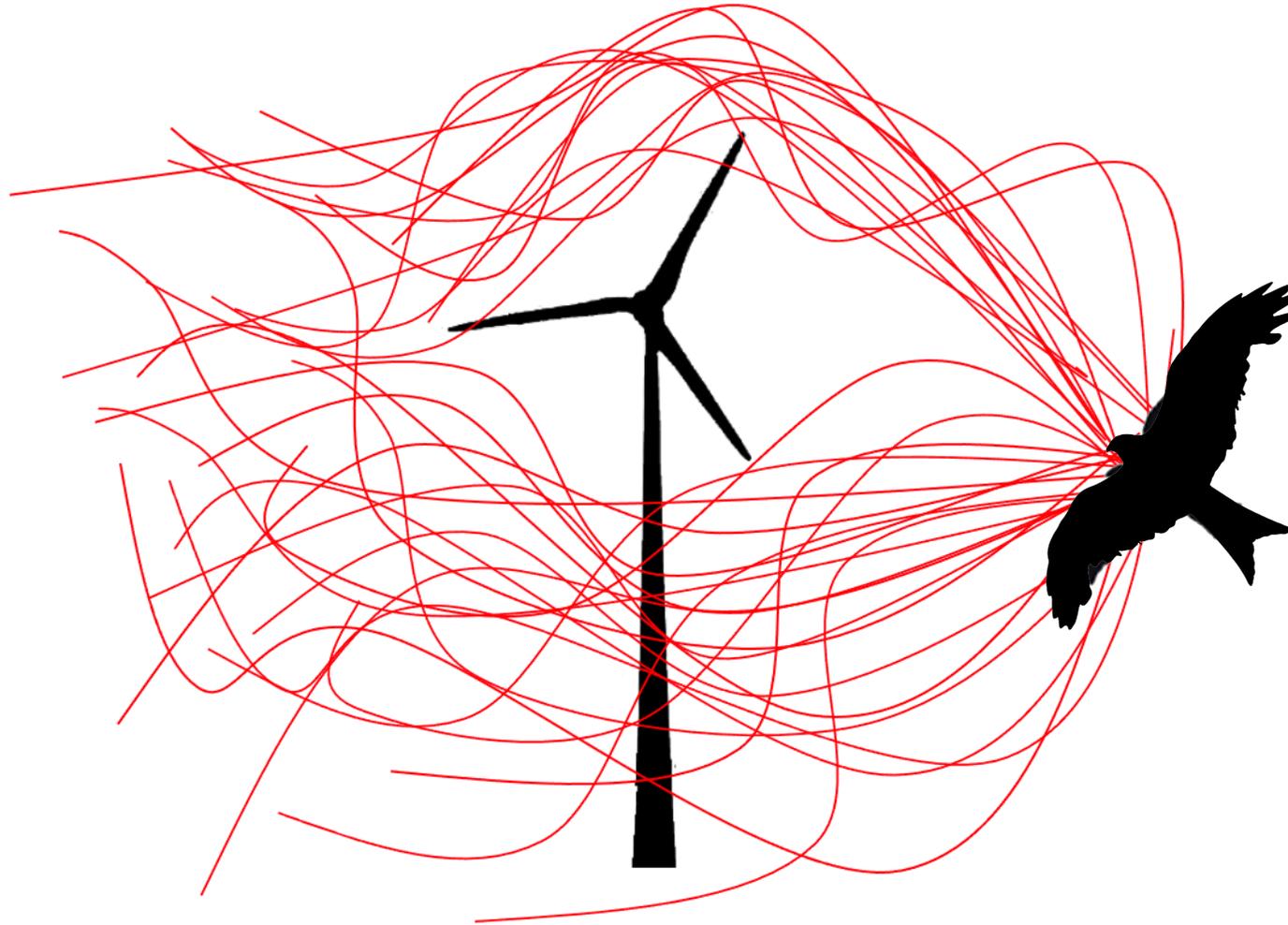


## Probabilistik



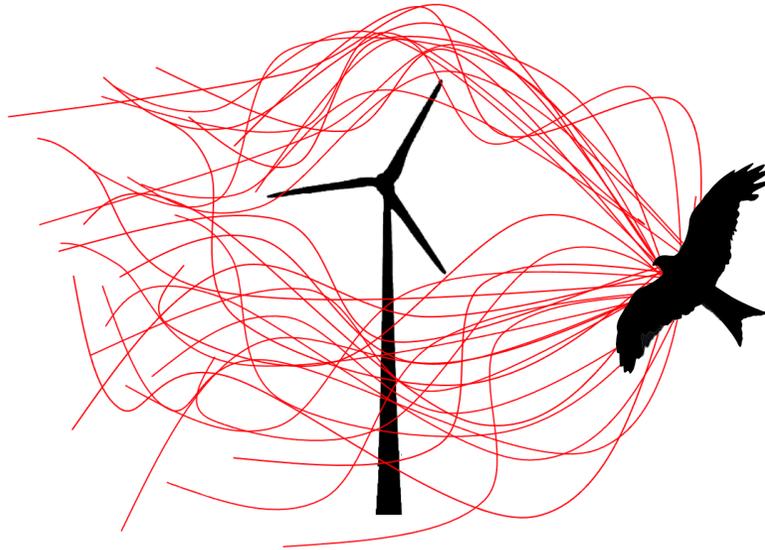
**Probabilistik = Wahrscheinlichkeitsrechnung**

## Probabilistik

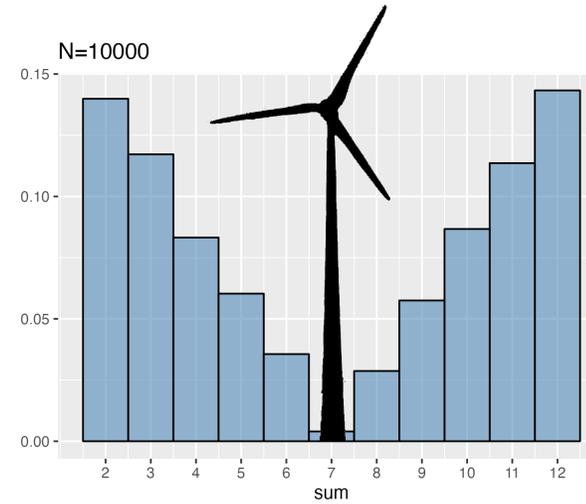


**Probabilistik = Wahrscheinlichkeitsrechnung**

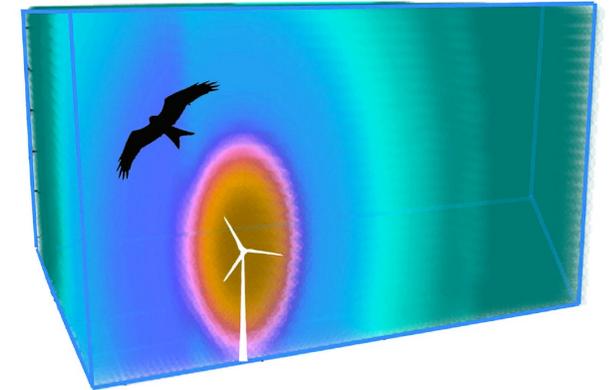
# Generelles Konzept



Empirische Daten

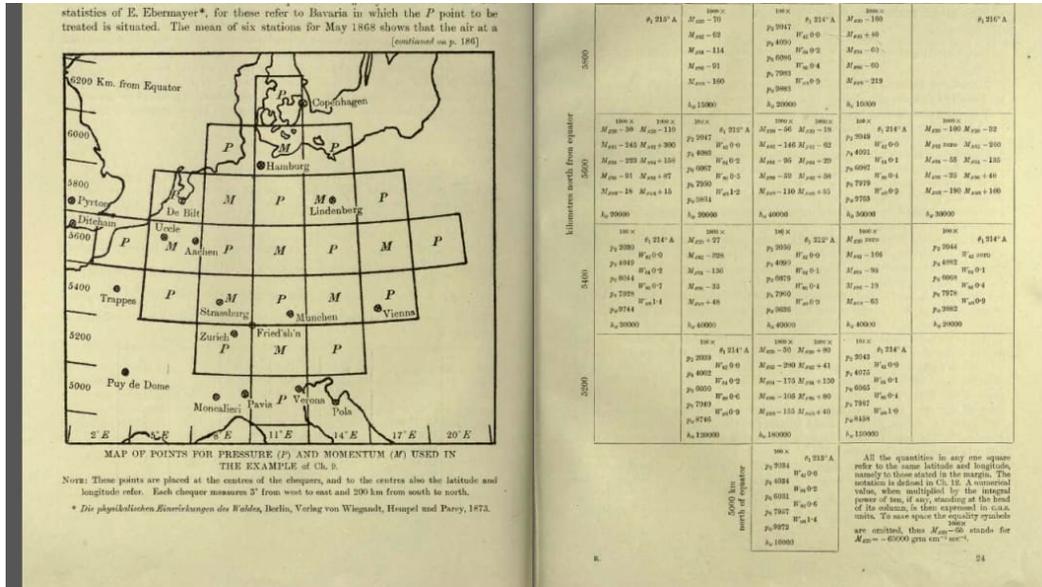


Auswertungen (Wahrscheinlichkeiten)



Modell/Prognosen

# Beispiel Probabilistik: Wettervorhersage



Lewis F Richardson

Vor 100 Jahren...



...und heute

Quelle: Deutscher Wetterdienst



## Wo werden/wurden Modelle zur Risikoabschätzung bereits eingesetzt?

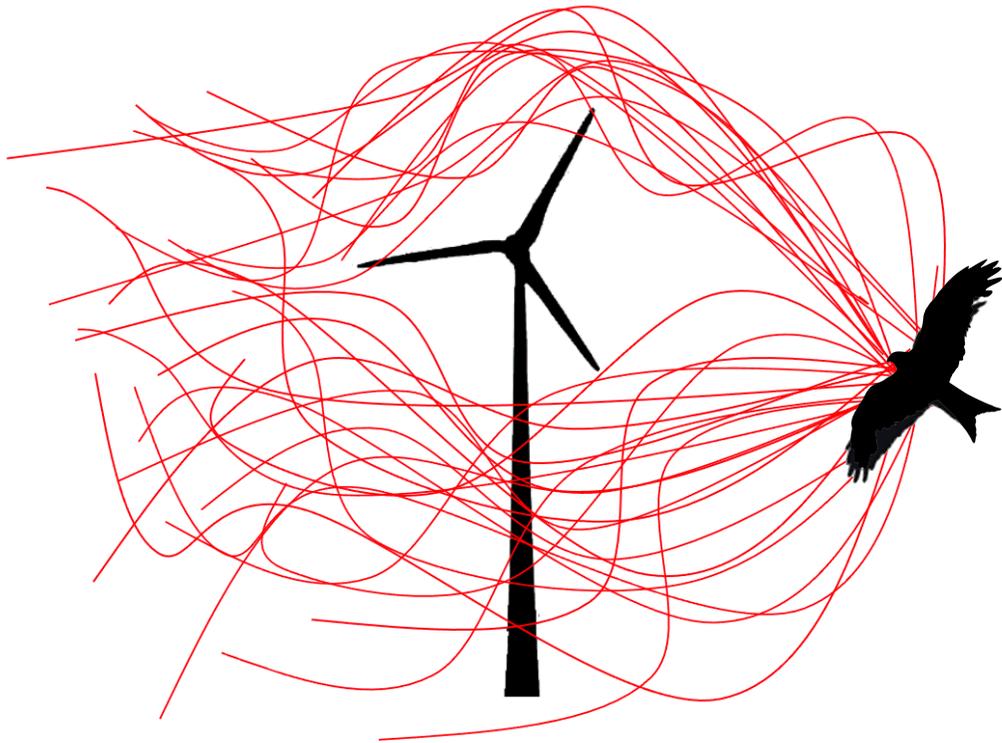
In verschiedenen Ländern, z.B.

- **USA** – Onshore Altamont Pass Wind Farm, Kalifornien
- **Großbritannien** - Moray East Offshore-Windpark
- **Dänemark** - Kriegers Flak Offshore-Windpark
- Weitere Onshore Parks: z.B. Australien, Norwegen,...



## Bisheriges Problem Kollisionsrisikomodelle

? Ausweichverhalten  
("avoidance rate")



2006:

*"[...] the final predicted mortality is meaningless"* (Chamberlain et al, 2006)

2022/23:

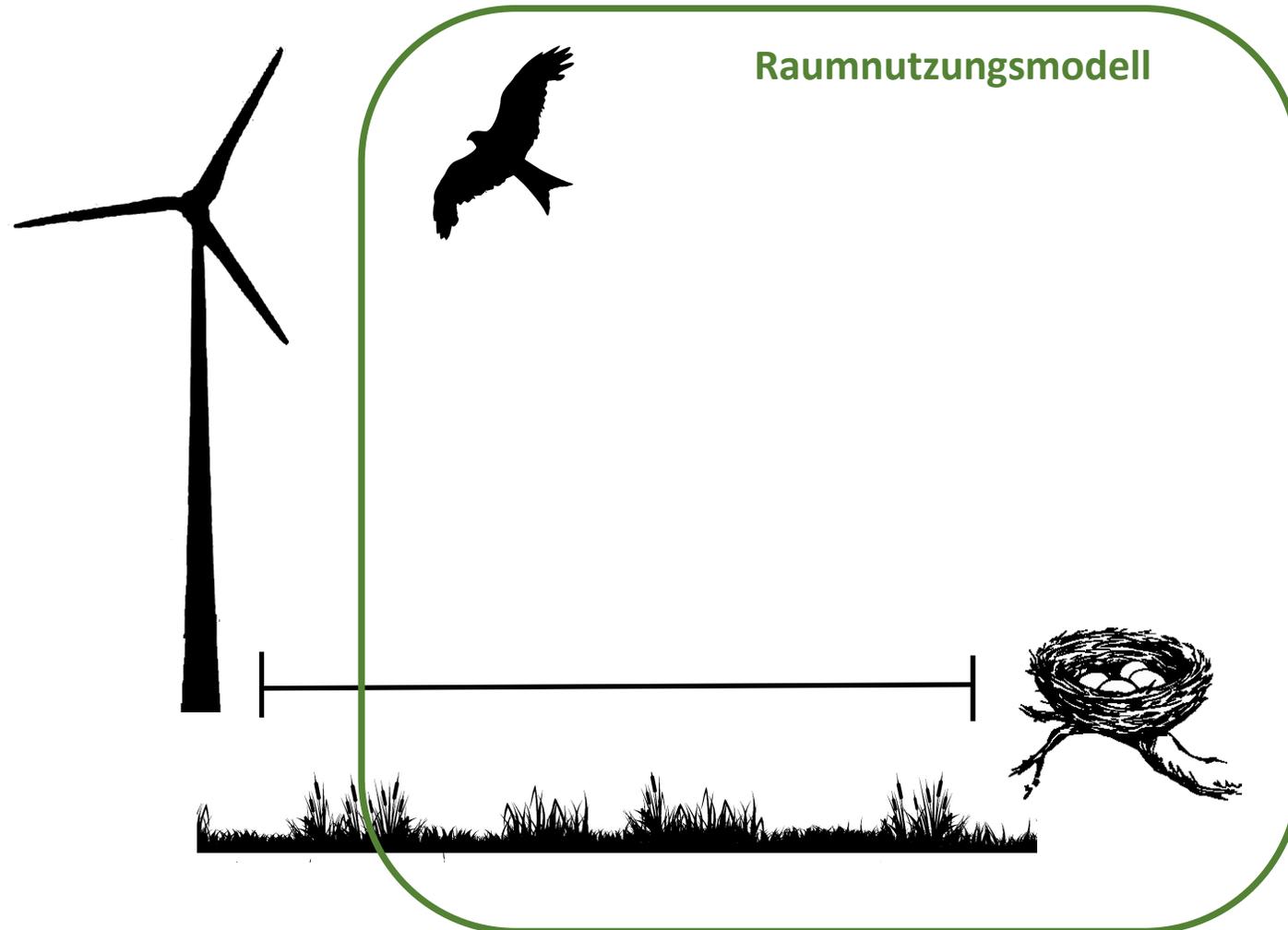
ausreichend Daten zur präzisen  
Bestimmung vorhanden



## Modellierungskonzept

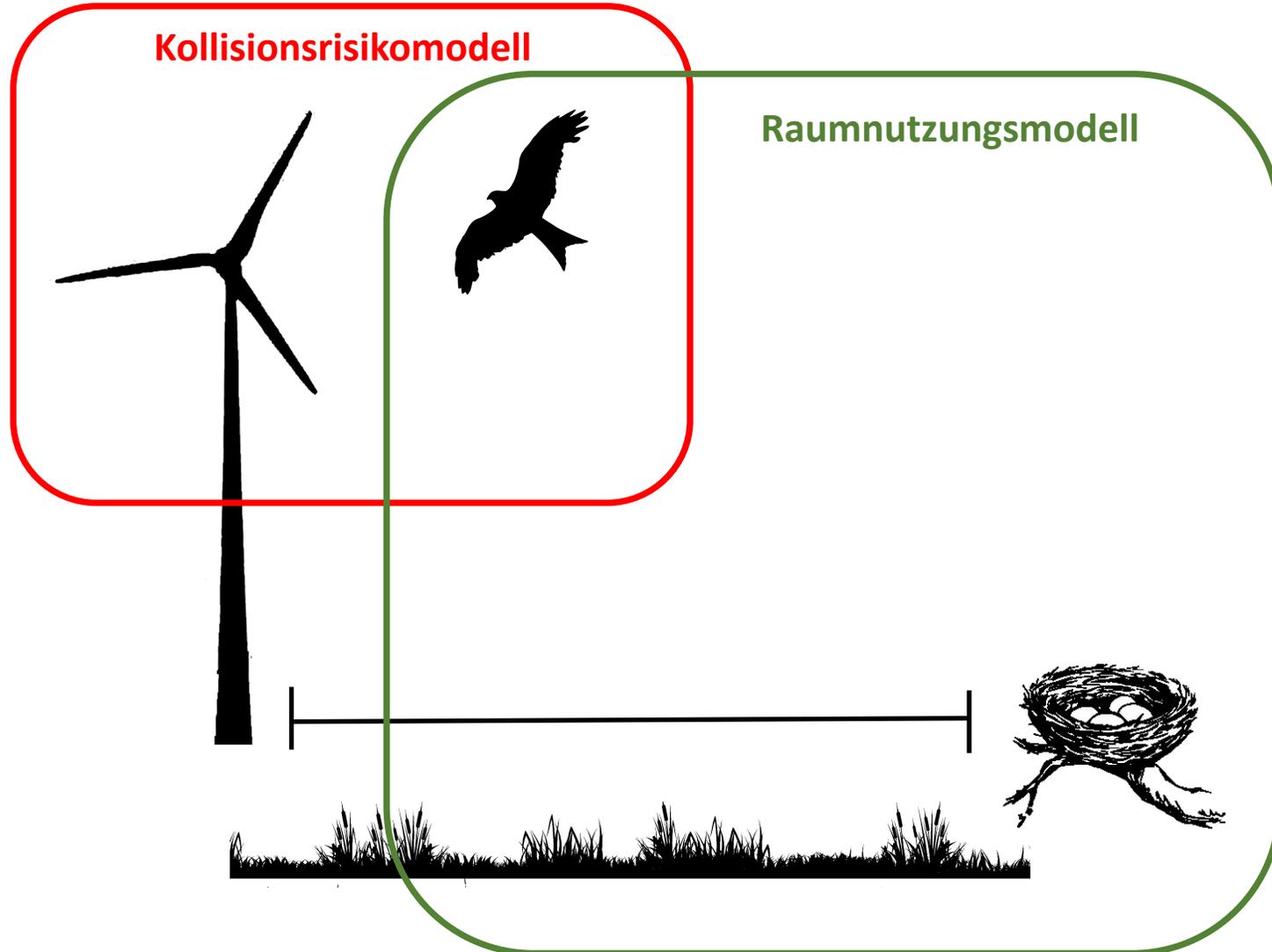


## Modellierungskonzept



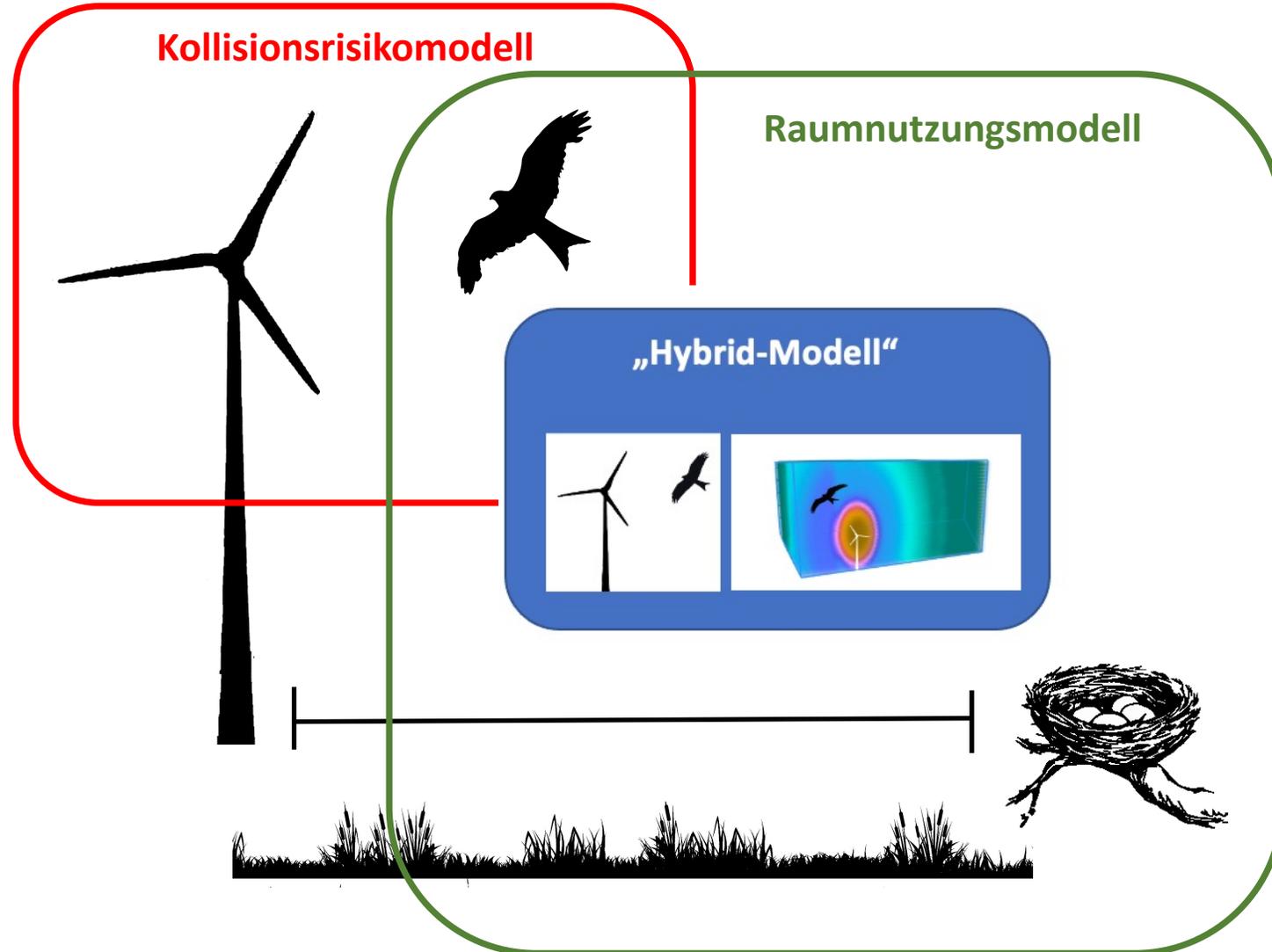


# Modellierungskonzept





# Modellierungskonzept



# Raumnutzungsmodell

3D örtliche Aspekte

zeitliche Aspekte

Habitatselektion

Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

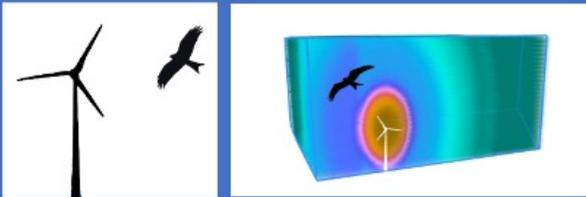
Flughöhe

Fluggeschwindigkeiten

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Kollisionsrisikomodell

„Hybrid-Modell“

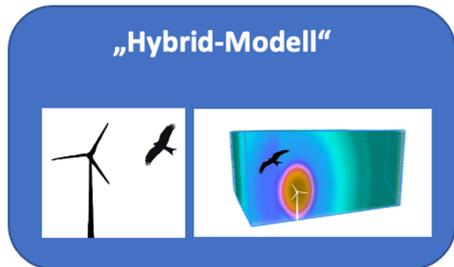


Ziel: ALLE BENÖTIGTEN  
PARAMETER EMPIRISCH VALIDE  
BESTIMMEN



- BAND-Modell (StochLab → Caneco et al. 2022)
- Review (Mercker et al 2023)

Kollisionsrisikomodell



- iSSM-Methode (Mercker et al 2021)
- Empirisch: Reichenbach et al (2023)
- Urquhart&Whitfield (2016)

3D örtliche Aspekte

zeitliche Aspekte

Ausweichverhalten ("Avoidance rate")

Habitatselektion

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fluggeschwindigkeiten

Fliegen/Rasten Tagesphänologie

- iSSM-Methode (Mercker et al 2021)
- BDEW (2022)

- Reichenbach & Aussieker (2021)

- Pfeiffer & Meyburg (2022)

- Pfeiffer & Meyburg (2022)
- LfU-Arbeitskreis Antikollisionssysteme (2023)

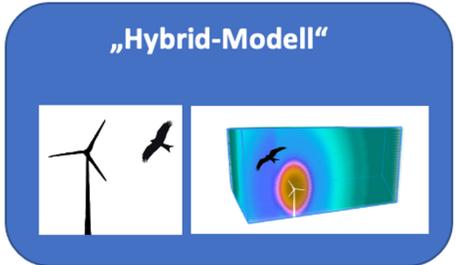
- Pfeiffer & Meyburg (2022)





- BAND-Modell (StochLab → Caneco et al. **2022**)
- Review (Mercker et al **2023**)

Kollisionsrisikomodell



- iSSM-Methode (Mercker et al **2021**)
- Empirisch: Reichenbach et al (**2023**)
- Urquhart&Whitfield (**2016**)

3D örtliche Aspekte

zeitliche Aspekte

Ausweichverhalten ("Avoidance rate")

Habitatselektion

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fluggeschwindigkeiten

Fliegen/Rasten Tagesphänologie

- iSSM-Methode (Mercker et al **2021**)
- BDEW (**2022**)

- Reichenbach & Aussieker (**2021**)

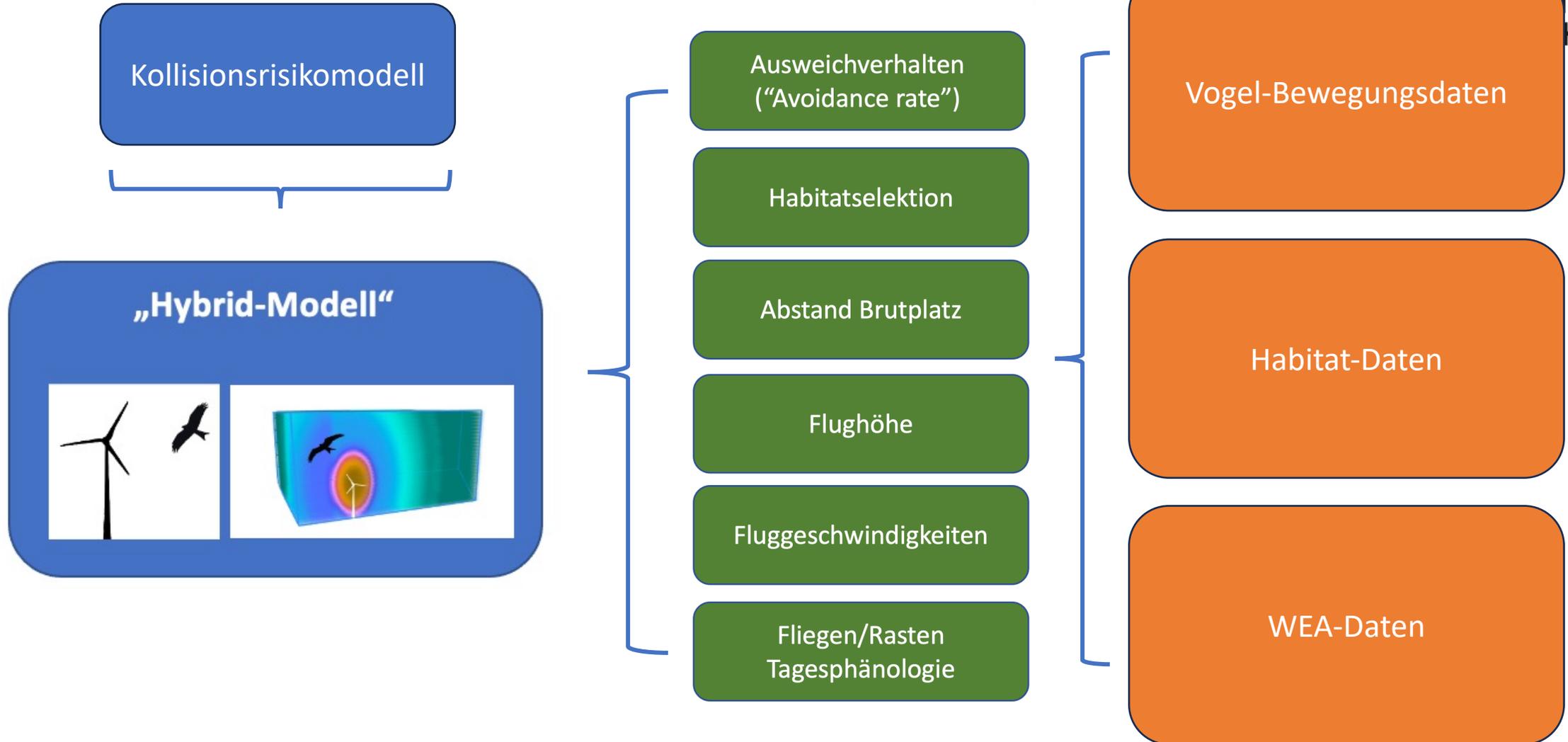
- Pfeiffer & Meyburg (**2022**)

- Pfeiffer & Meyburg (**2022**)
- LfU-Arbeitskreis Antikollisionssysteme (**2023**)

- Pfeiffer & Meyburg (**2022**)



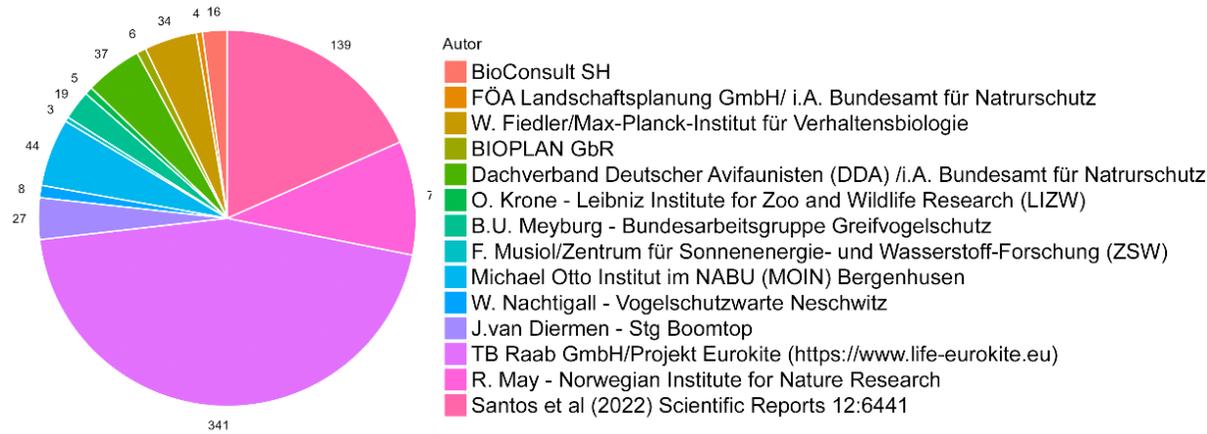
### Modellierungskonzept



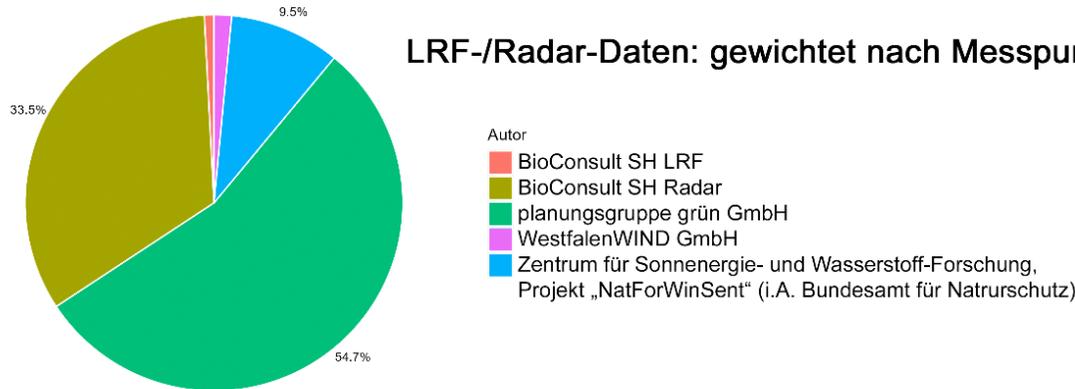


# Vogel-Bewegungsdaten

### GPS-Daten: Anteile Datenquellen (gewichtet nach Individuen)



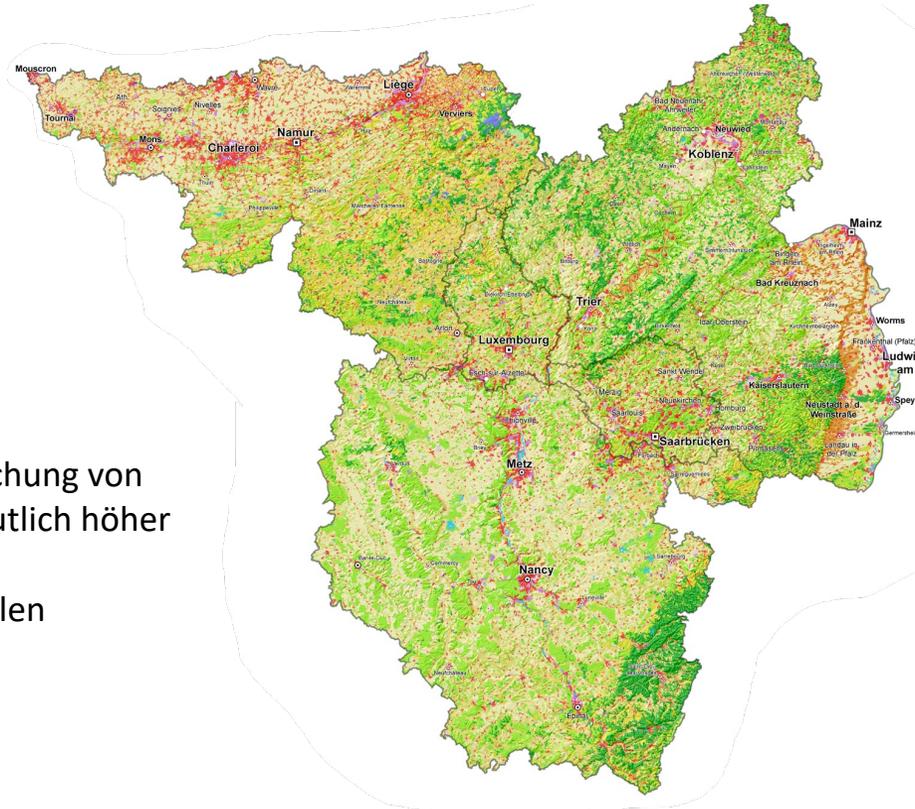
### LRF-/Radar-Daten: gewichtet nach Messpunkten



N= 70.000.000 Datenpunkte (GPS-, LRF- und Radar-Daten)



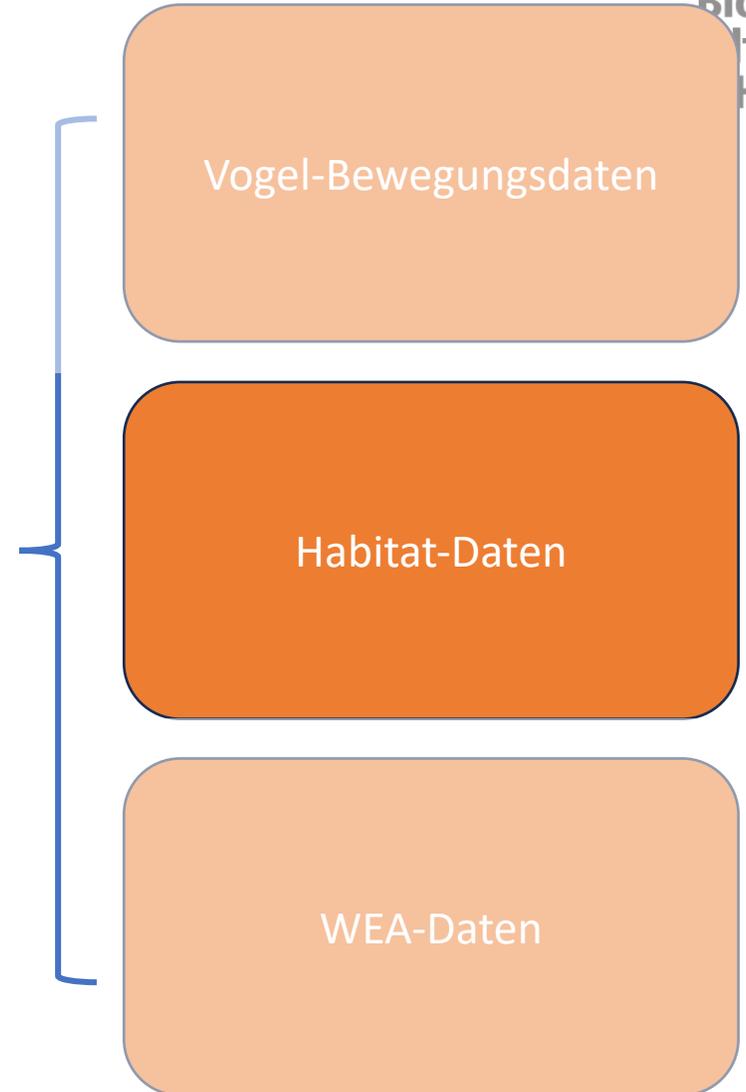
### Habitatdaten



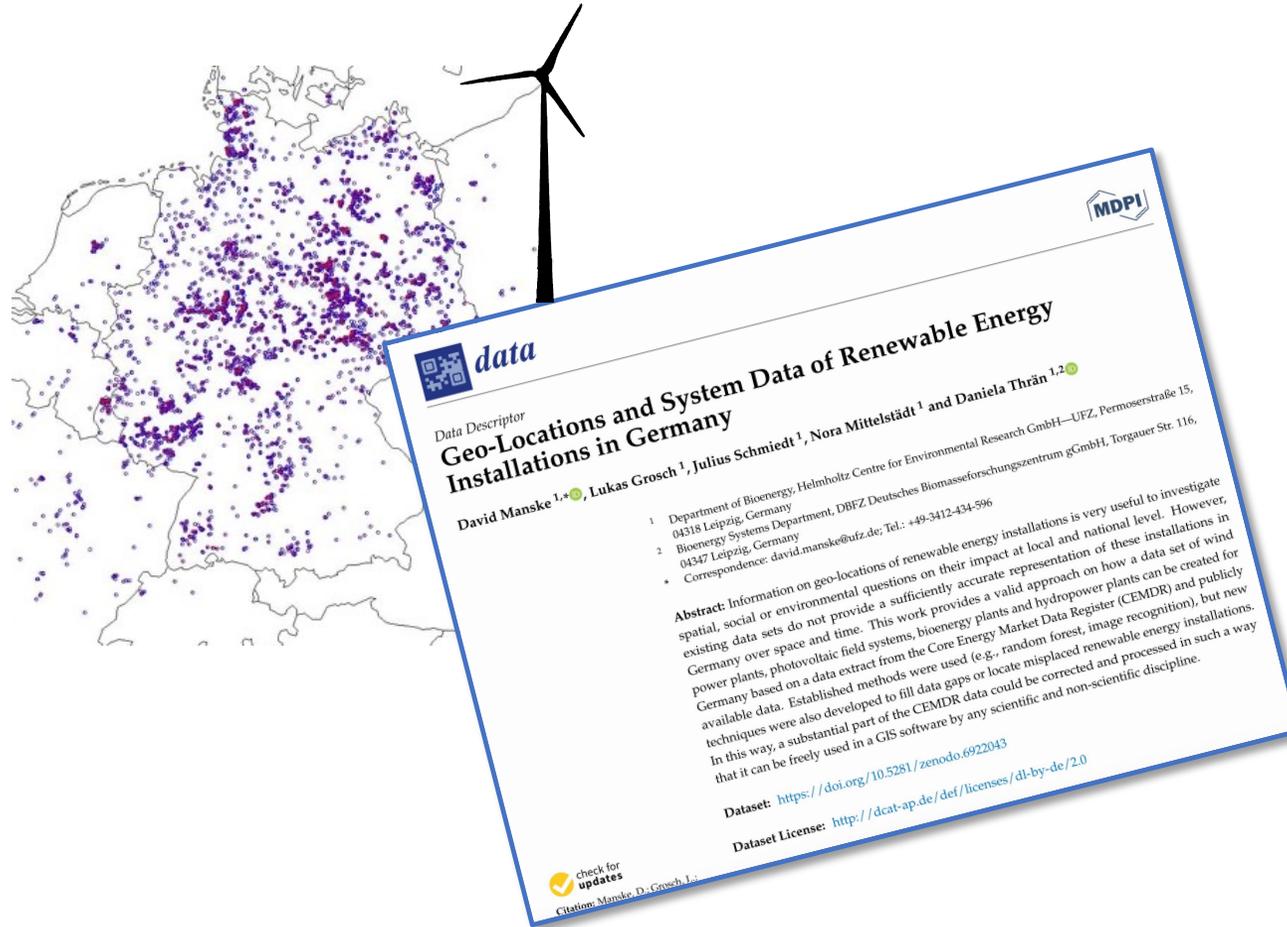
[https://www.sig-gr.eu/de/cartes-thematiques/occupation-sols/corine\\_land\\_cover/2018.html](https://www.sig-gr.eu/de/cartes-thematiques/occupation-sols/corine_land_cover/2018.html)

Corine Land Cover (CLC) 2018  
(100 x 100 Meter)

→ Derzeit: Untersuchung von örtlich & zeitlich deutlich höher aufgelösten Landnutzungsvariablen



### WEA-Daten

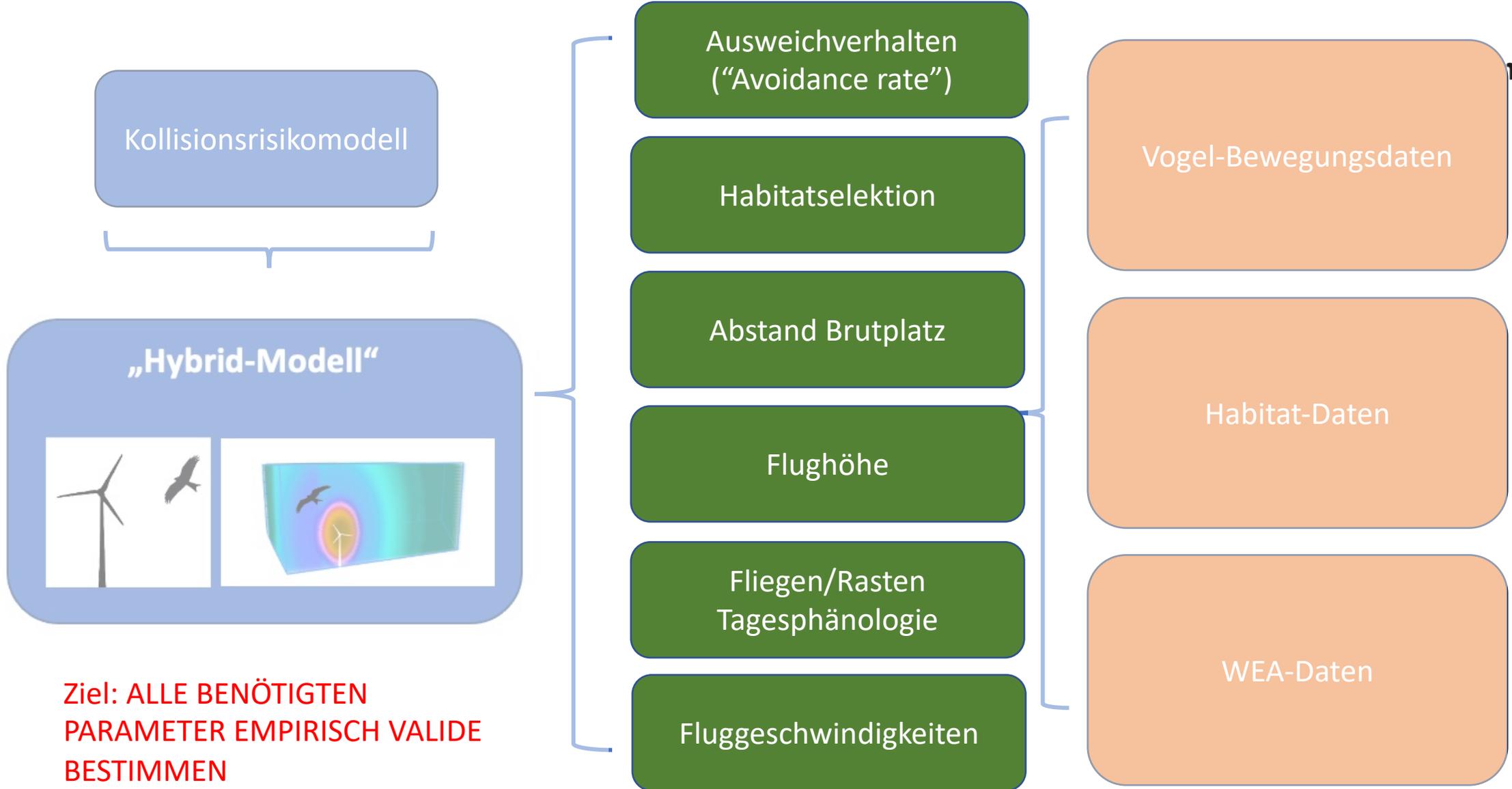


Vogel-Bewegungsdaten

Habitat-Daten

WEA-Daten

Helmholtz Zentrum für Umweltforschung  
Manske et al (2022)  
<https://doi.org/10.5281/zenodo.6922043>



## Habitatselektion

Habitatselektion

Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten



- Weiterentwicklung iSSM-Framework ("integrated step selection models")
- > 3.000.000 Rotmilan-GPS-Punkte
- Ergebnisse plausibel, z.B.
  - Attraktion von Weideflächen;
  - Meidung von Industrie

Habitatselektion

Ausweichverhalten ("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

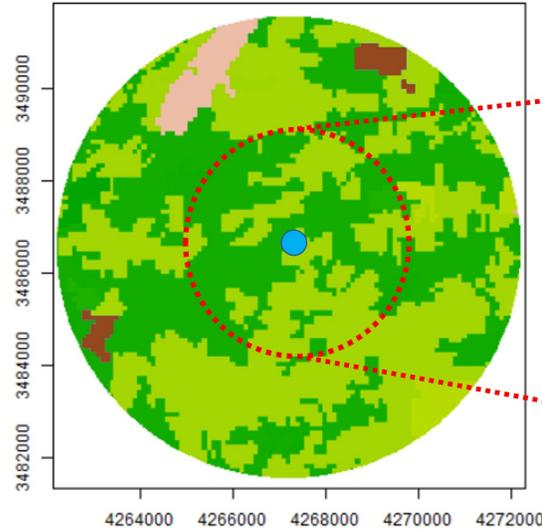
Flughöhe

Fliegen/Rasten Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten

### Prognose Habitatselektion

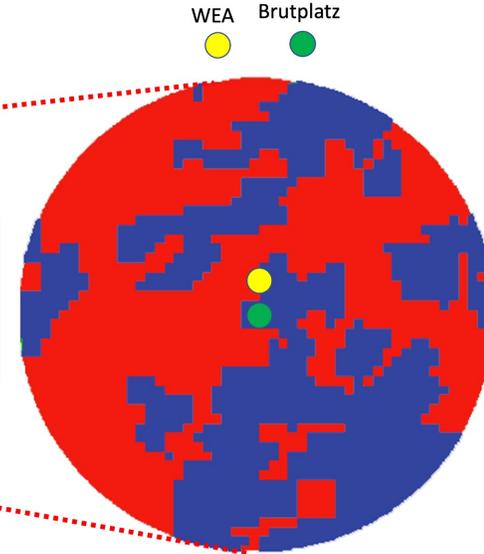
CLC-Habitat



- Hab1
- Hab2
- Hab3
- Hab4

iSSM  
Vorher-  
sage  
➔

iSSM-Prognose



Habitatselektion

Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

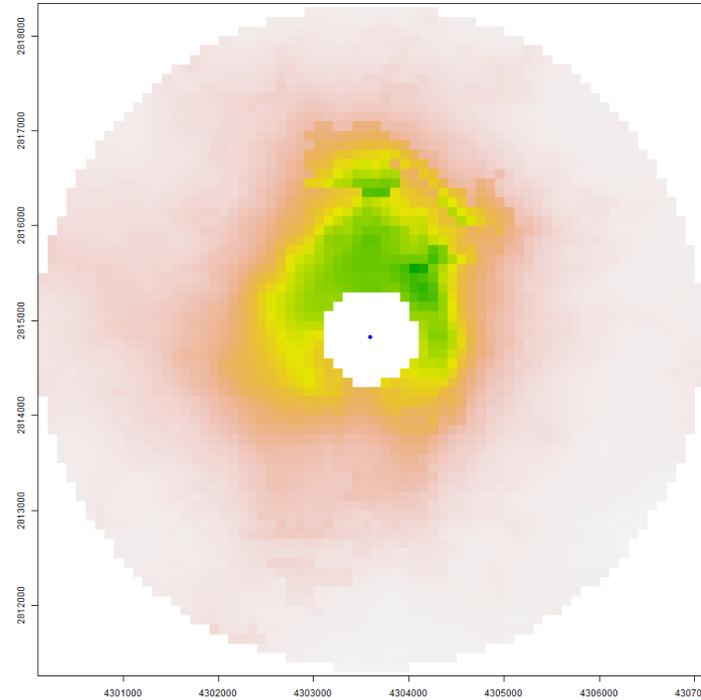
Abstand Brutplatz

Flughöhe

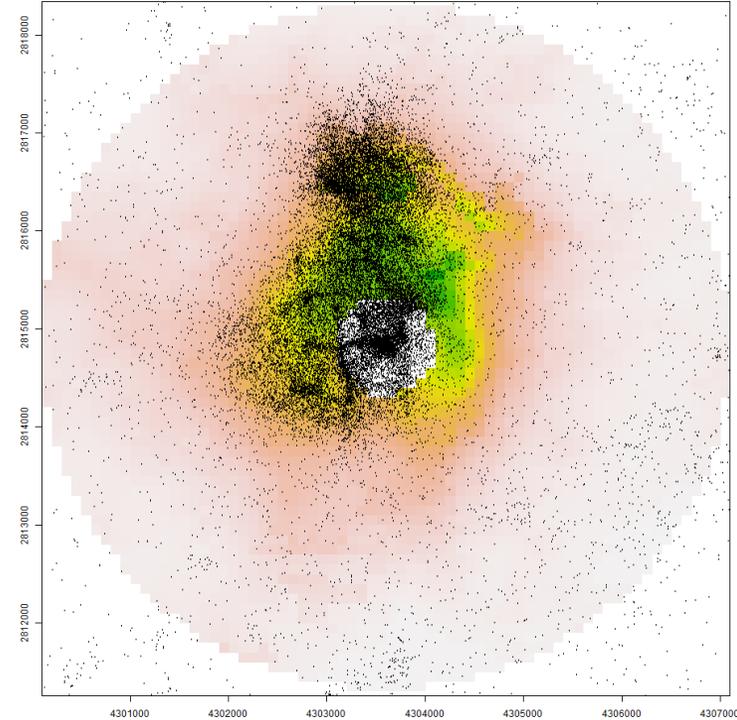
Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten

### Prognose vs. reale Habitatnutzung/-selektion



Hybrid-Modellprognose



Hybrid-Modellprognose  
+ GPS-Punkte (schwarz)

Habitatselektion

Ausweichverhalten ("Avoidance rate")

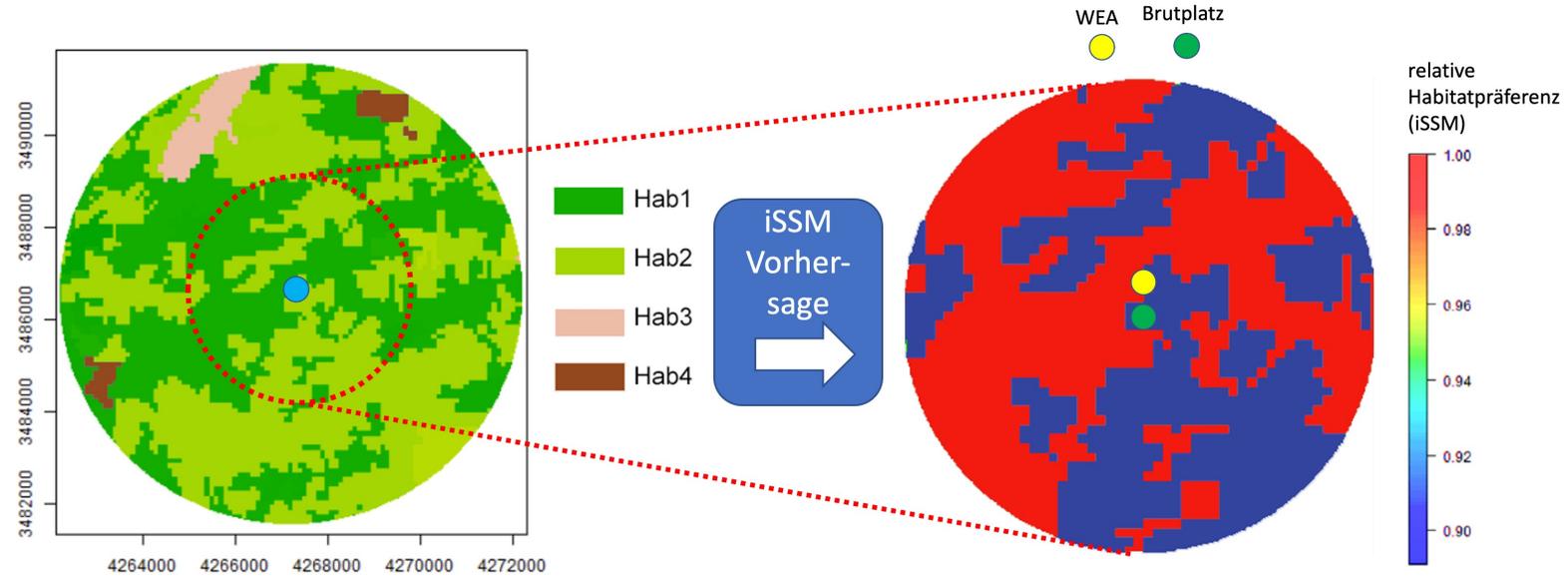
Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten

### Prognose Habitatselektion



Habitatselektion

Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

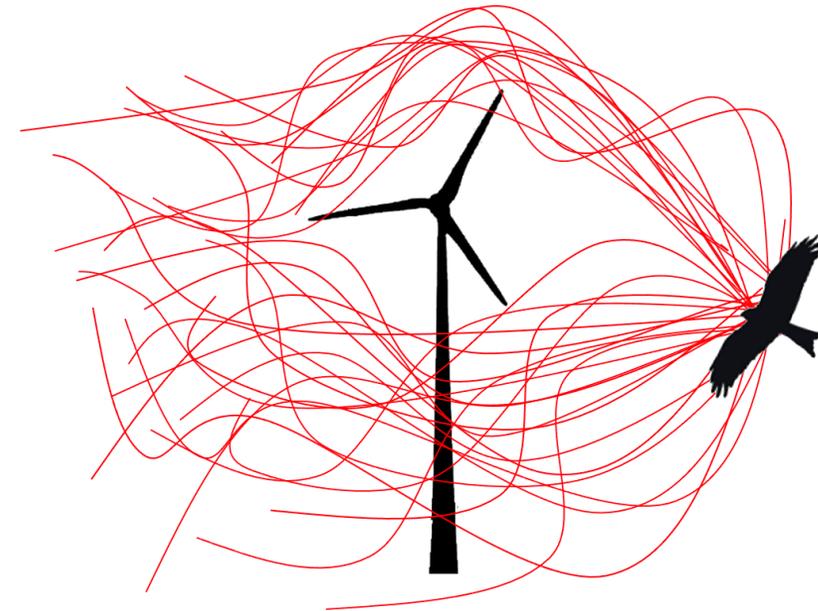
Flughöhe

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten

**Mikro-avoidance**

- Ausweichen im Nahbereich
  - GPS und LRF Daten
  - → TB Raab/Eurokite
  - 85 Flüge in der Rotorkugel, 2 Durchflüge
- ~ 85 %

**Meso-avoidance****Makro-avoidance**

Habitatselektion

Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

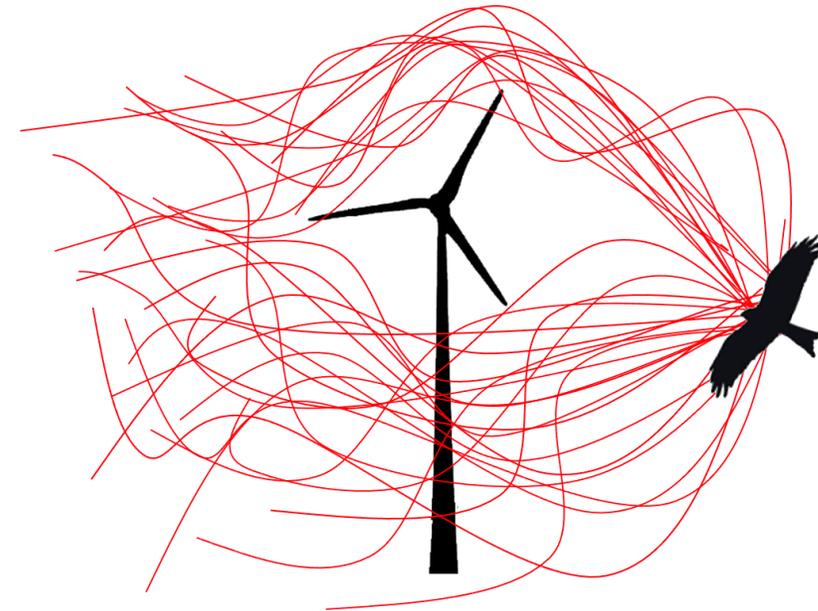
Fluggeschwindigkeiten

**Mikro-avoidance**

- Ausweichen im Nahbereich
- GPS und LRF Daten
- → TB Raab/Eurokite
- 85 Flüge in der Rotorkugel, 2 Durchflüge

→ ~ 85 %

**Derzeit Analyse mit deutlich mehr Daten  
+ WEA-Neigungswinkel berücksichtigen  
+ Ausschluss von nicht-drehenden WEA**

**Meso-avoidance****Makro-avoidance**



Habitatselektion

Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten

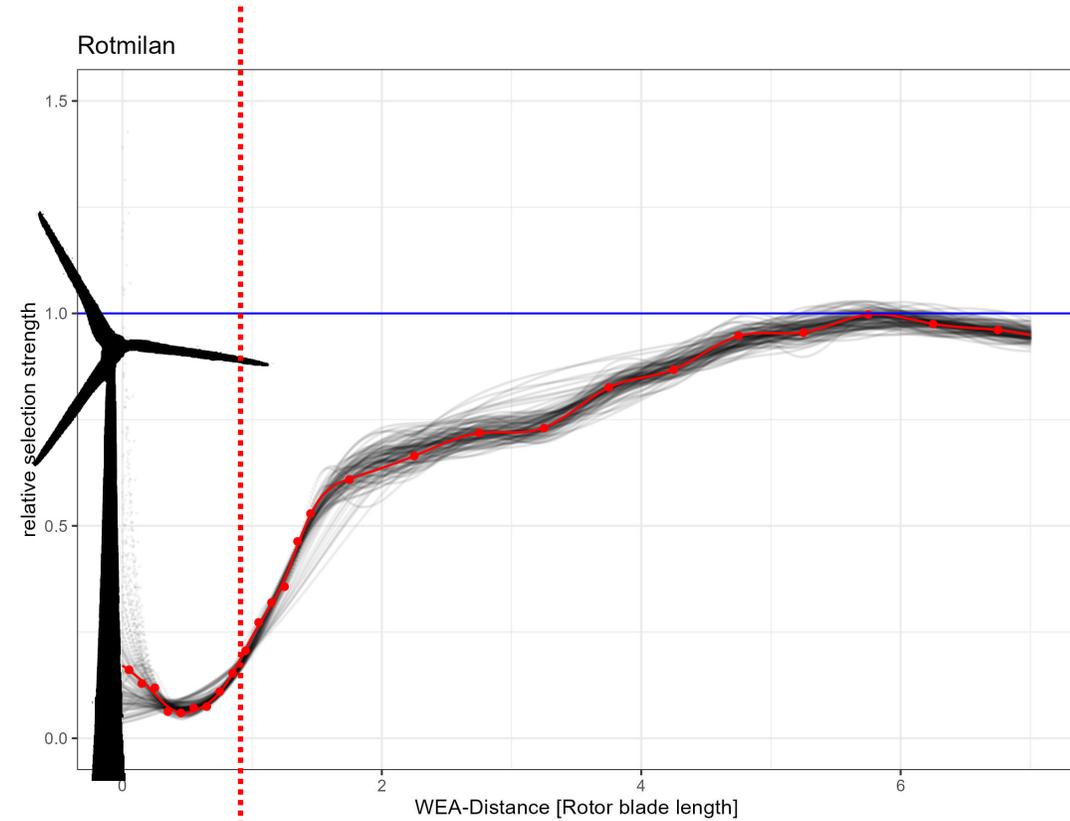
Mikro-avoidance

- Ausweichen im Nahbereich
  - GPS und LRF Daten
  - → TB Raab/Eurokite
  - 85 Flüge in der Rotorkugel, 2 Durchflüge
- ~ 85 %

Meso-avoidance

- iSSM-Framework
- → ~ 86 % [84.6%,87.3%]

Makro-avoidance





Habitatselektion

Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten

Mikro-avoidance

- Ausweichen im Nahbereich
  - GPS und LRF Daten
  - → TB Raab/Eurokite
  - 85 Flüge in der Rotorkugel, 2 Durchflüge
- ~ 85 %

Meso-avoidance

- iSSM-Framework
- → ~ 86 %  
[84.6%,87.3%]

**Makro-avoidance**

- Keine statistischen Indizien für einen systematischen Effekt
- 0 %





Habitatselektion

Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten

Mikro-avoidance

- Ausweichen im Nahbereich
  - GPS und LRF Daten
  - → TB Raab/Eurokite
  - 85 Flüge in der Rotorkugel, 2 Durchflüge
- ~ 85 %

Meso-avoidance

- iSSM-Framework
- → ~ 86 %  
[84.6%,87.3%]

Makro-avoidance

- Keine statistischen Indizein für einen systematischen Effekt
- 0 %

**Gesamt-avoidance: ~ 98 %**

**ABER: Mikro-avoidance wird noch valider gemessen**

→ Daten TB Raab / Eurokite





Habitatselektion

Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten

Mikro-avoidance

- Ausweichen im Nahbereich
  - GPS und LRF Daten
  - → TB Raab/Eurokite
  - 85 Flüge in der Rotorkugel, 2 Durchflüge
- ~ 85 %

Meso-avoidance

- iSSM-Framework
- → ~ 86 %  
[84.6%,87.3%]

Makro-avoidance

- Keine statistischen Indizein für einen systematischen Effekt
- 0 %

**Gesamt-avoidance: ~ 98 %**

Externe Schätzungen in ganz ähnlicher Größenordnung:

- Reichenbach et al (2023): 98,3%-99,1%
- Scottish Natural Heritage: 98%, 99%



Habitatselektion

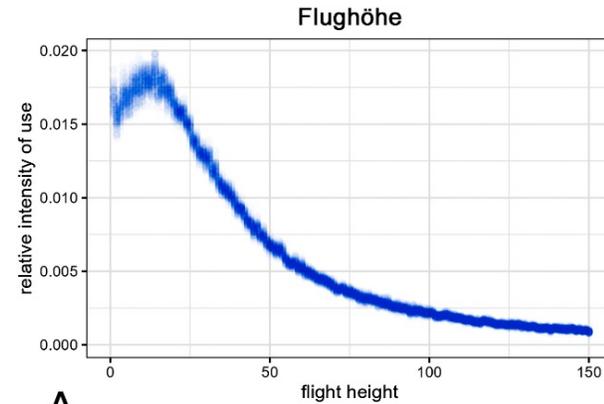
Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

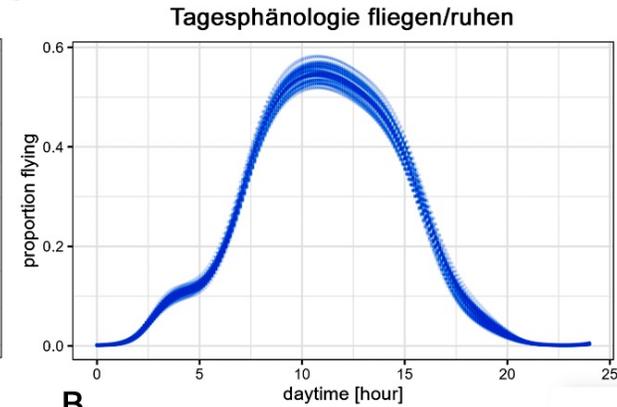
Flughöhe

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

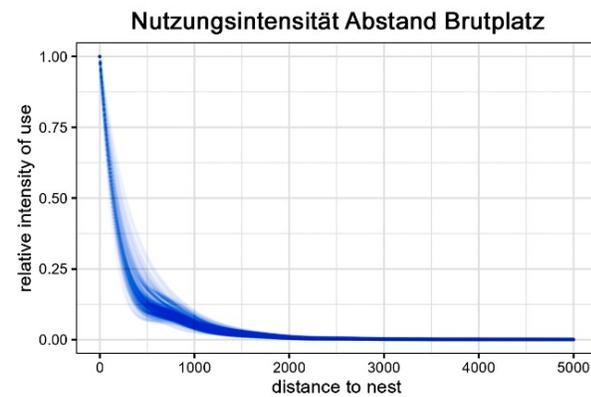
Fluggeschwindigkeiten



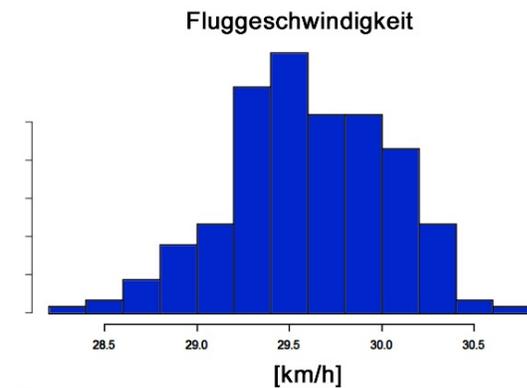
A



B



C



D

Qualitativ und quantitativ übereinstimmend mit u.a.

- Reichenbach & Aussieker (2021)
- Meyburg & Pfeiffer (2022)

Habitatselektion

Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

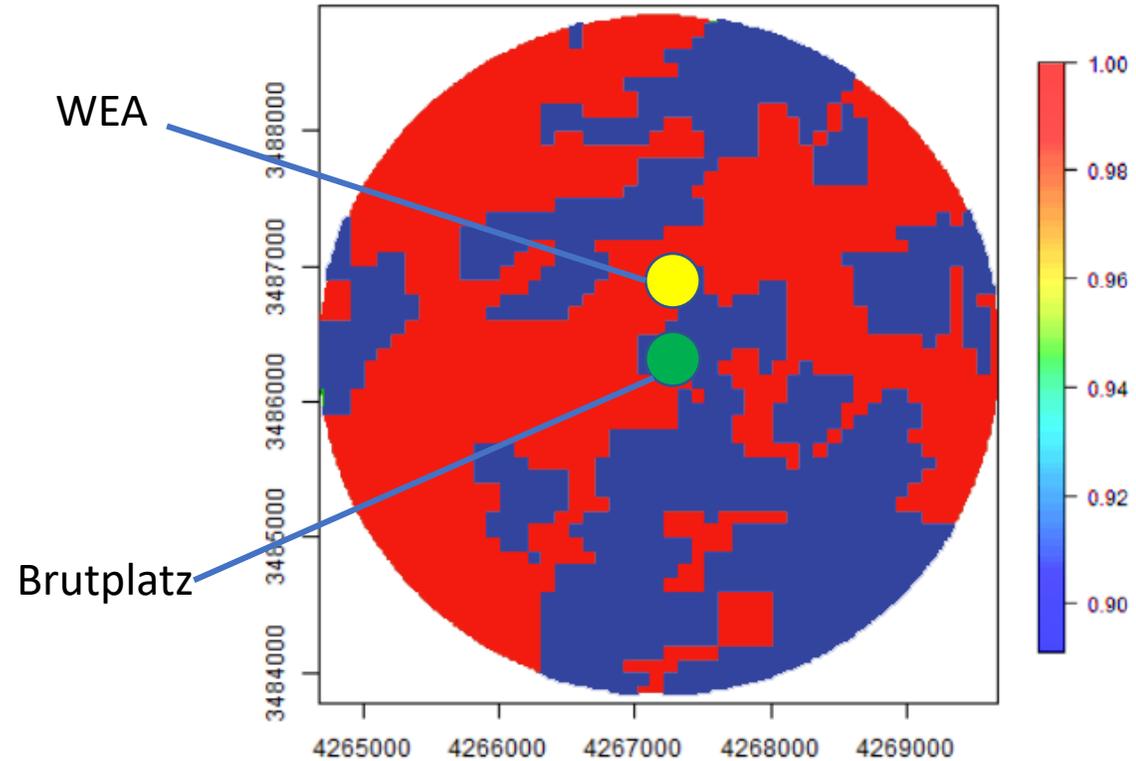
Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten

Raumnutzungsmodell: 2D → 3D



Habitatselektion

Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

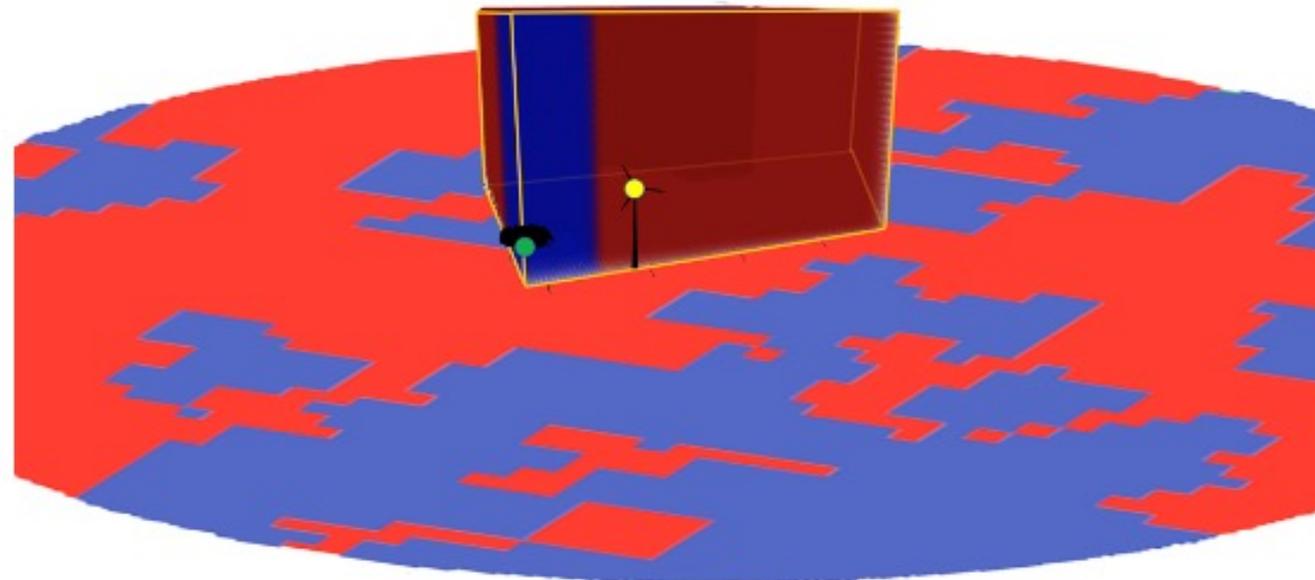
Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten

Raumnutzungsmodell: 2D → 3D

● WEA ● Brutplatz

Auflösung: 10x10x10 Meter  
6 km Radius, Höhe 300 Meter





Habitatselektion

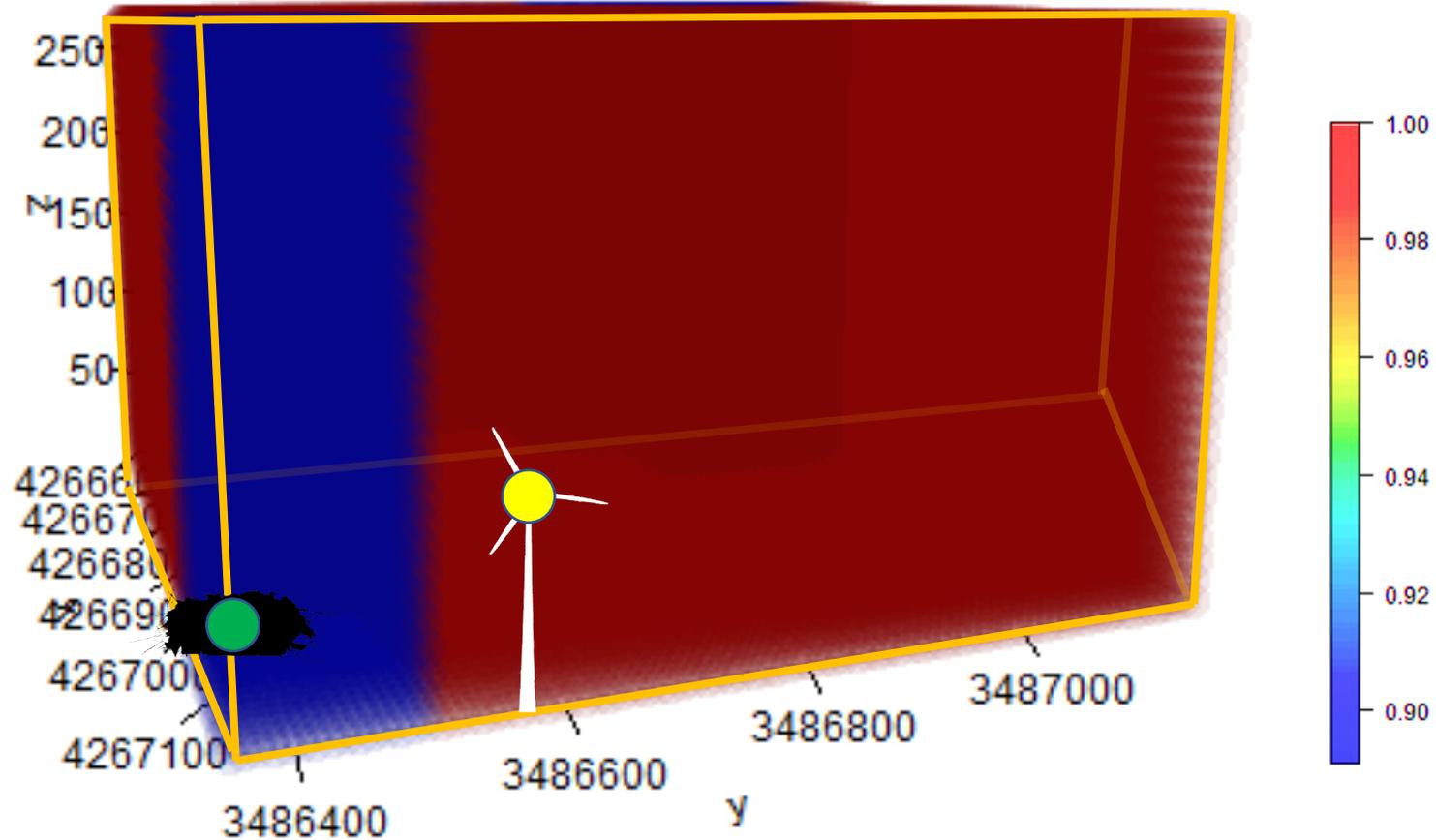
Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten





Habitatselektion

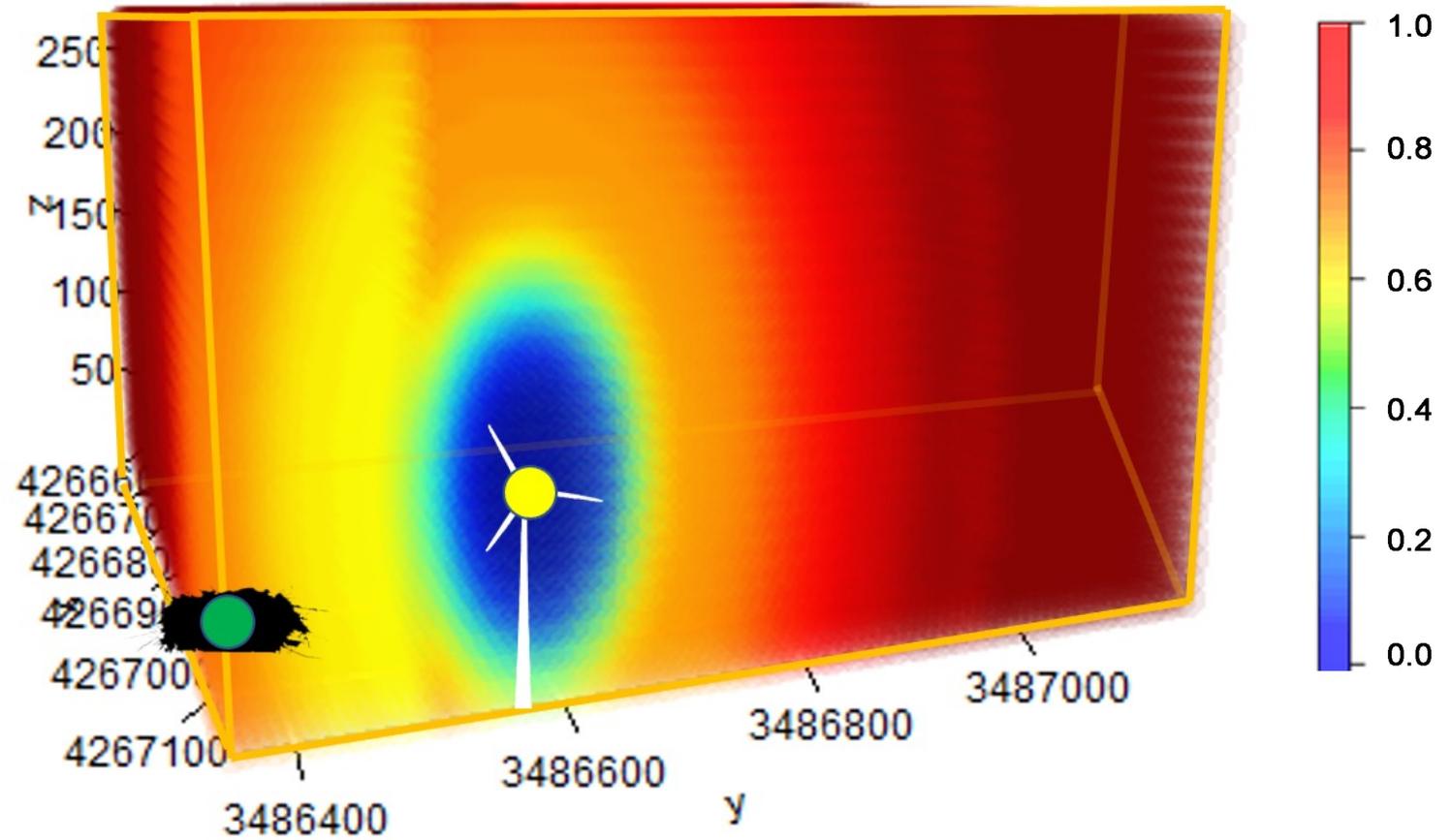
Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten





Habitatselektion

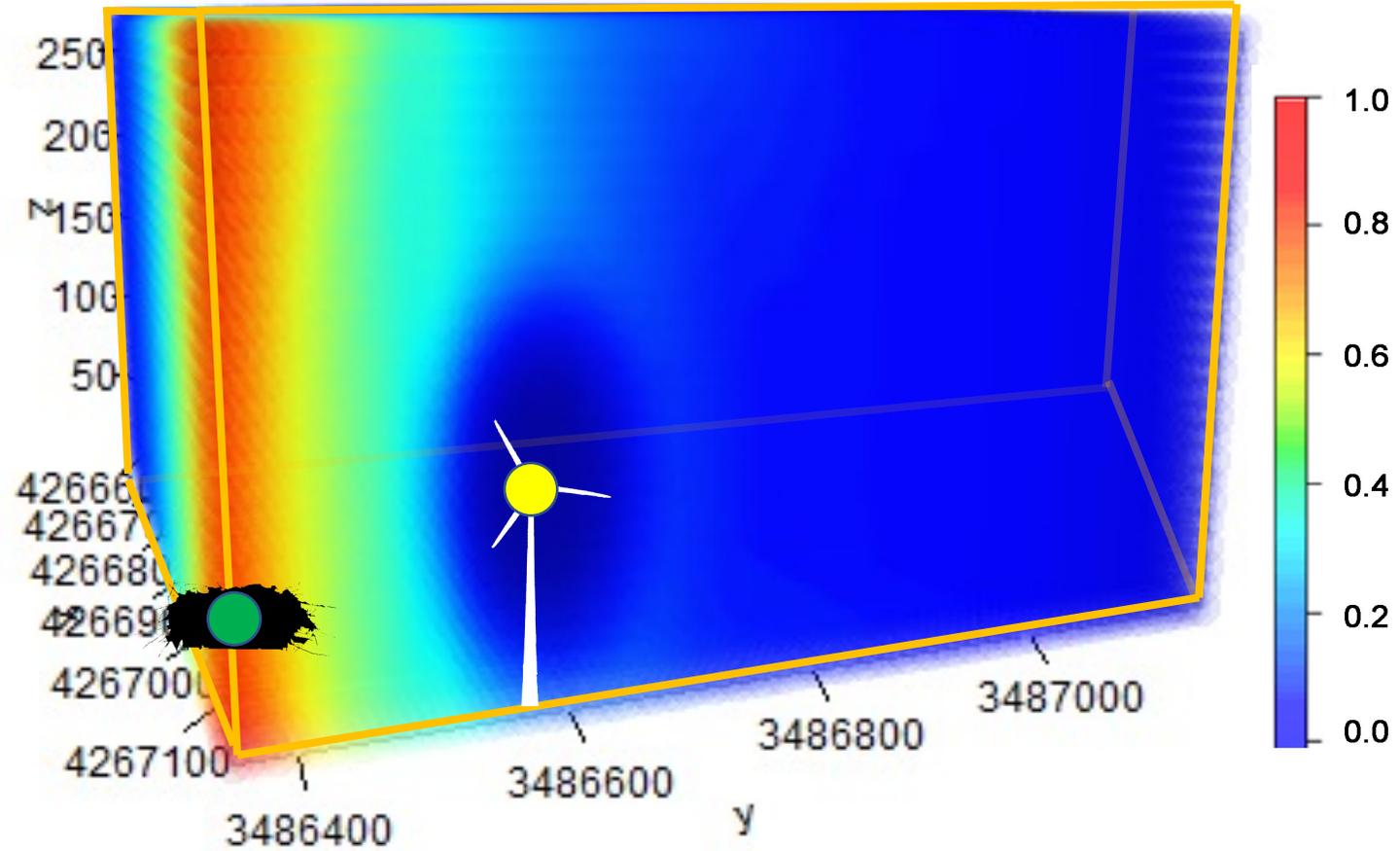
Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten





Habitatselektion

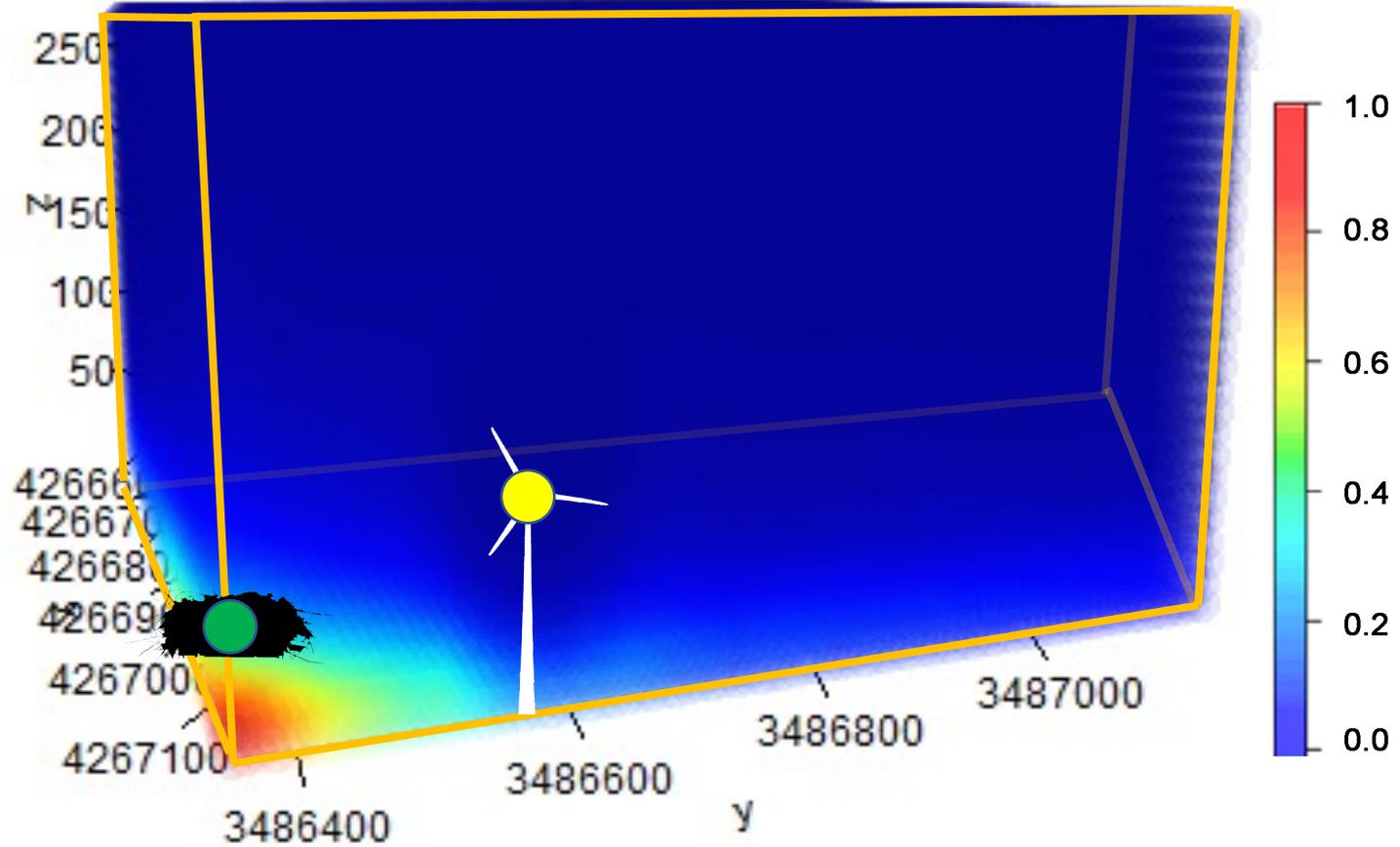
Ausweichverhalten  
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten  
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten



# Kollisionsrisiko pro Individuum und Saison + Konfidenzintervalle

Habitatselektion

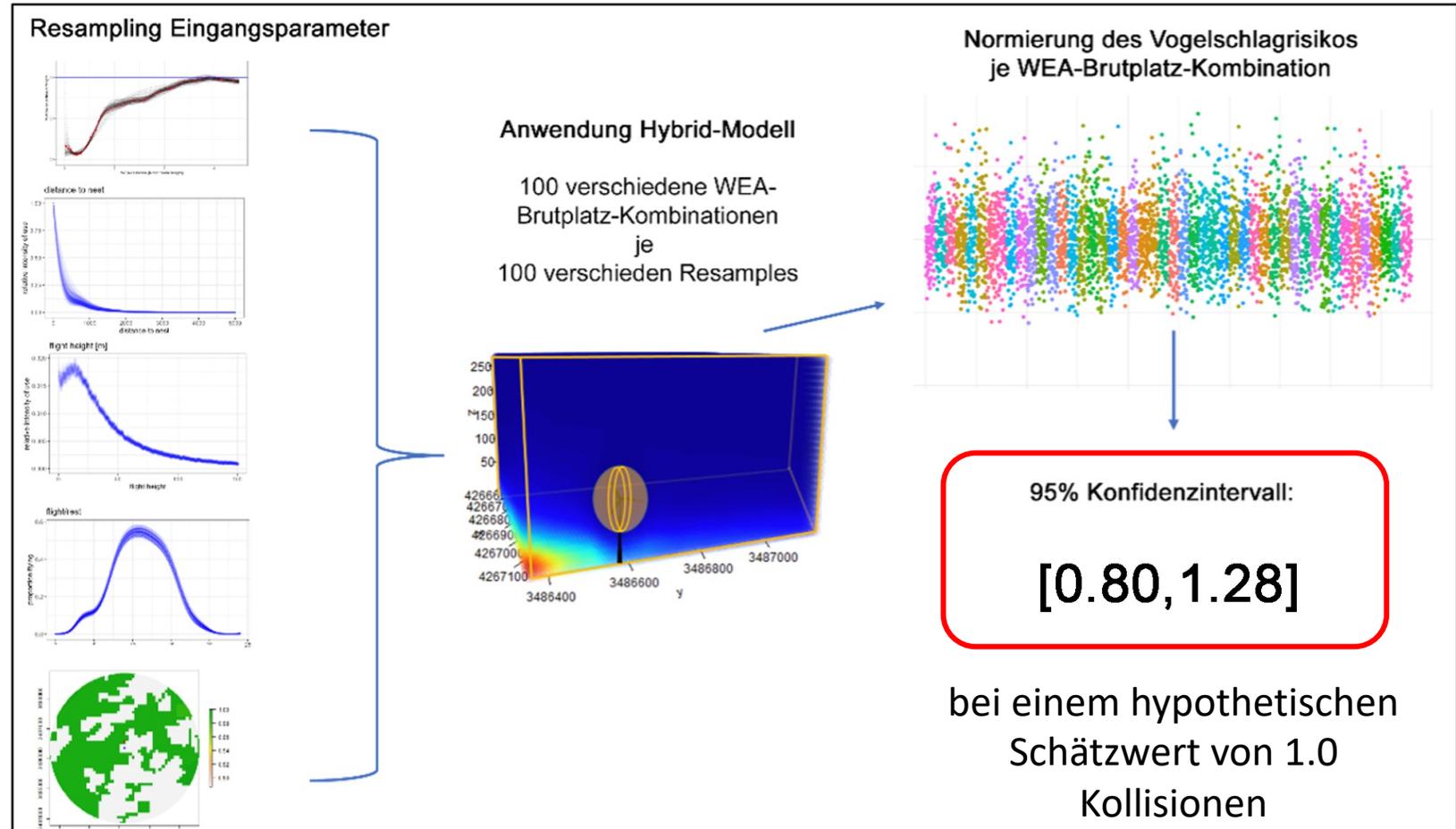
Ausweichverhalten ("Avoidance rate")

Abstad Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten Tagesphänologie

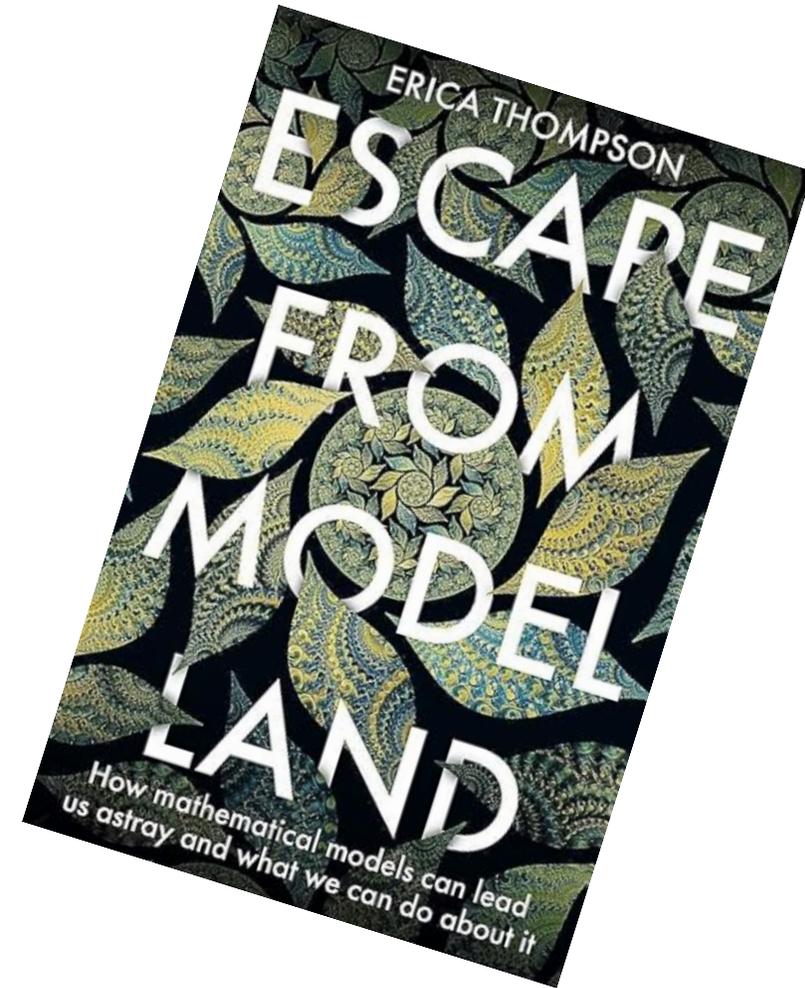
Fluggeschwindigkeiten



## Validierung der Prognosen mit externen Studien

Modellvalidierung über die folgenden empirischen Studien:

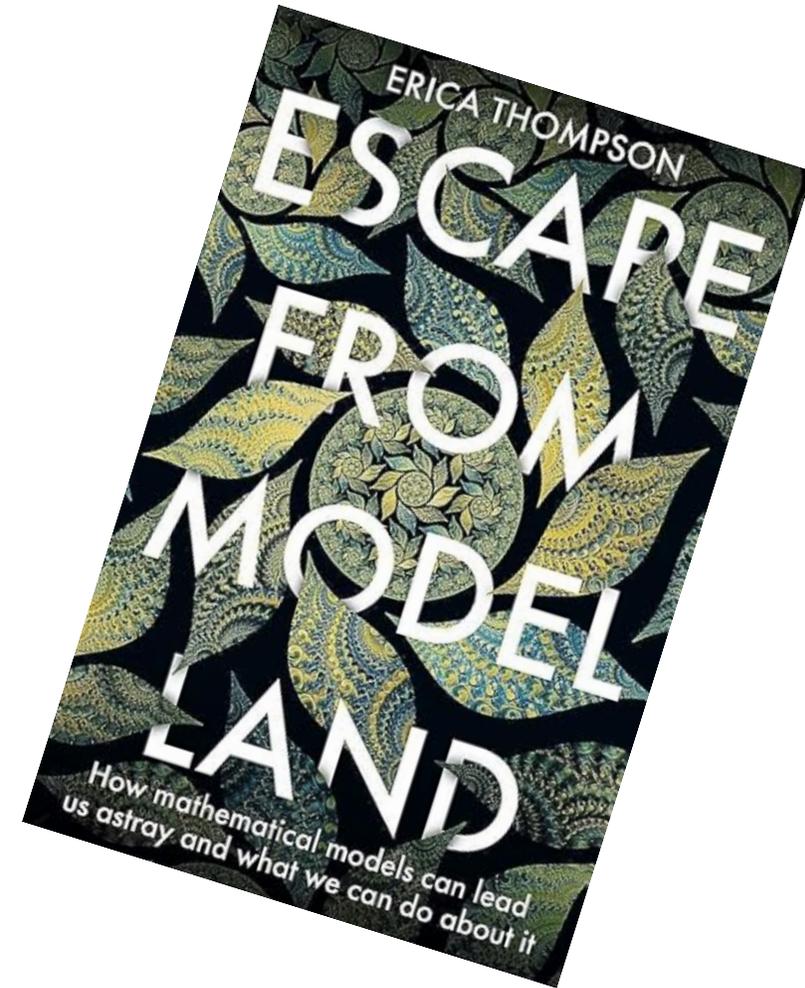
- PROGRESS-Studie
- Bellebaum (2013)
- Reichenbach et al (2023)
- LIFE EUROKITE Kollisionsopfer (in Arbeit)



## Validierung der Prognosen mit externen Studien

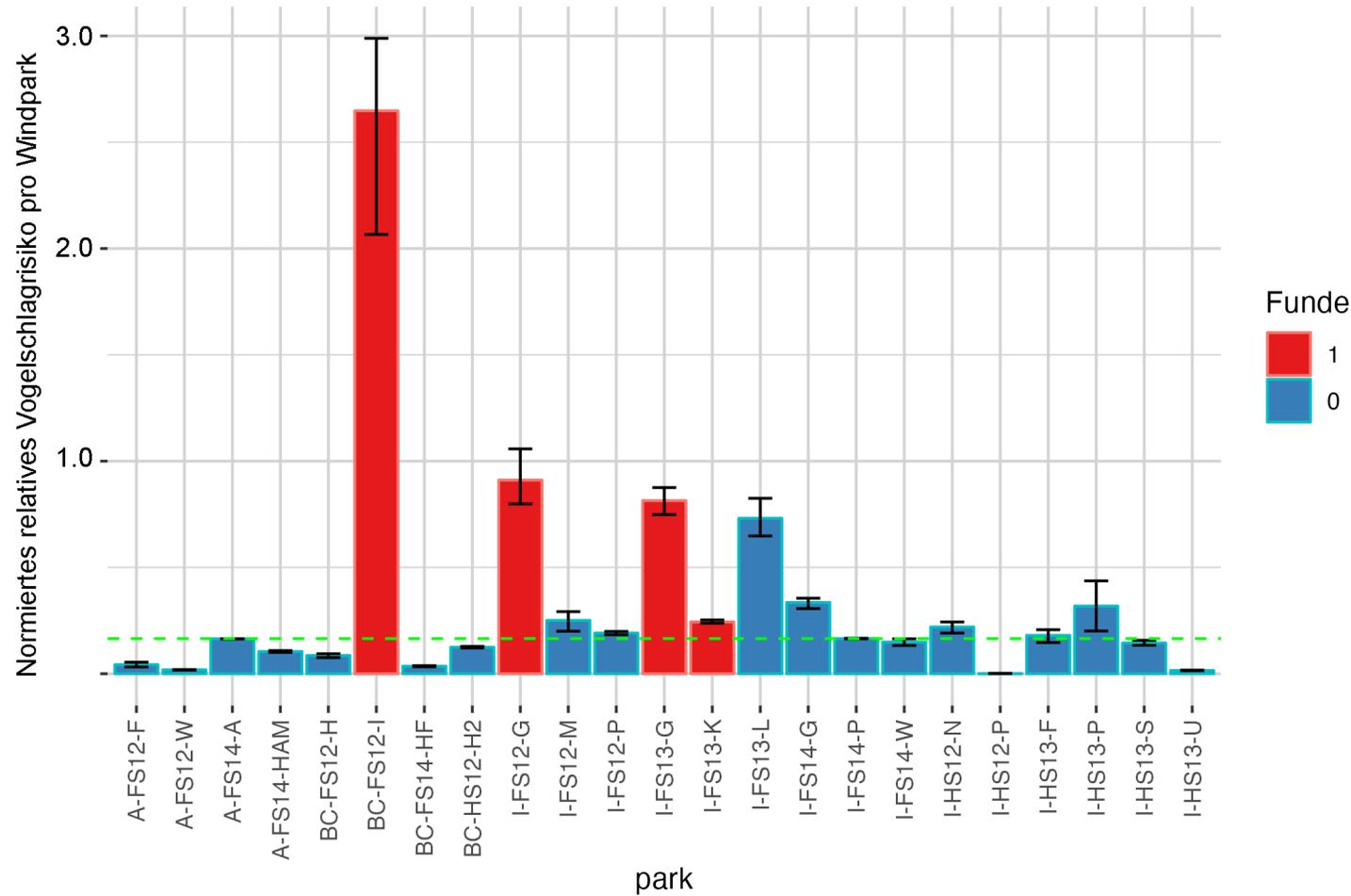
Modellvalidierung über die folgenden empirischen Studien:

- **PROGRESS-Studie**
- Bellebaum (2013)
- Reichenbach et al (2023)
- LIFE EUROKITE Kollisionsopfer (in Arbeit)





## Validierung der Prognosen mit externen Studien



Vergleich zu **PROGRESS**

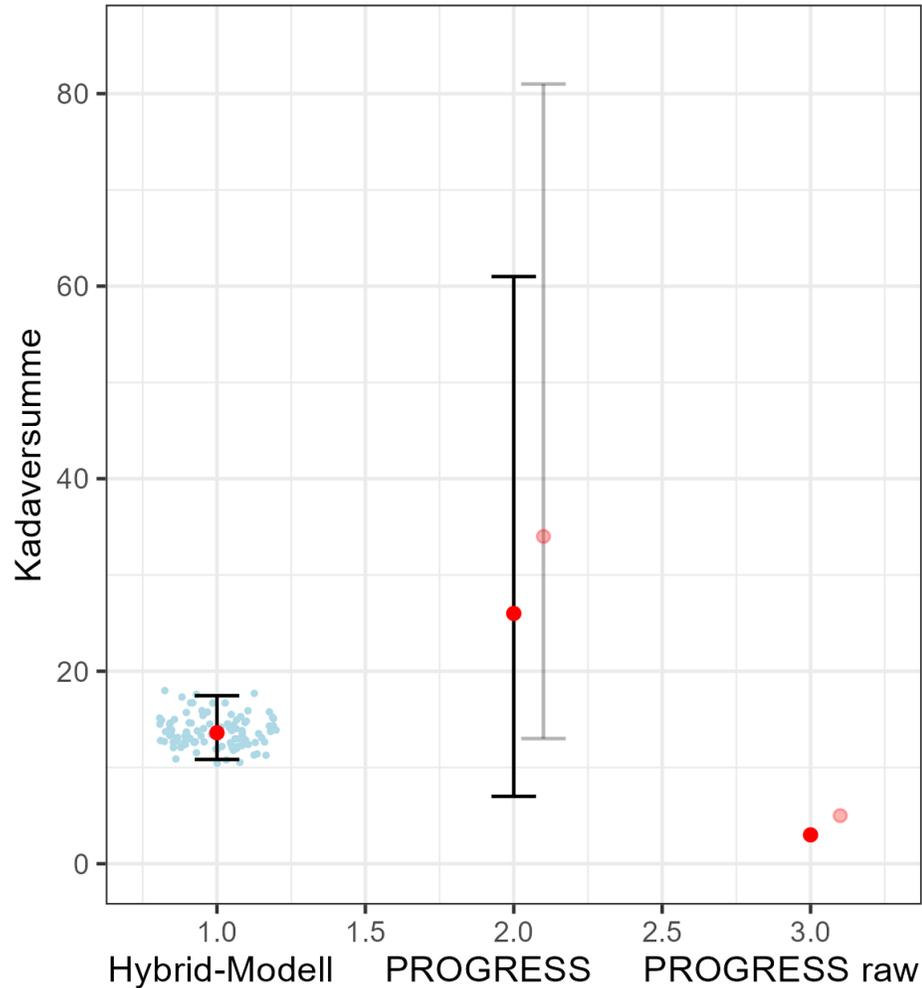
Qualitativer Vergleich:  
relative Kollisionsrisiken





### Validierung der Prognosen mit externen Studien

Hybrid-Modell: 13,4 [11,0- 16,8] Kadaver  
PROGRESS: 26 [7-61] Kadaver



Vergleich zu **PROGRESS**

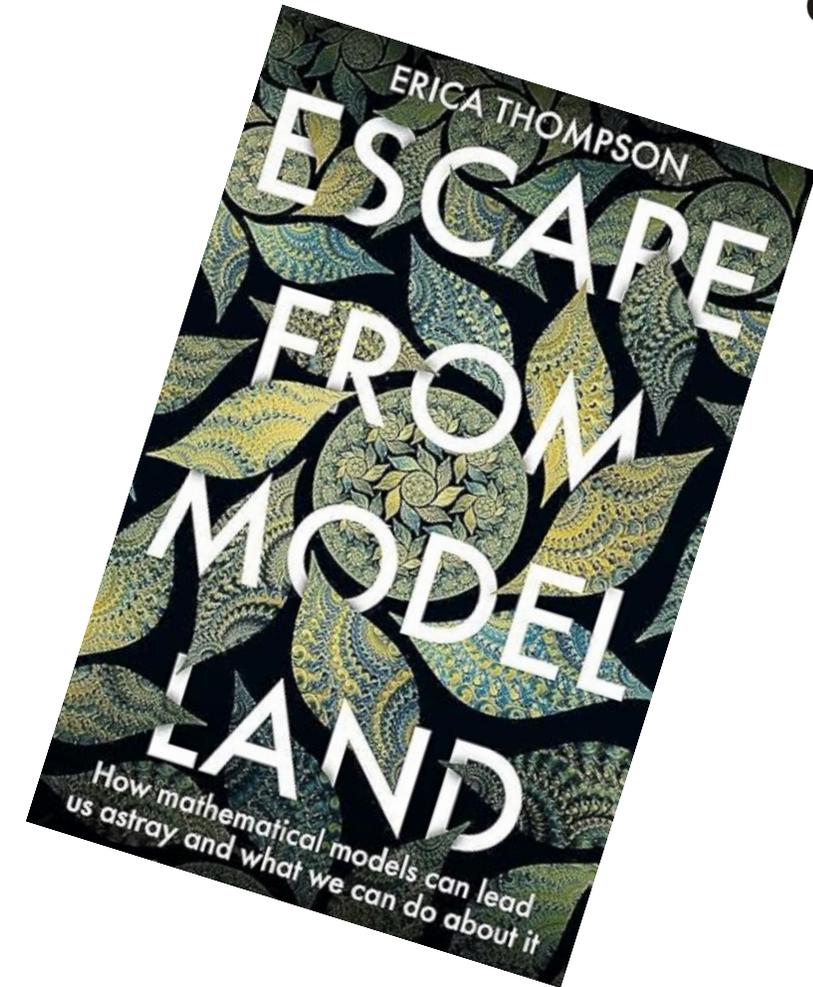
Quantitativer Vergleich:  
Gesamtzahl Kollisionsopfer



## Validierung der Prognosen mit externen Studien

Modellvalidierung über die folgenden empirischen Studien:

- PROGRESS-Studie
- Bellebaum (2013)
- Reichenbach et al (2023)
- **LIFE EUROKITE Kollisionsofper (in Arbeit)**





## Validierung der Prognosen mit externen Studien

### Vergleich zu WEA-Kollisionsopfern (LIFE EUROKITE)

- nur Vergleich zu im Homerange kollidierten Brutvögeln sinnvoll

#### Realität:

- **N = 2 Kollisionsopfer** (N= 308 Vogelsaisons)

#### Hybrid-Modell Prognosen:

- **N = 3,21 Kollisionsopfer**

*(vorläufiges Ergebnis, Modell noch nicht final)*

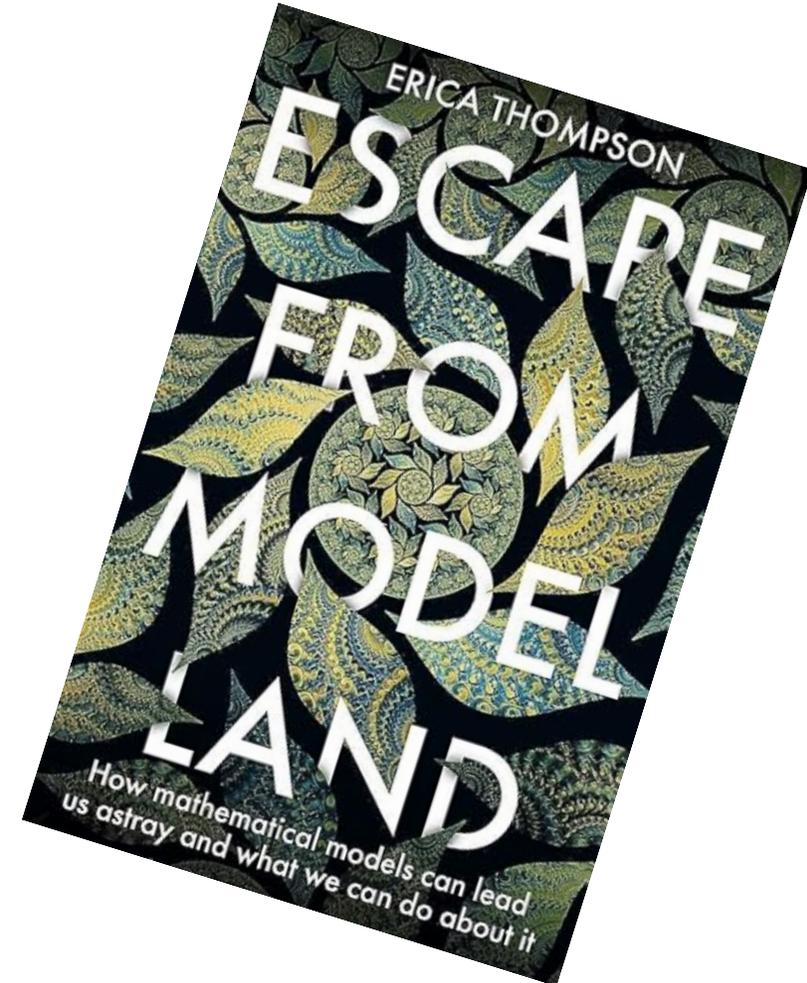
## Validierung der Prognosen mit externen Studien

Modellvalidierung über die folgenden empirischen Studien:

- PROGRESS-Studie ✓
- Bellebaum (2013) ✓
- Reichenbach et al (2023) ✓
- LIFE EUROKITE Kollisionsofper (in Arbeit) ✓

→ das Hybrid-Modell erfüllt die Voraussetzungen für belastbare Prognosen

ABER: immer wachsam gegenüber neuen Erkenntnissen



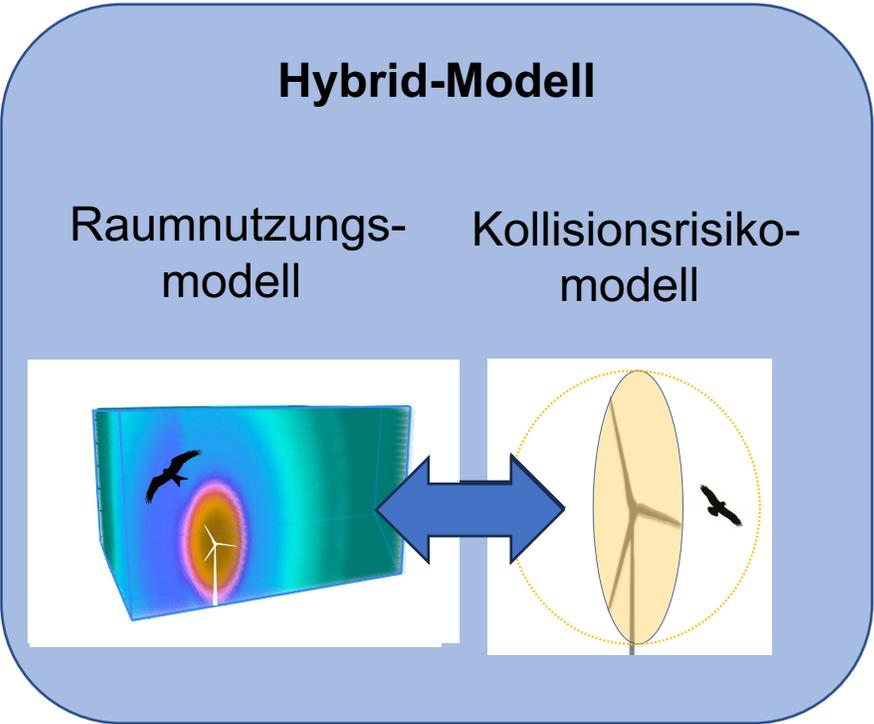
### Praktische Anwendung des Hybrid-Modells → sehr einfach

*Eingangsdaten* → *Berechnungsvorschrift* → *Ergebnis und Bewertung*

Koordinaten Brutplatz

Habitat-Informationen

Daten  
Windenergieanlage

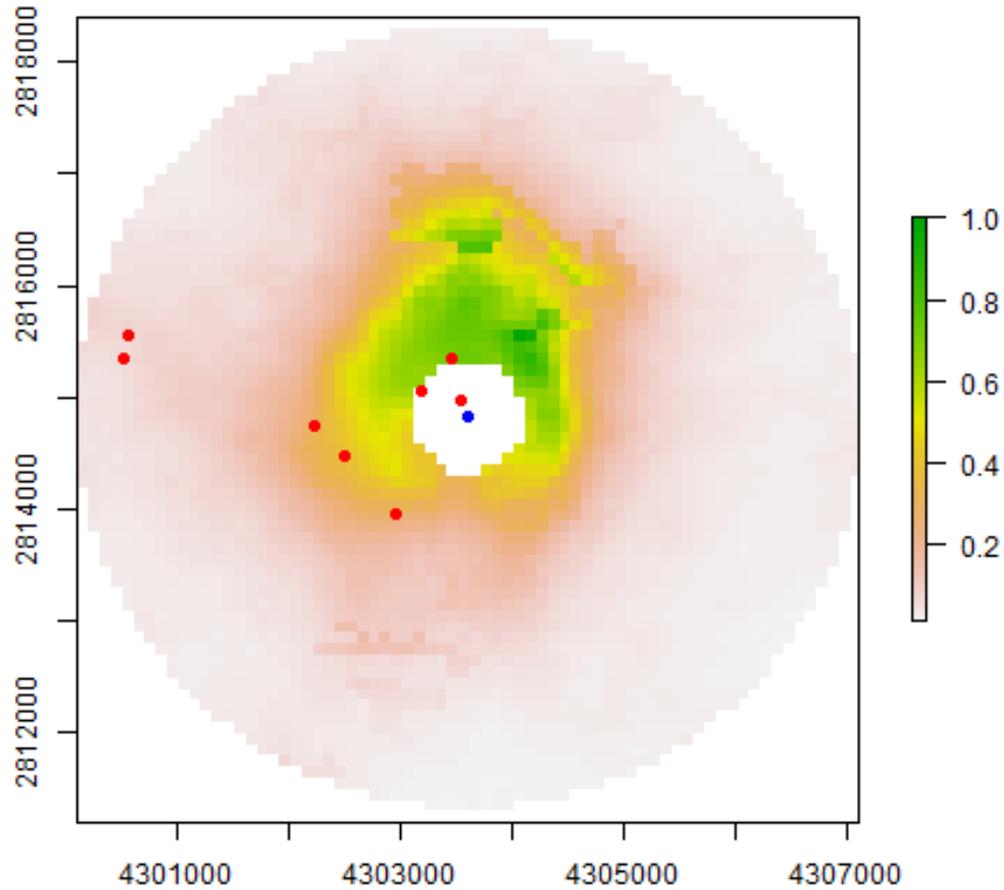


**Ergebnis z.B. = 0,015  
(= 1,5 % Kollisionsrisiko pro Individuum und Saison)**

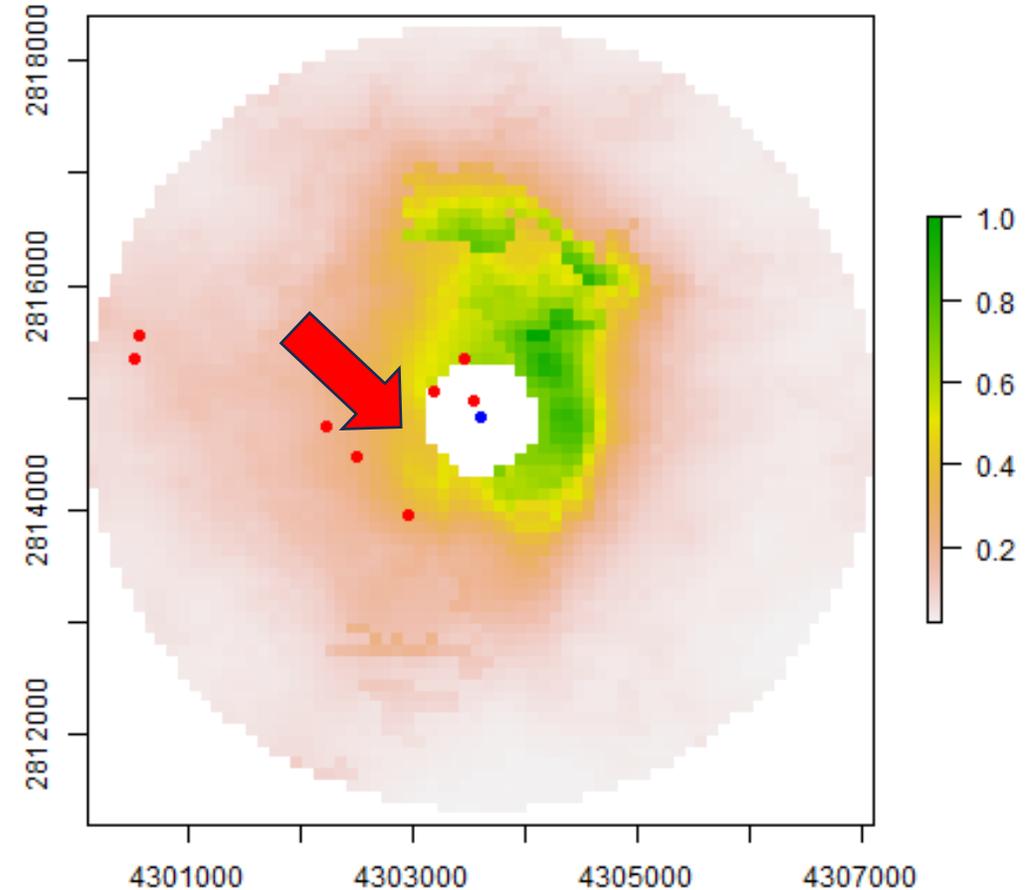
**Bewertung anhand vereinbarter Schwellenwerte**

# Weitere Anwendungsgebiete Hybrid-Modell

reales Habitat

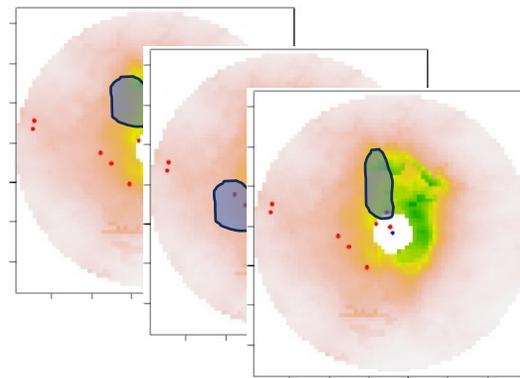
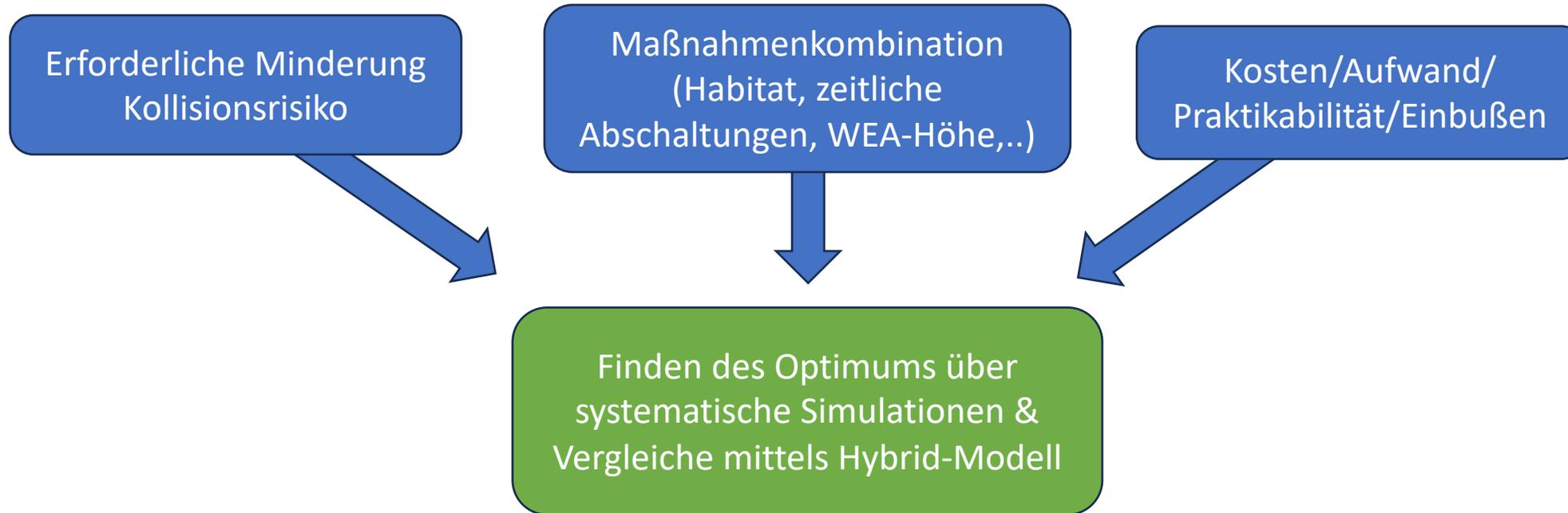


virtuell verändertes Habitat



## Weitere Anwendungsgebiete Hybrid-Modell

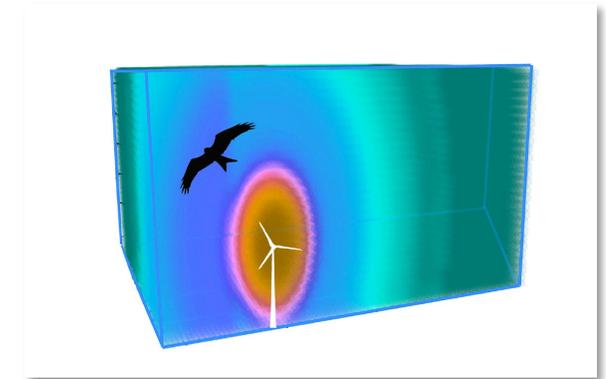
Systematisches optimieren von Maßnahmenkombinationen über simulierte Vergleiche möglich



## Weitere Anwendungsgebiete Hybrid-Modell

Variationen des Hybrid-Modells:

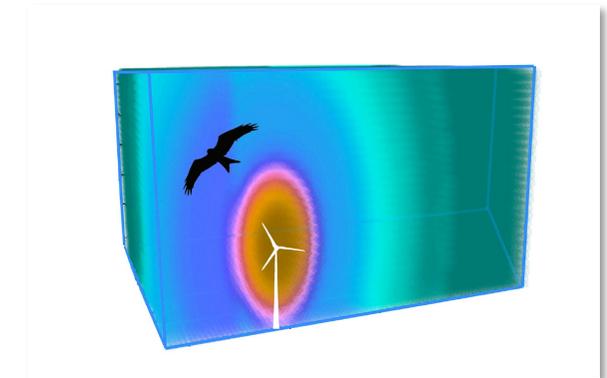
- **Modellprognose** → empirisch gut fundierte HPA



## Weitere Anwendungsgebiete Hybrid-Modell

Variationen des Hybrid-Modells:

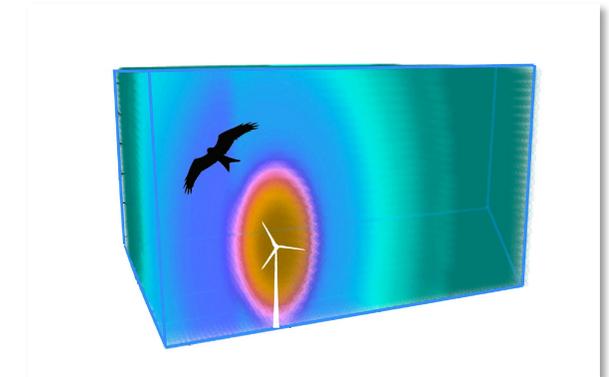
- Modellprognose → empirisch gut fundierte HPA
- **Flächige Darstellung des Kollisionsrisikos – zur optimalen Platzierung der WEA**



## Weitere Anwendungsgebiete Hybrid-Modell

Variationen des Hybrid-Modells:

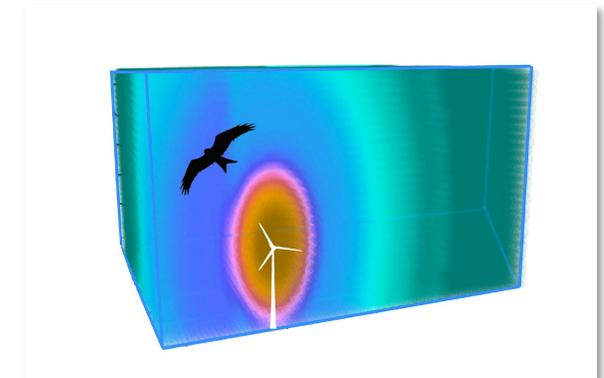
- Modellprognose → empirisch gut fundierte HPA
- Flächige Darstellung des Kollisionsrisikos – zur optimalen Platzierung der WEA
- **Großräumige Charakterisierung von Gebieten mit geringem Vogelschlagrisiko (muss mit Brutwahrscheinlichkeit kombiniert werden)**



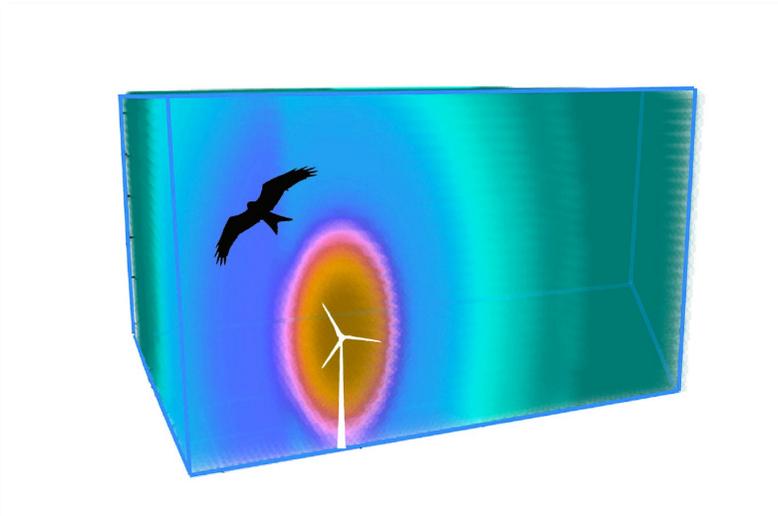
## Weitere Anwendungsgebiete Hybrid-Modell

Variationen des Hybrid-Modells:

- Modellprognose → empirisch gut fundierte HPA
- Flächige Darstellung des Kollisionsrisikos – zur optimalen Platzierung der WEA
- Großräumige Charakterisierung von Gebieten mit geringem Vogelschlagrisiko (muss mit Brutwahrscheinlichkeit kombiniert werden)
- **Genereller Modellierungsansatz nicht auf Kollision an WEA beschränkt, möglich und/oder derzeit in Arbeit:**
  - **Kollisionen an Freileitungen**
  - **Kollisionen mit Autos oder Zügen**
  - **Meidung/Attraktion von PV**



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit und an:**



Jan Blew, Thilo Liesenjohann,  
Jannis Liedtke



sowie dem

TB Raab



Kontakt: **Moritz Mercker** [www.bionum.de](http://www.bionum.de) / [mmercker@bionum.de](mailto:mmercker@bionum.de)

„Pilotstudie-Probabilistik“: [https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/Pilotstudie Erprobung Probabilistik Mercker et al 2023.pdf](https://www.naturschutz-energiewende.de/wp-content/uploads/Pilotstudie_Erprobung_Probabilistik_Mercker_et_al_2023.pdf)