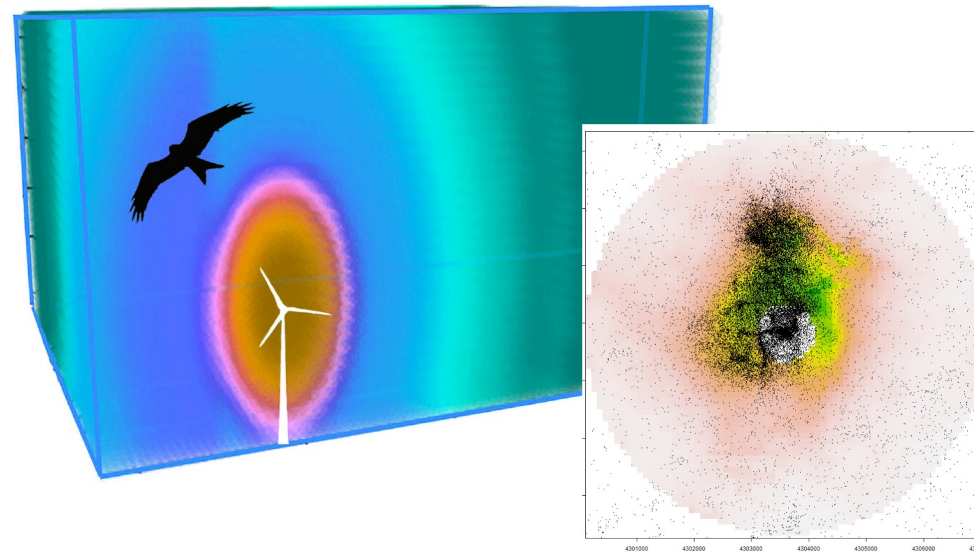


Das Hybrid-Modell

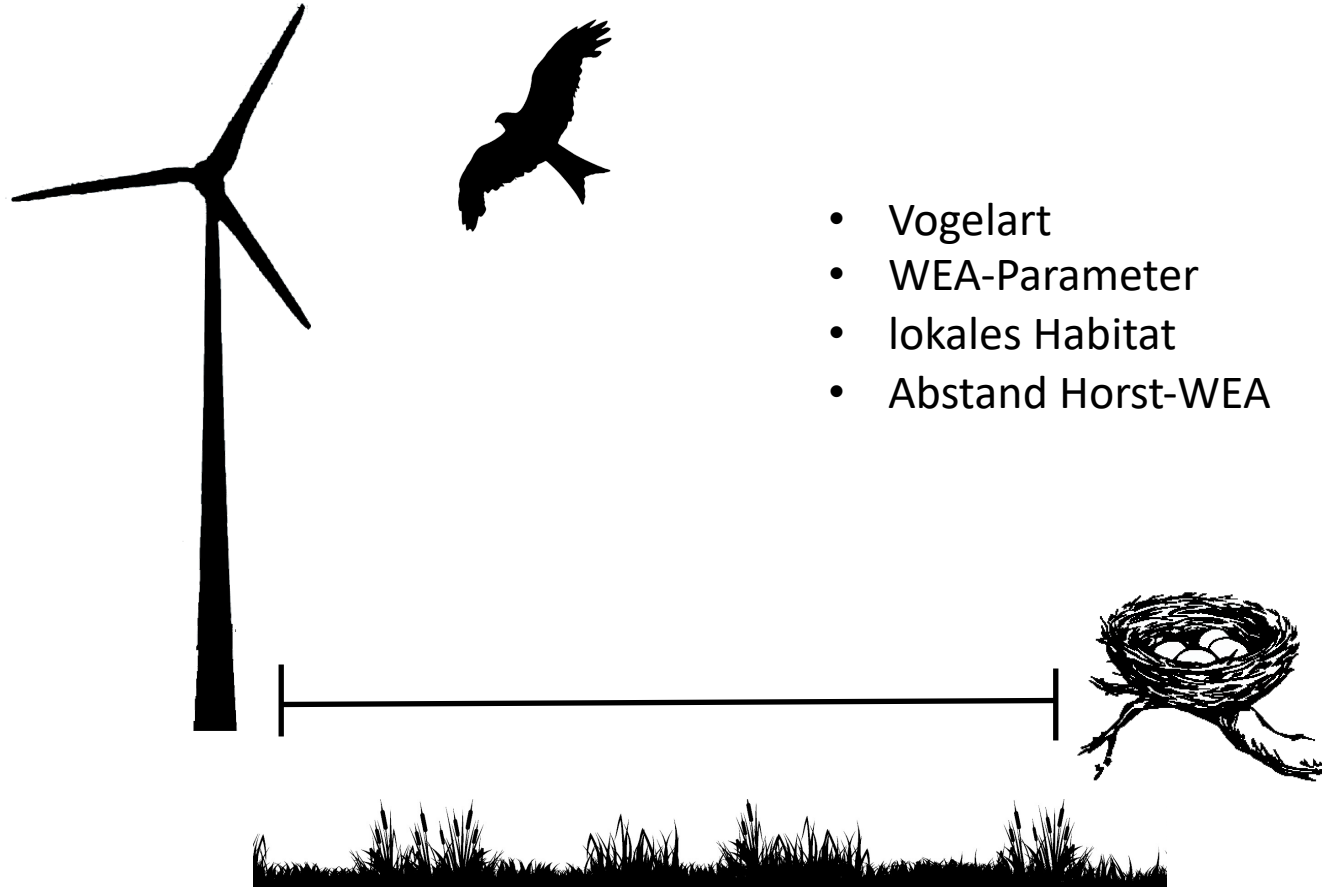
Eine probabilistische Methode zur Abschätzung der Kollisionswahrscheinlichkeit von Brutvögeln an Windenergieanlagen

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?

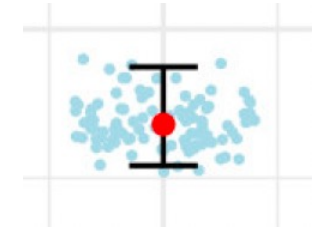
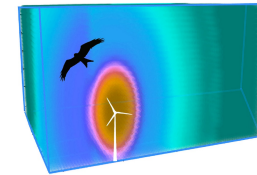
Wenn ja, mit welcher Sicherheit?

Welche Chancen bietet die Berechnung?

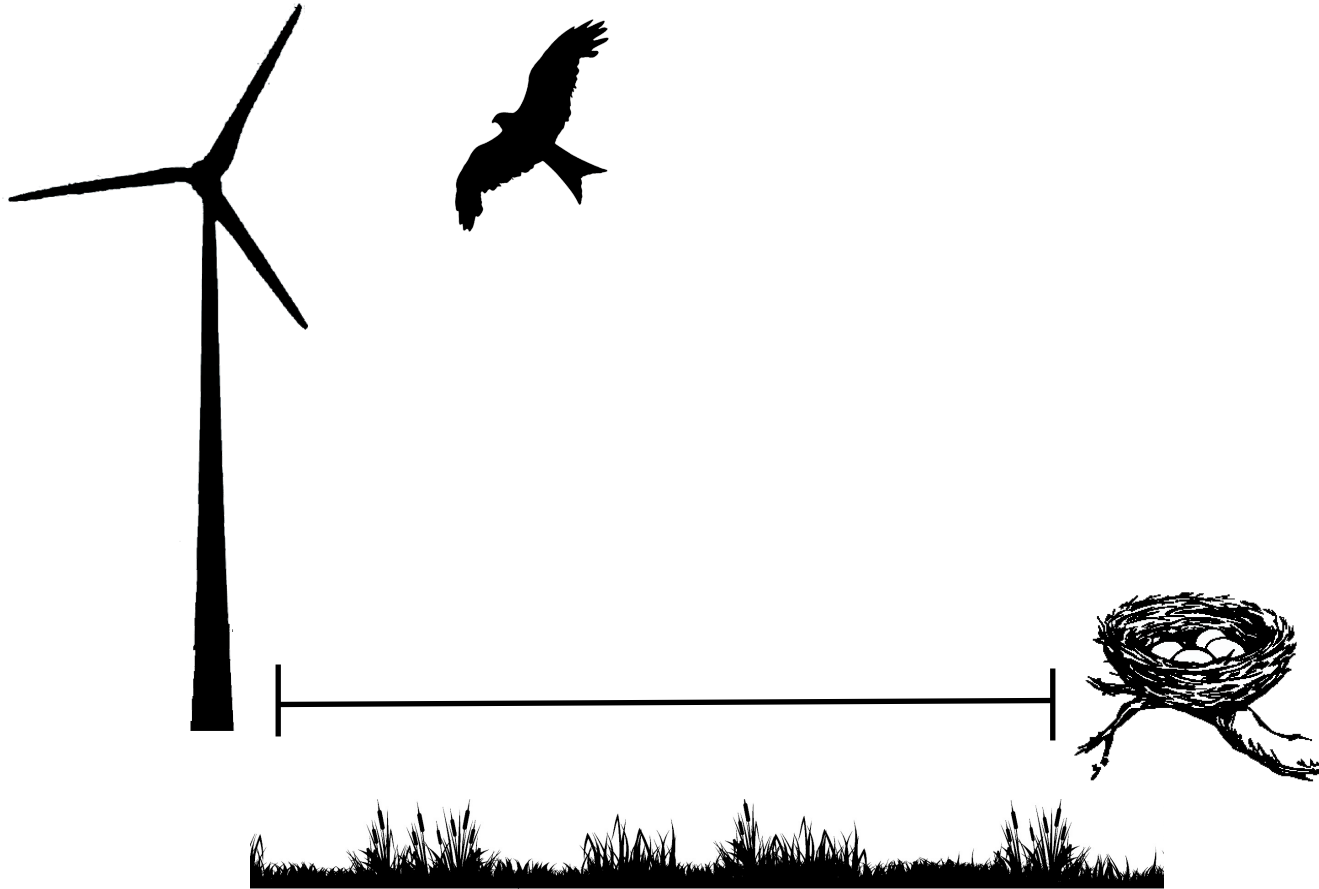
Raumnutzungsanalyse (RNA)



Berechnung



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

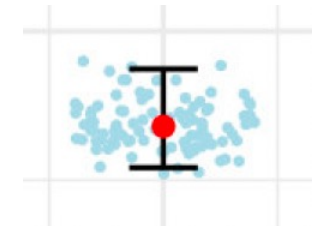
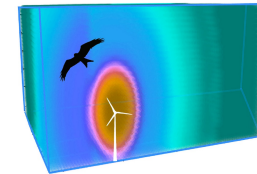


Welche Chancen bietet die Berechnung?

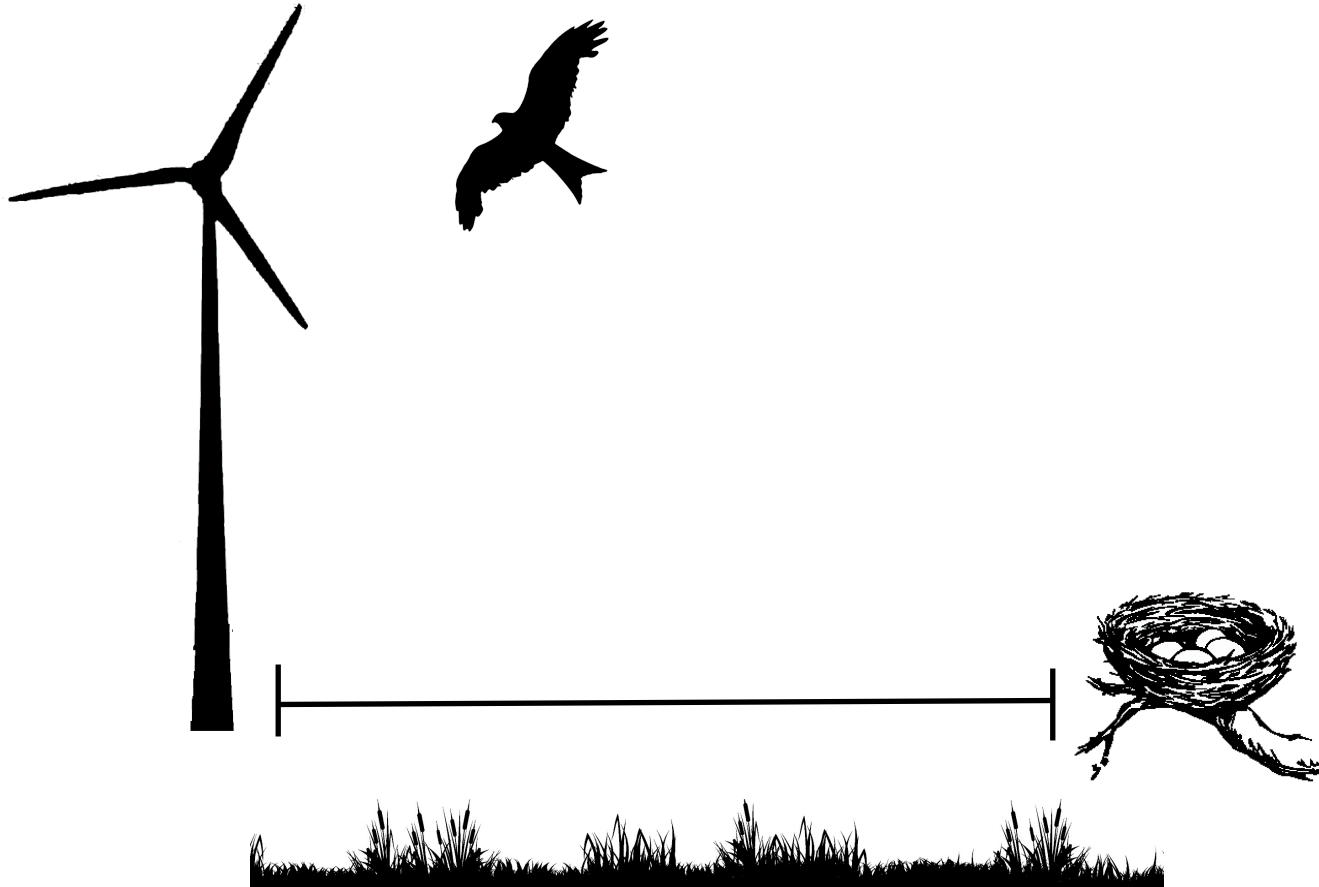
Raumnutzungsanalyse (RNA)



Berechnung

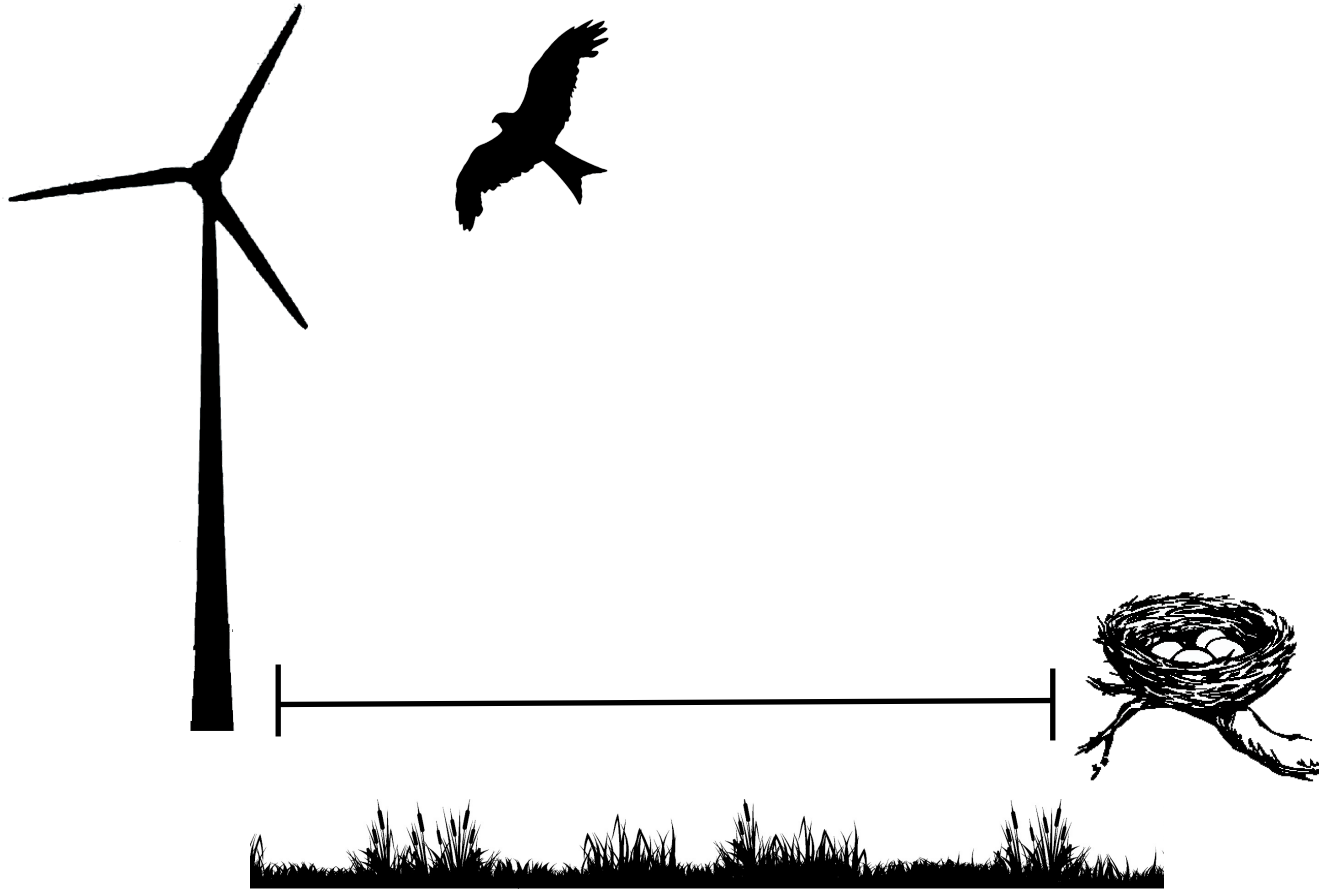


- schnell
- empirisch fundiert & standardisiert
- Einfaches (quantitatives) Ergebnis

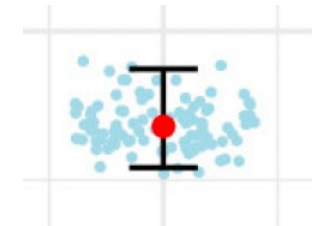
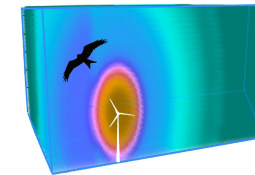


Welche Chancen bietet die Berechnung?

Raumnutzungsanalyse (RNA)

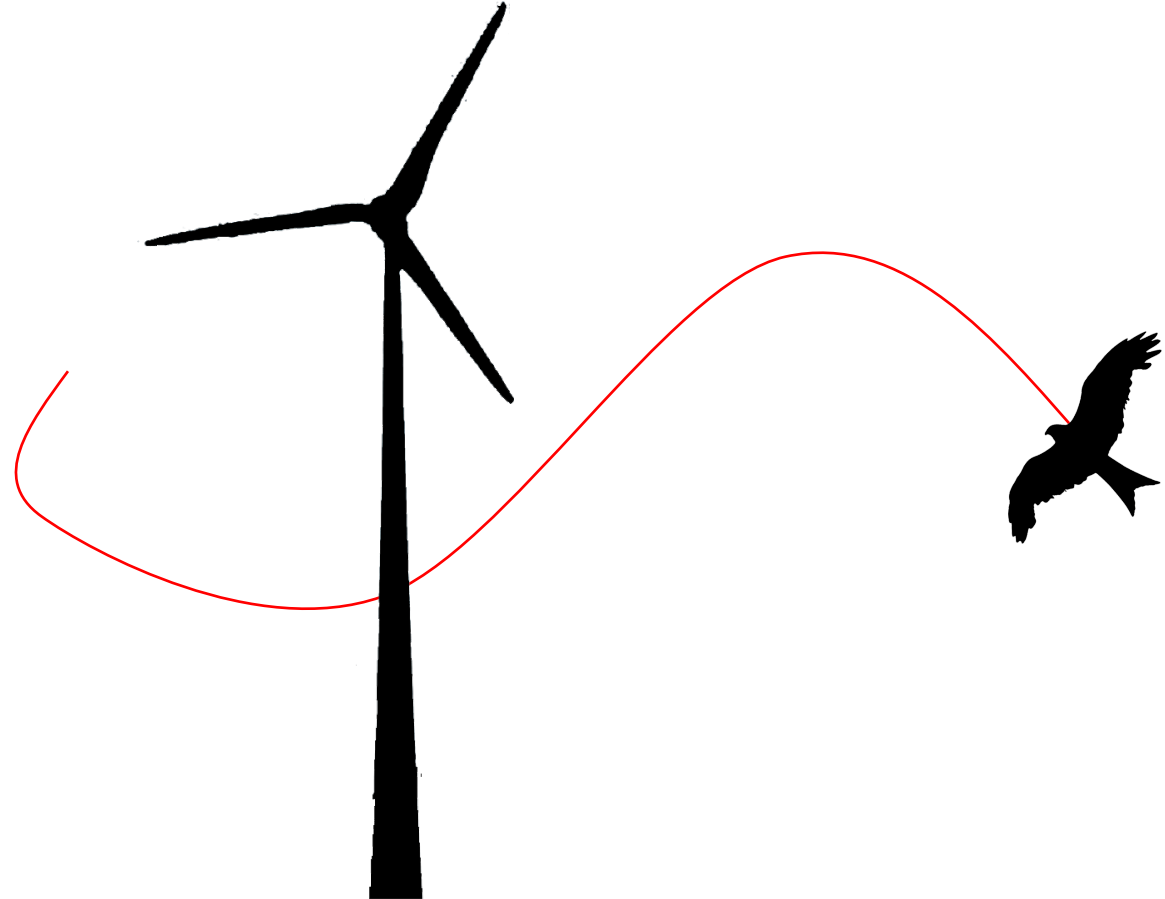
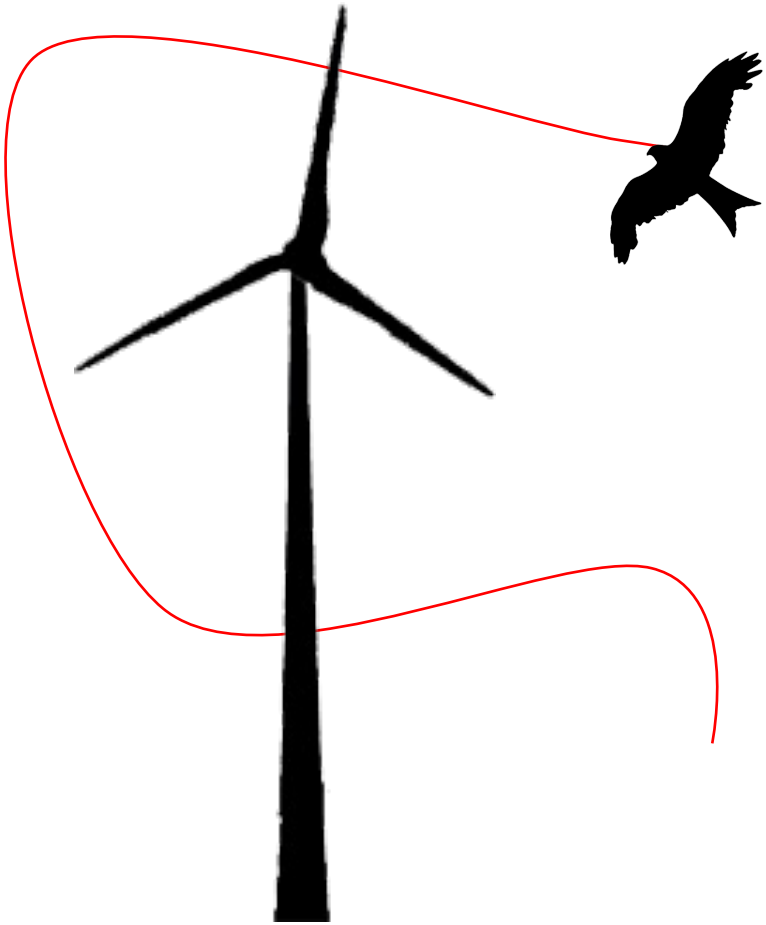


Berechnung



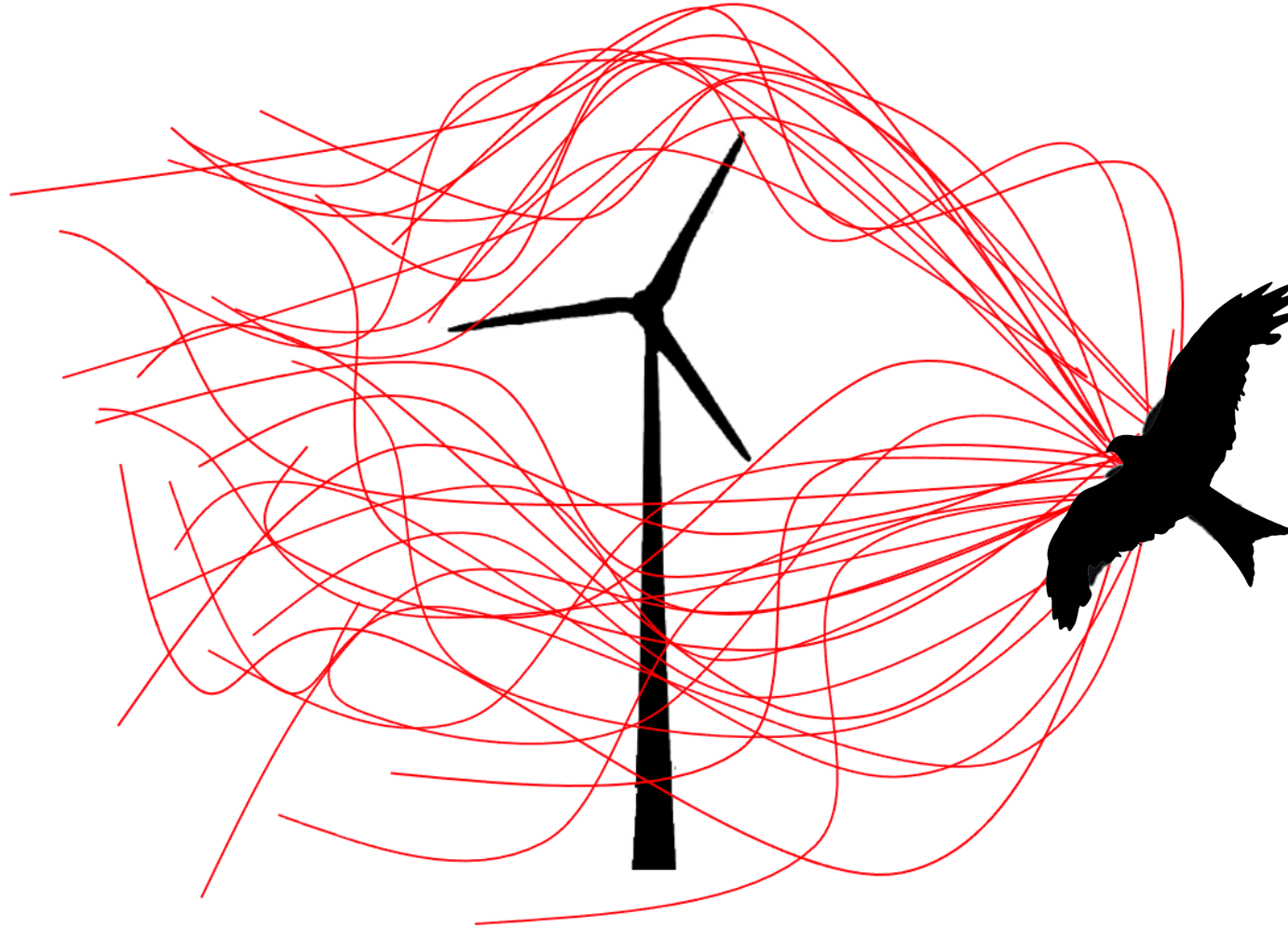
- schnell
- empirisch fundiert & standardisiert
- Einfaches (quantitatives) Ergebnis

Probabilistik



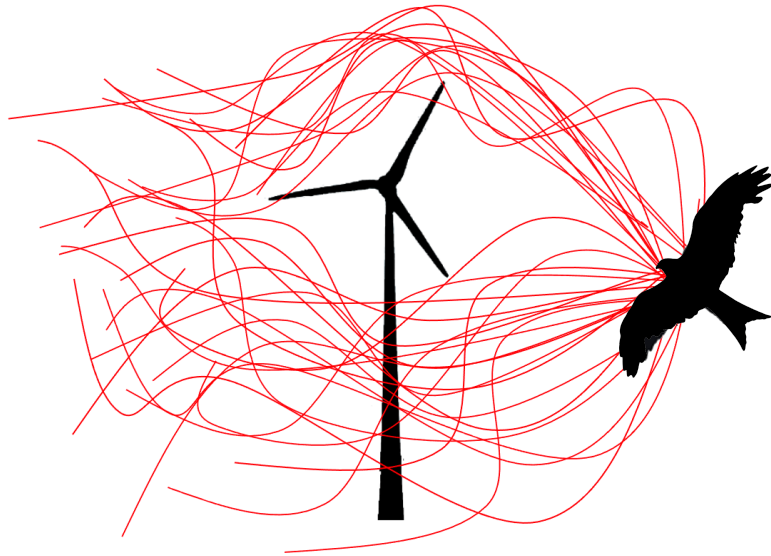
Probabilistik = Wahrscheinlichkeitsrechnung

Probabilistik

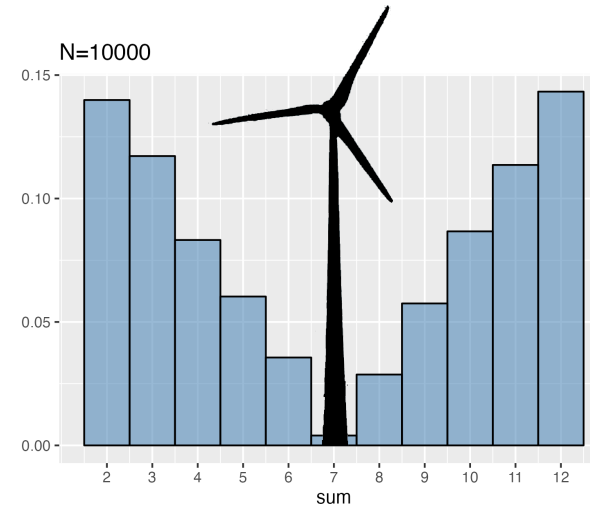


Probabilistik = Wahrscheinlichkeitsrechnung

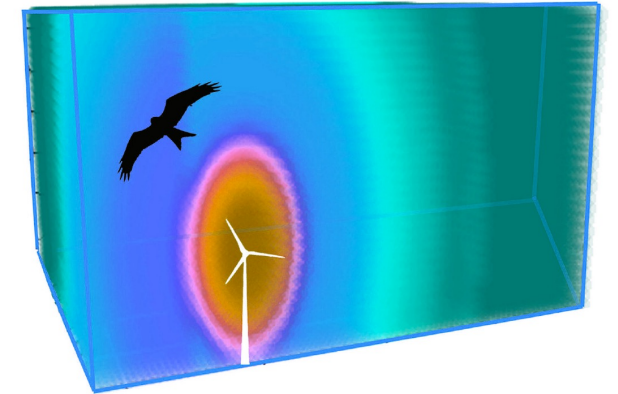
Generelles Konzept



Empirische Daten

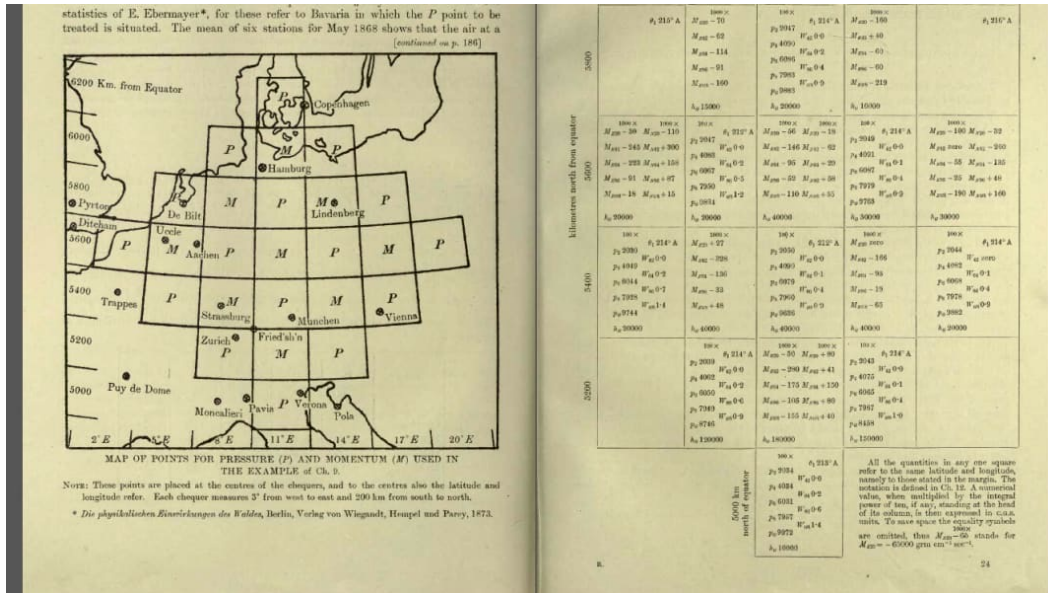


Auswertungen (Wahrscheinlichkeiten)



Modell/Prognosen

Beispiel Probabilistik: Wettervorhersage



Lewis F Richardson

Vor 100 Jahren...

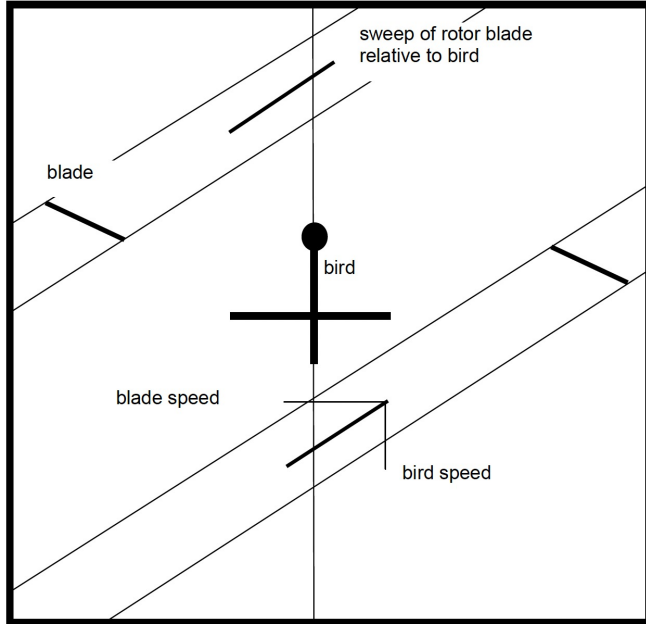


...und heute

Quelle: Deutscher Wetterdienst



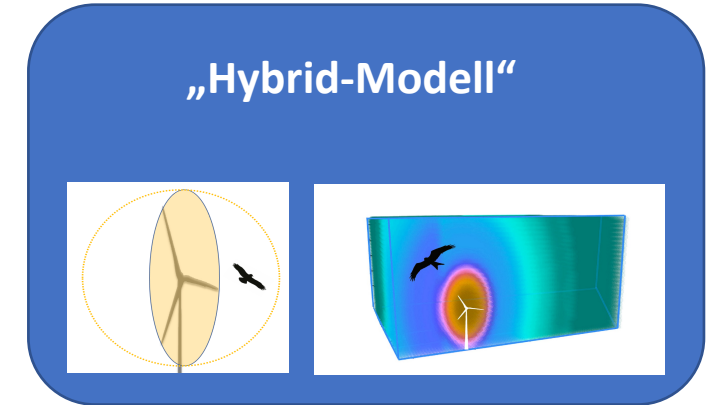
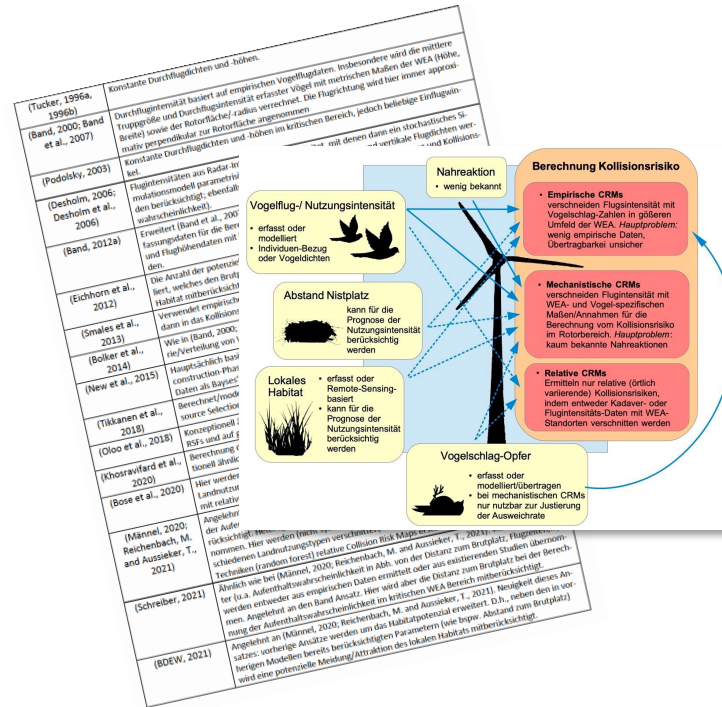
Kollisionsrisikomodelle



GUIDANCE NOTE SERIES © SCOTTISH NATURAL HERITAGE 2000

5

Band (2000)



Vor 23 Jahren...

2000-2023
(Review in Probabilistik-Studie)

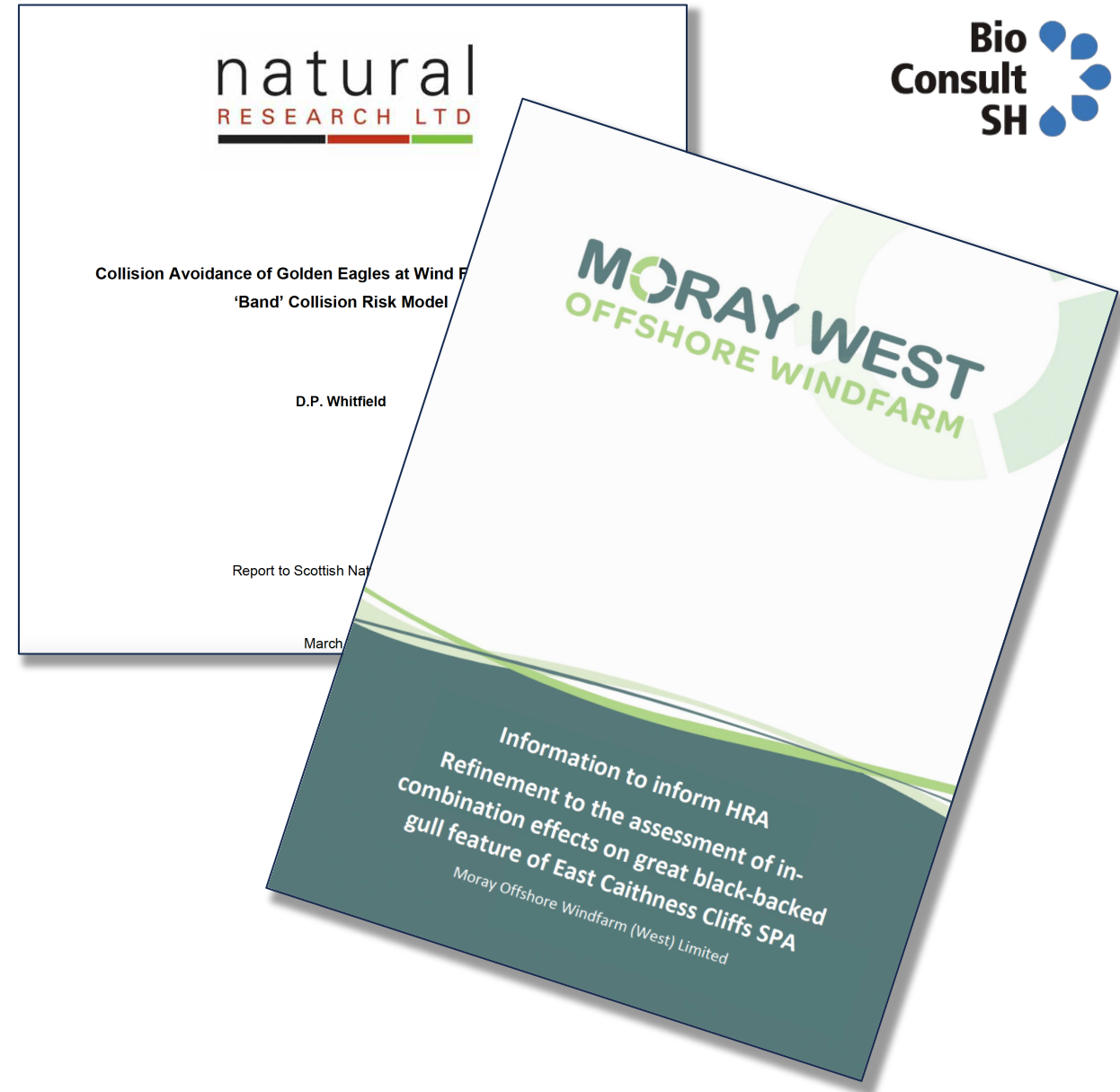
Heute



Wo werden/wurden Modelle zur Risikoabschätzung bereits eingesetzt?

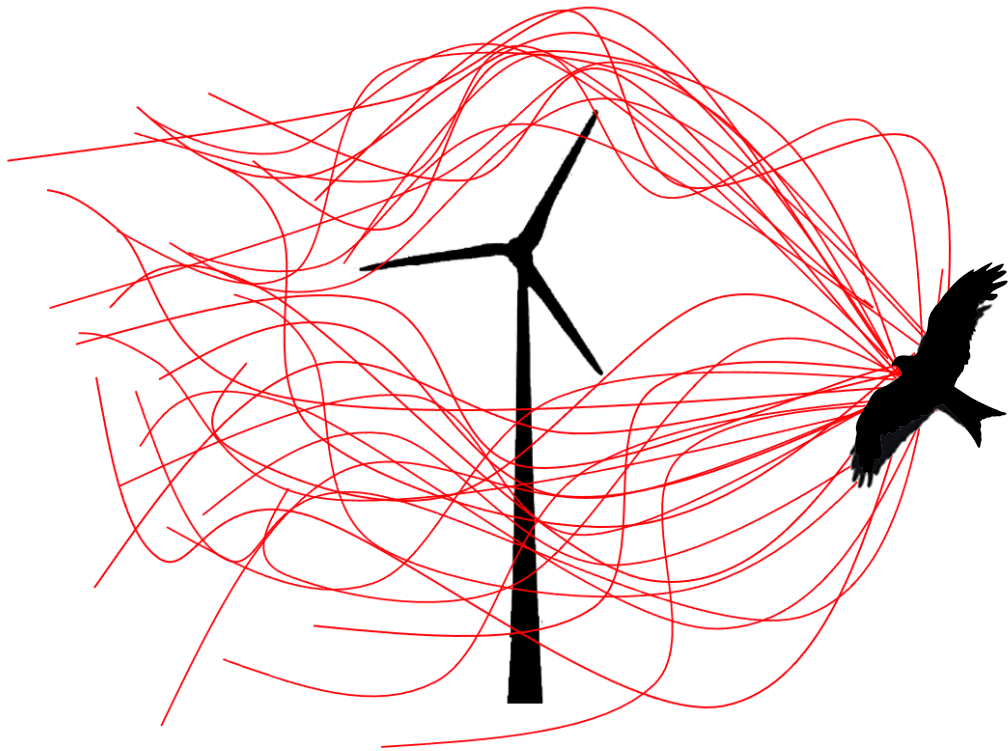
In verschiedenen Ländern, z.B.

- **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

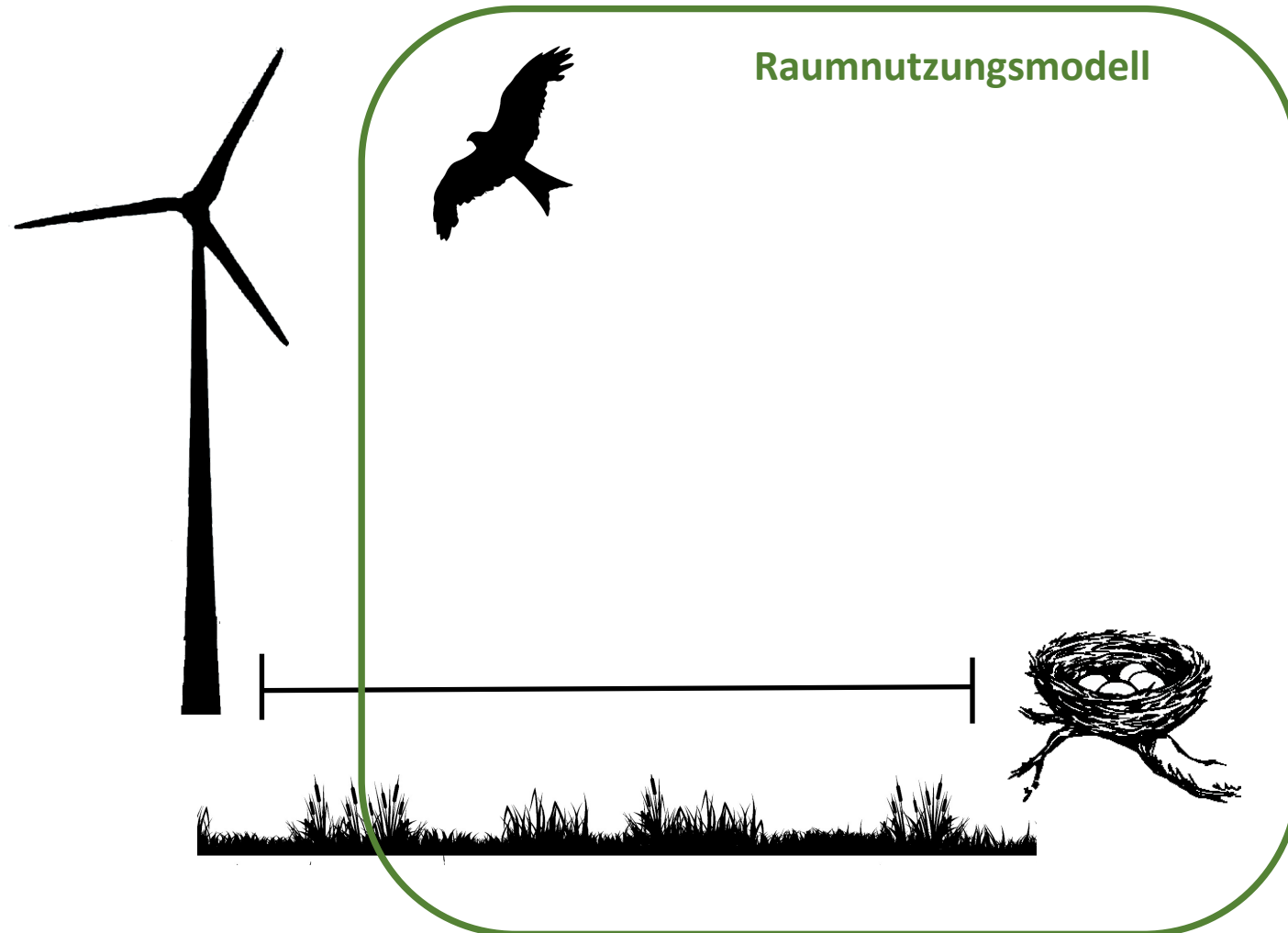


Modellierungskonzept



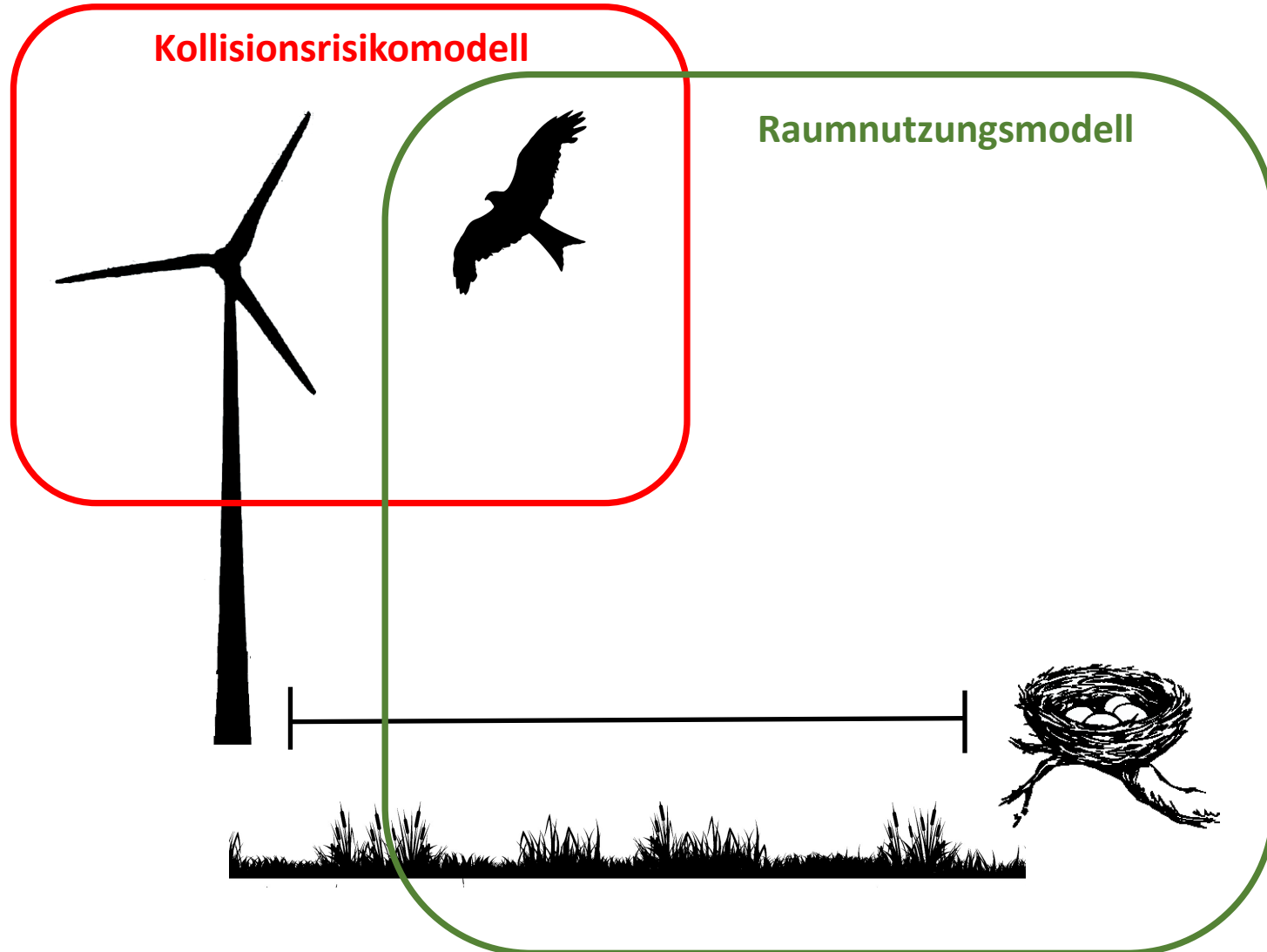


Modellierungskonzept

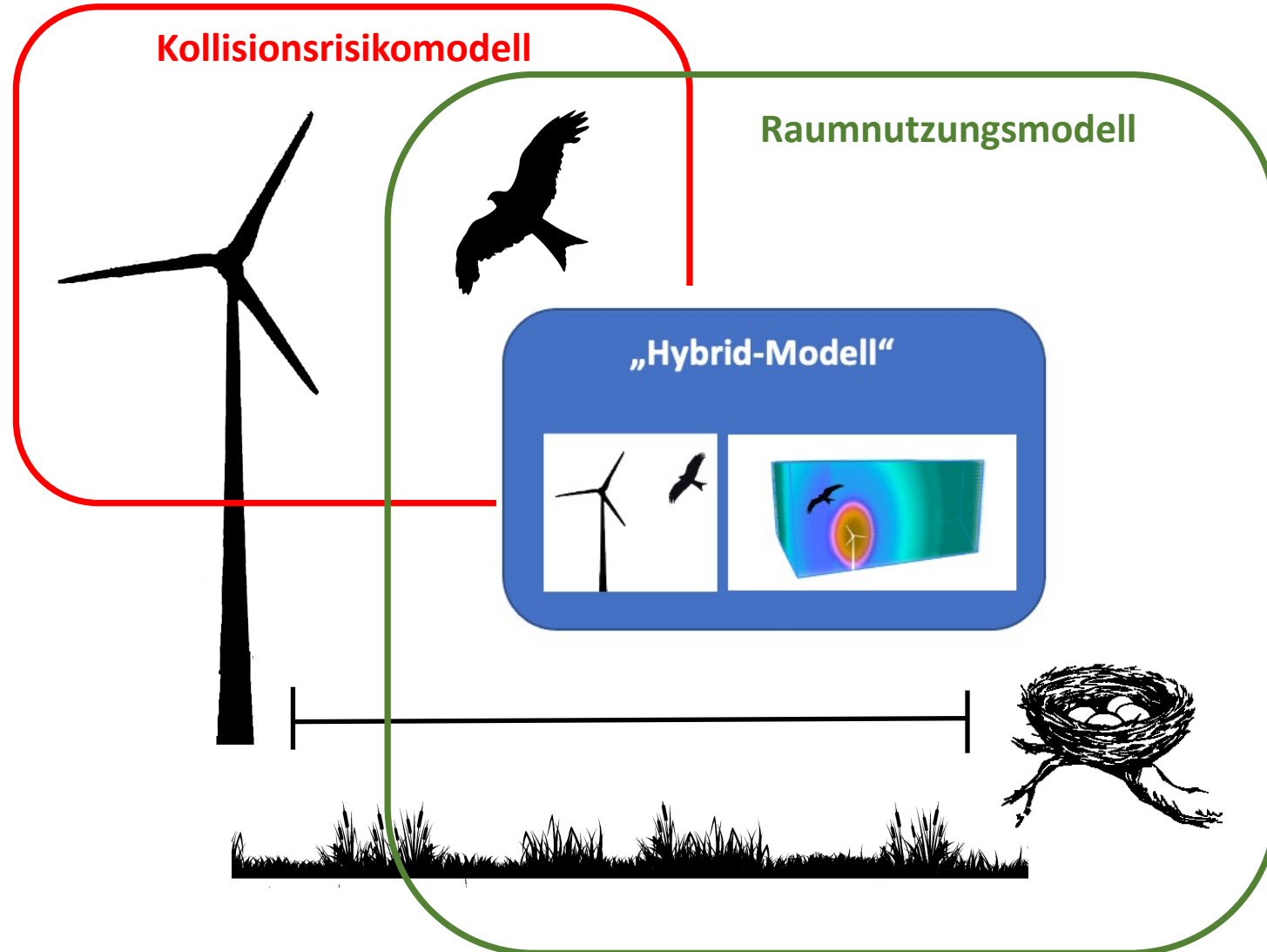




Modellierungskonzept



Modellierungskonzept



Raumnutzungsmodell

3D örtliche Aspekte

zeitliche Aspekte

Habitatselektion

Ausweichverhalten
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

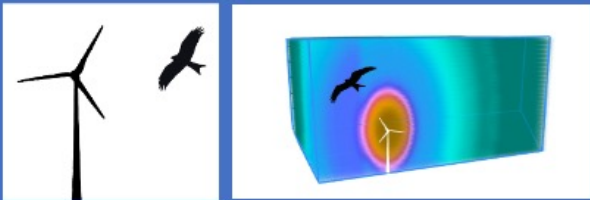
Flughöhe

Fluggeschwindigkeiten

Fliegen/Rasten
Tagesphänologie

Kollisionsrisikomodell

„Hybrid-Modell“

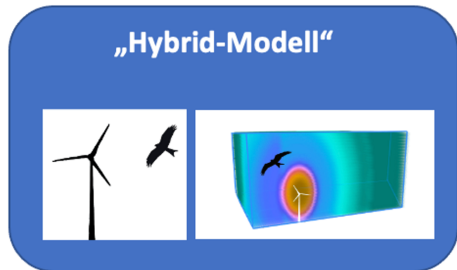


Ziel: ALLE BENÖTIGTEN
PARAMETER EMPIRISCH VALIDE
BESTIMMEN



- 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)

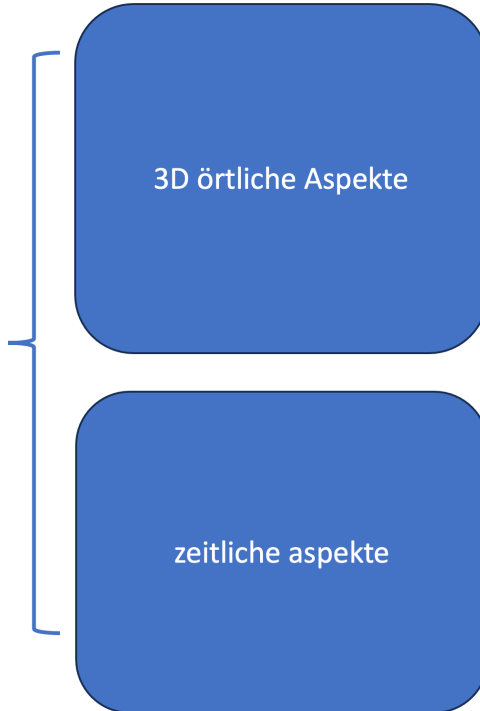
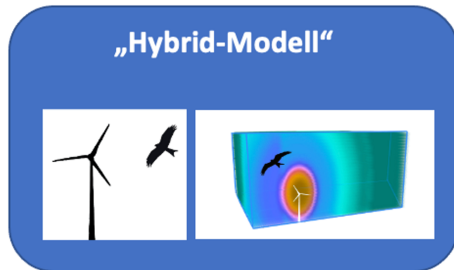
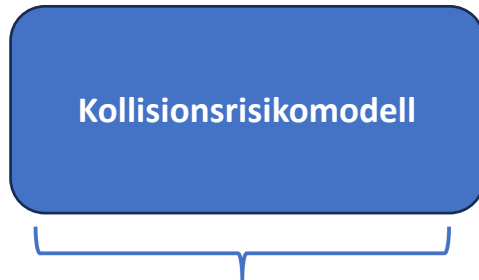
- Pfeiffer & Meyburg (2022)





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

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



- 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

Kollisionsrisikomodell



„Hybrid-Modell“

Ausweichverhalten
("Avoidance rate")

Habitatselektion

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fluggeschwindigkeiten

Fliegen/Rasten
Tagesphänologie

Vogel-Bewegungsdaten

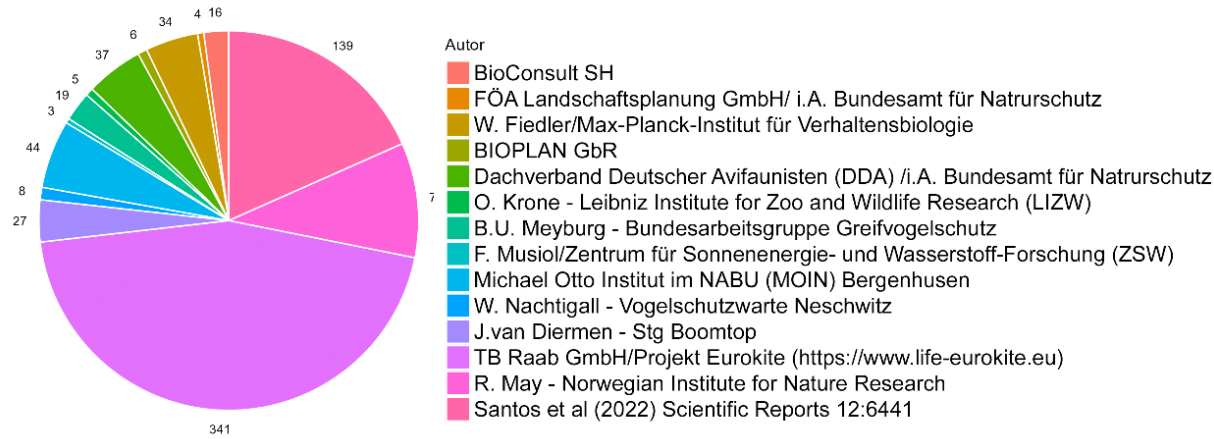
Habitat-Daten

WEA-Daten

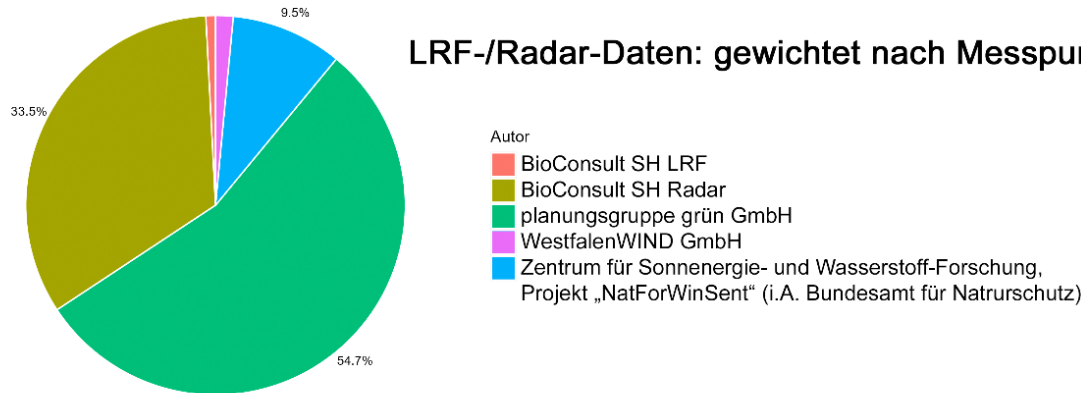


Vogel-Bewegungsdaten

GPS-Daten: Anteile Datenquellen (gewichtet nach Individuen)



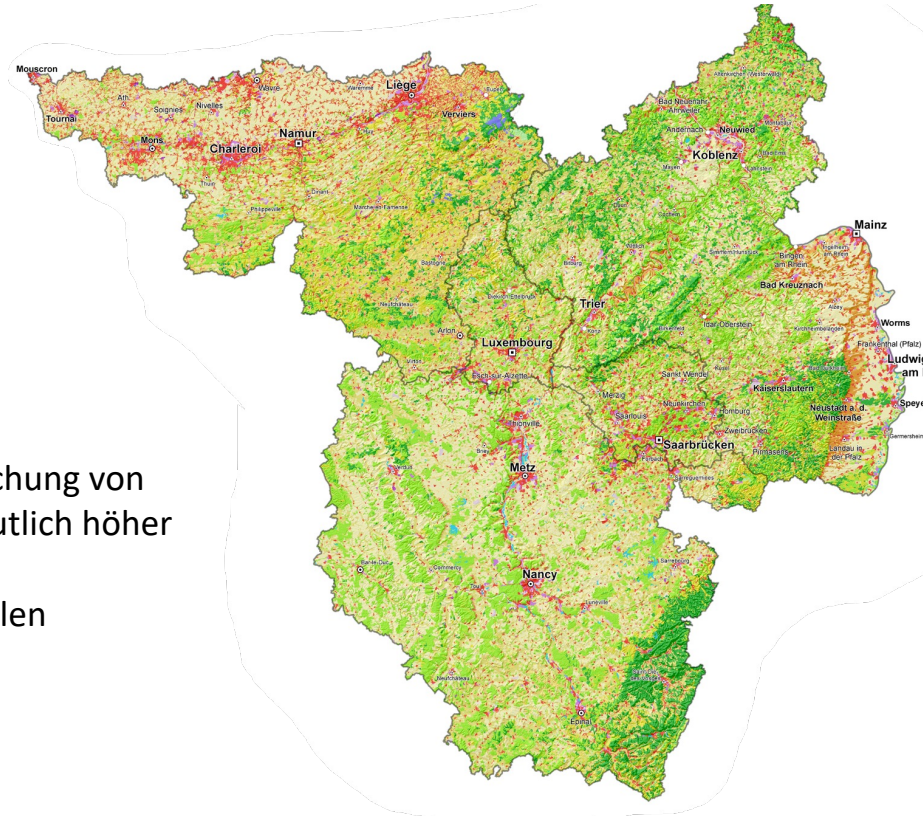
LRF-/Radar-Daten: gewichtet nach Messpunkten



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



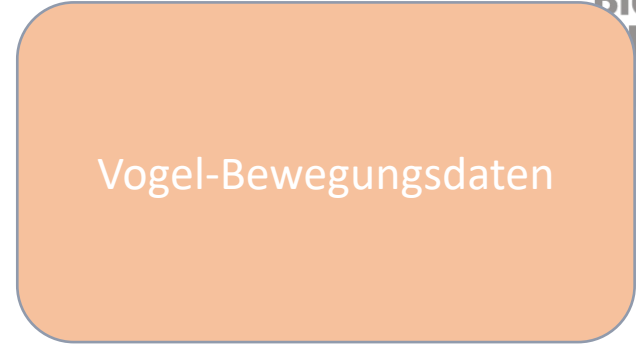
Habitatdaten



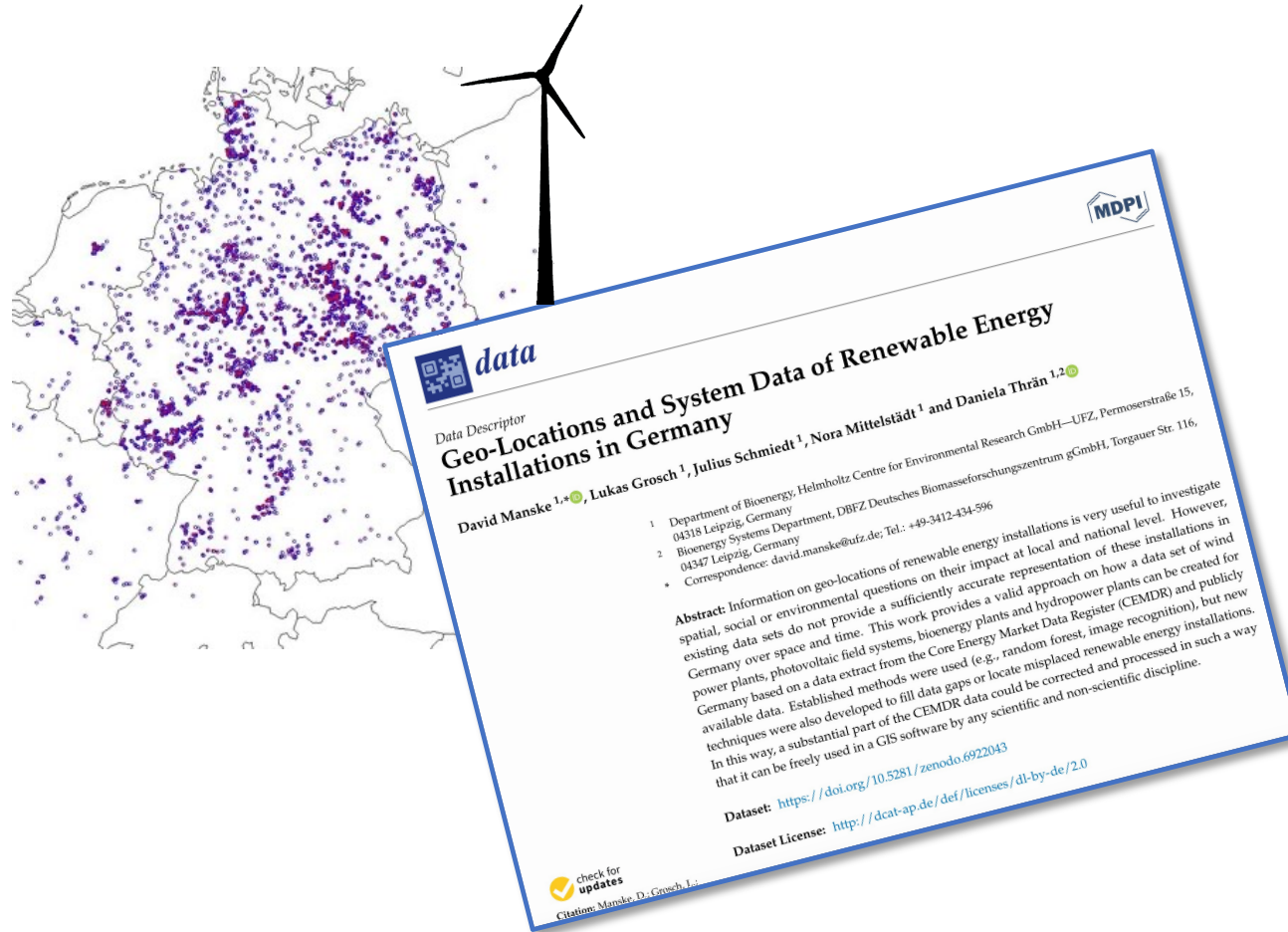
https://www.sig-gr.eu/de/cartes-thematiques/occupation-sols/corine_land_cover/2018.html

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

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



WEA-Daten

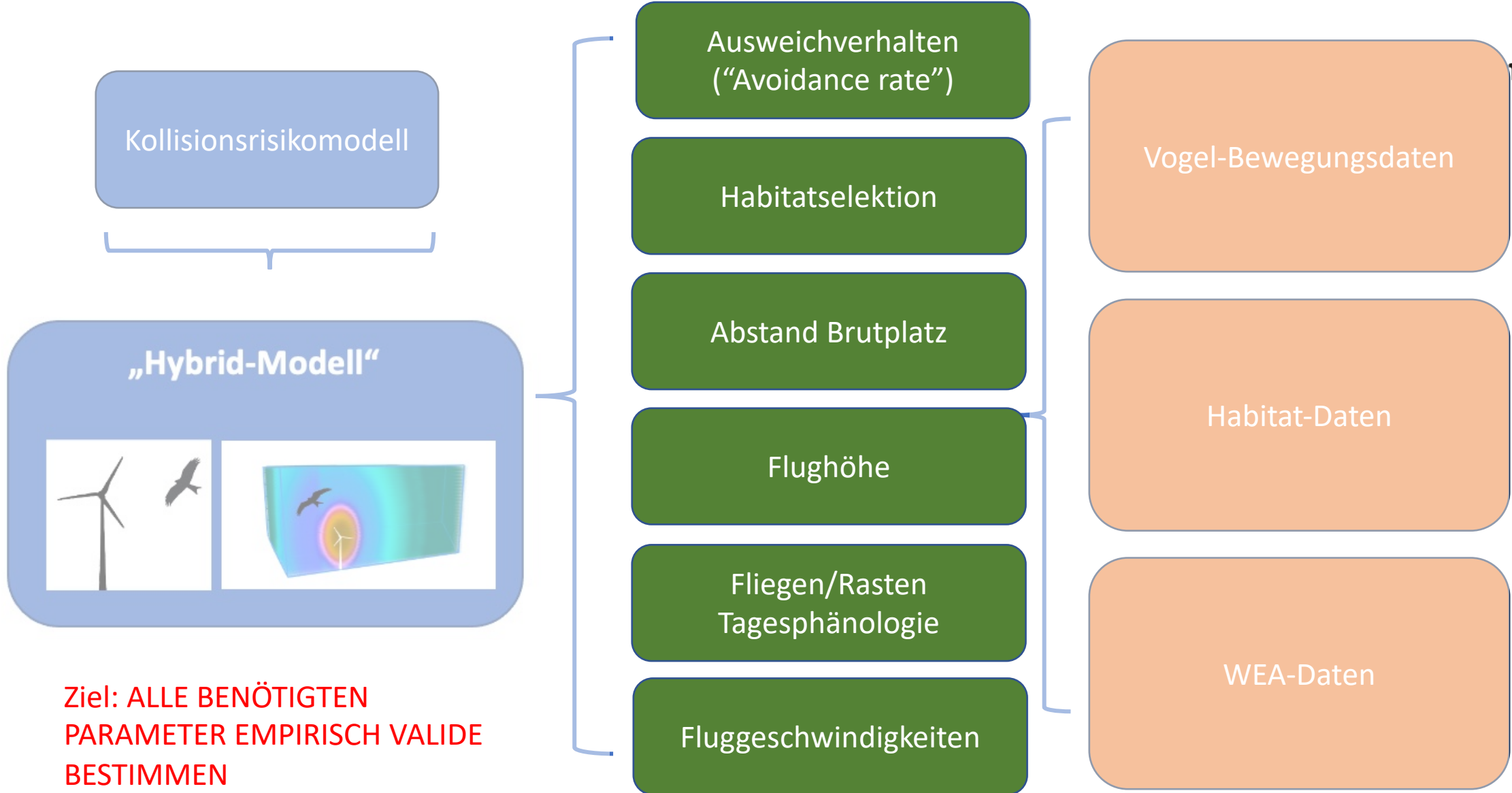


Vogel-Bewegungsdaten

Habitat-Daten

WEA-Daten

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



**Ziel: ALLE BENÖTIGTEN
PARAMETER EMPIRISCH VALIDE
BESTIMMEN**



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

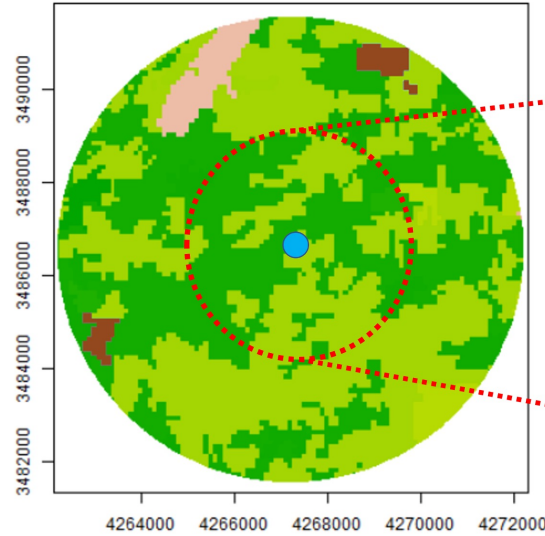
Flughöhe

Fliegen/Rasten Tagesphänologie

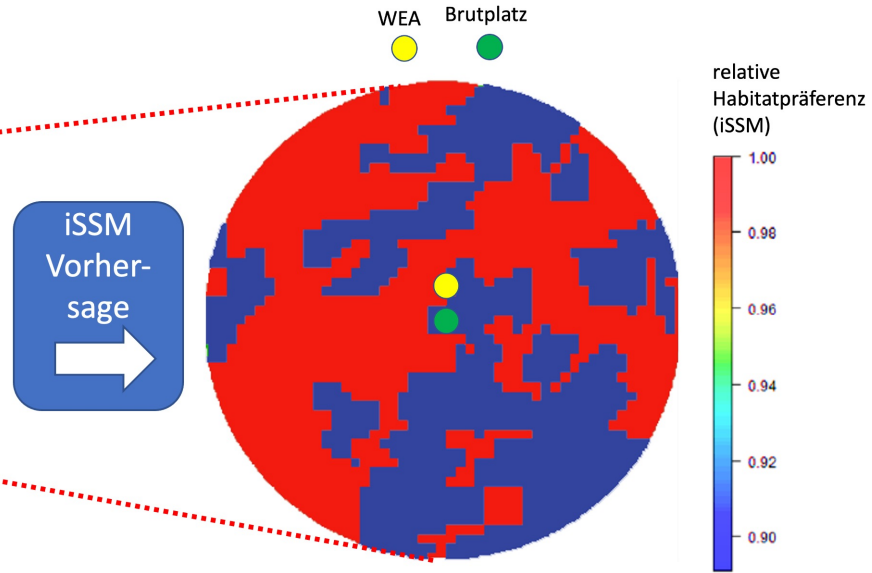
Fluggeschwindigkeiten

Prognose Habitatselektion

CLC-Habitat



iSSM-Prognose



Habitatselektion

Ausweichverhalten
("Avoidance rate")

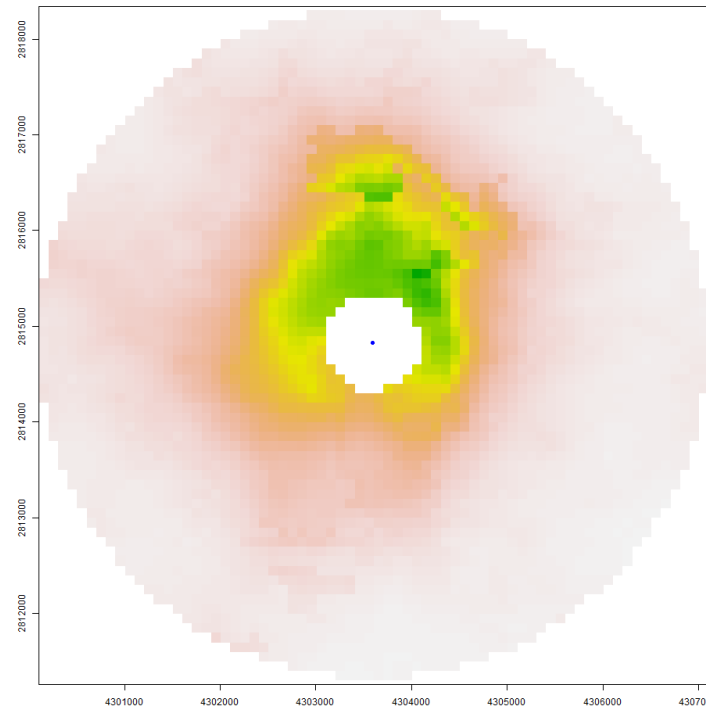
Abstand Brutplatz

Flughöhe

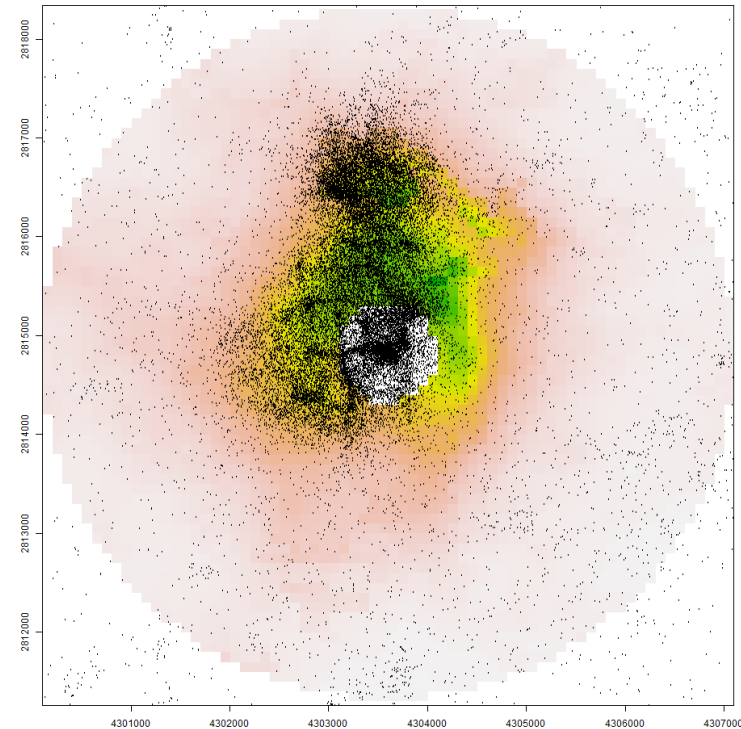
Fliegen/Rasten
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten

Prognose vs. reale Habitatnutzung/-selektion



Hybrid-Modellprognose



Hybrid-Modellprognose
+ GPS-Punkte (schwarz)

Habitatselektion

Ausweichverhalten ("Avoidance rate")

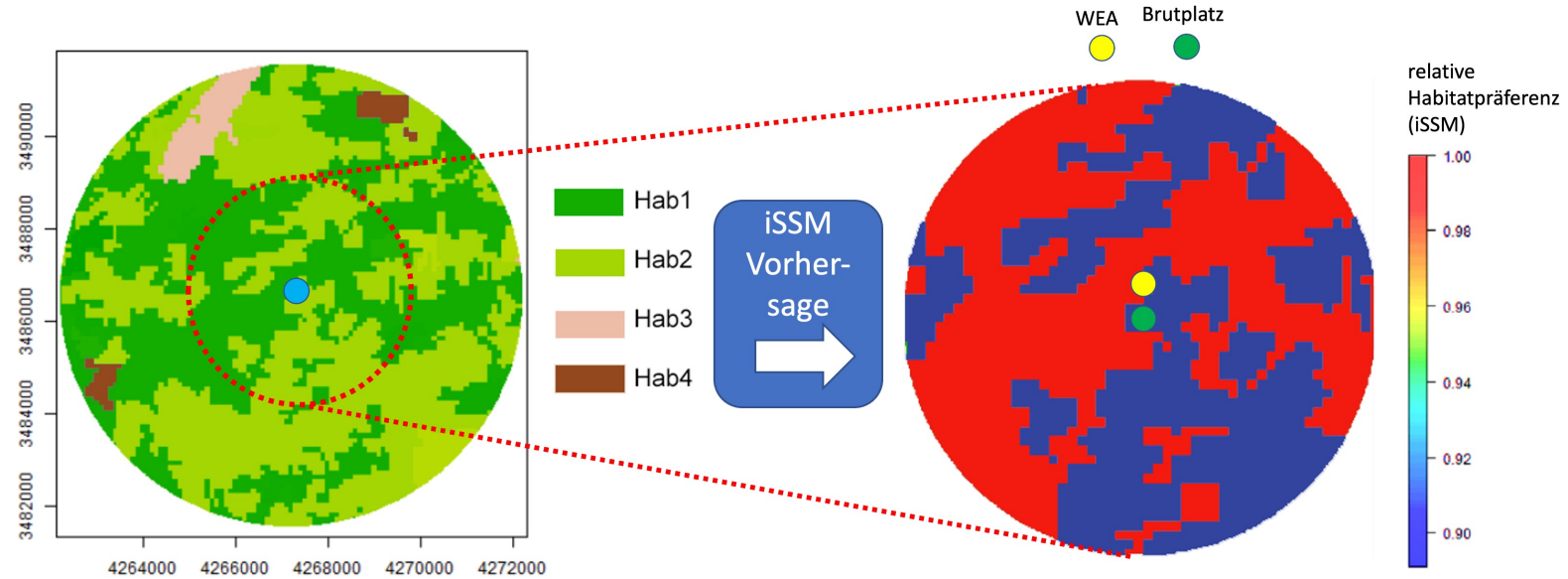
Abstand Brutplatz

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

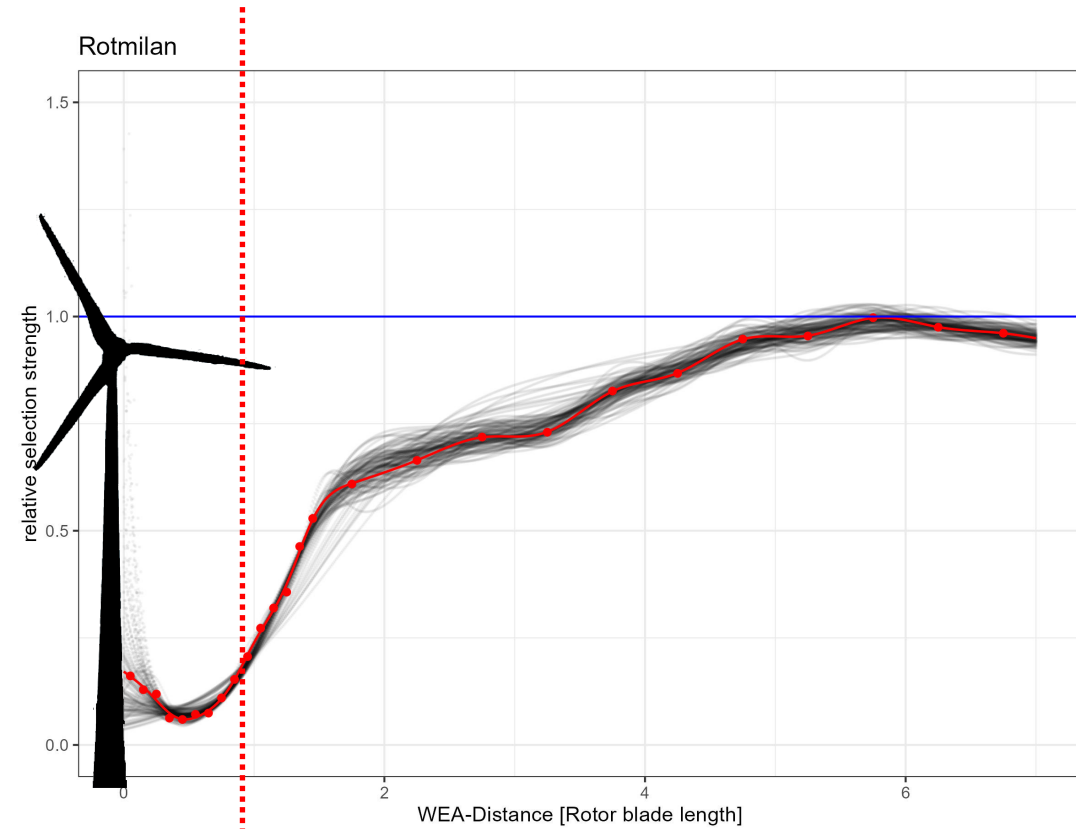
Mikro-avoidance

- 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

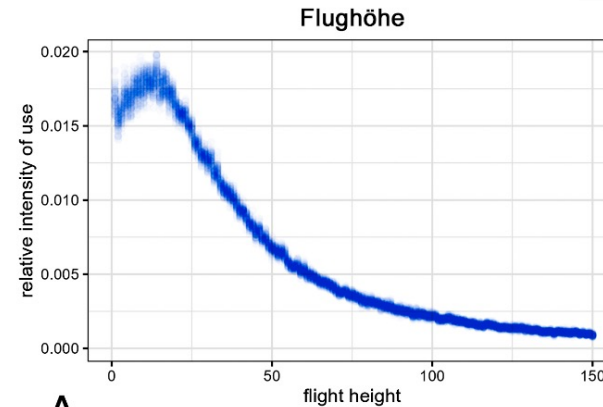
Ausweichverhalten
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

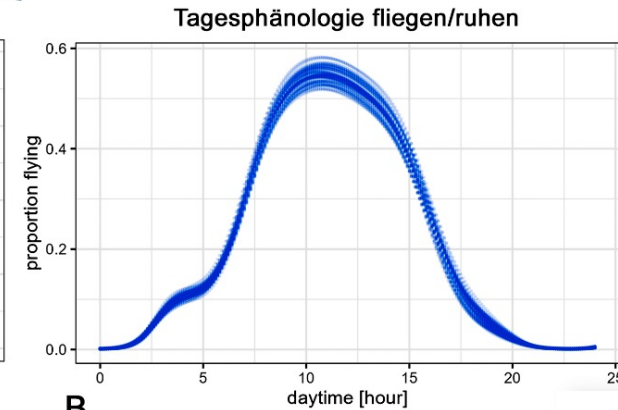
Flughöhe

Fliegen/Rasten
Tagesphänologie

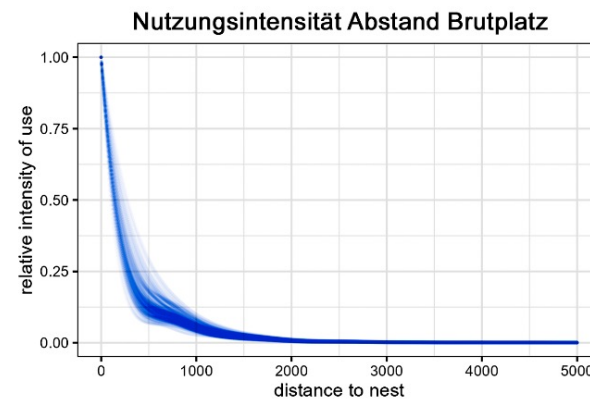
Fluggeschwindigkeiten



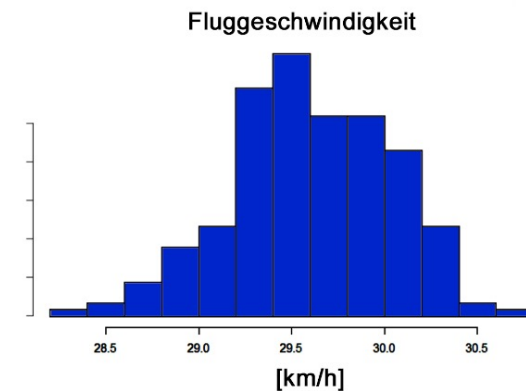
A



B



C



D

Qualitativ und quantitativ übereinstimmend mit u.a.

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



Habitatselektion

Ausweichverhalten
("Avoidance rate")

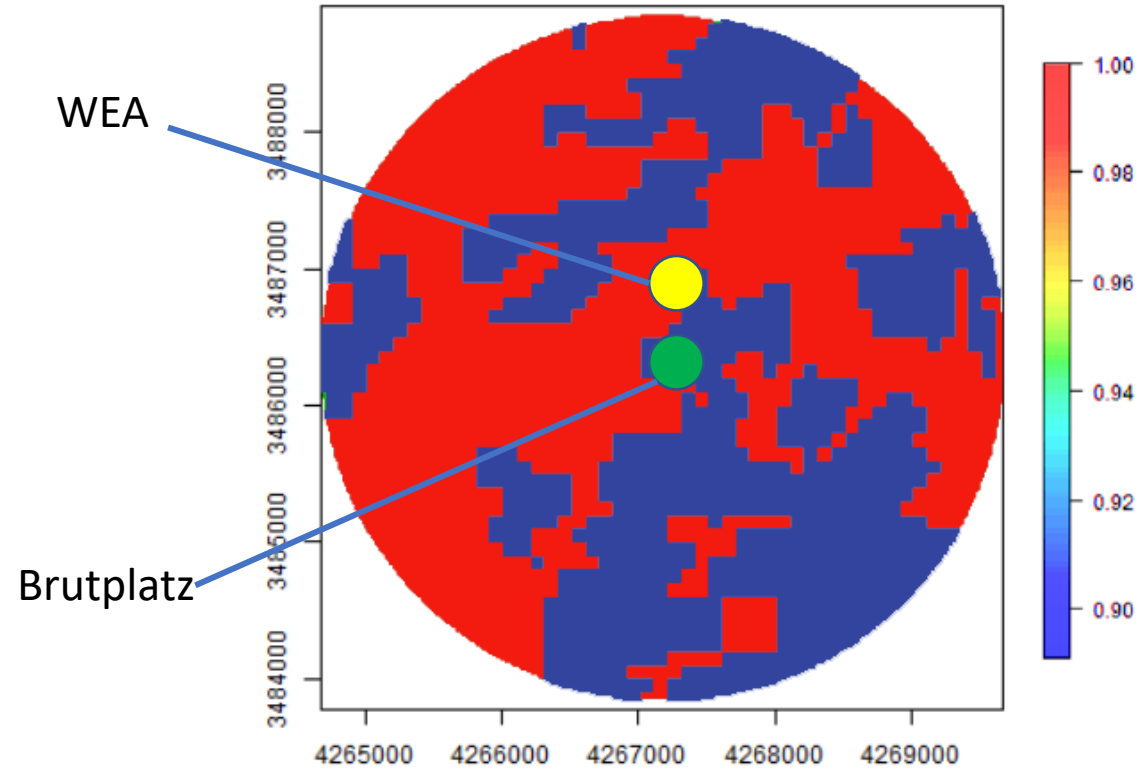
Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten

Raumnutzungsmodell: 2D → 3D



Habitatselektion

Ausweichverhalten
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

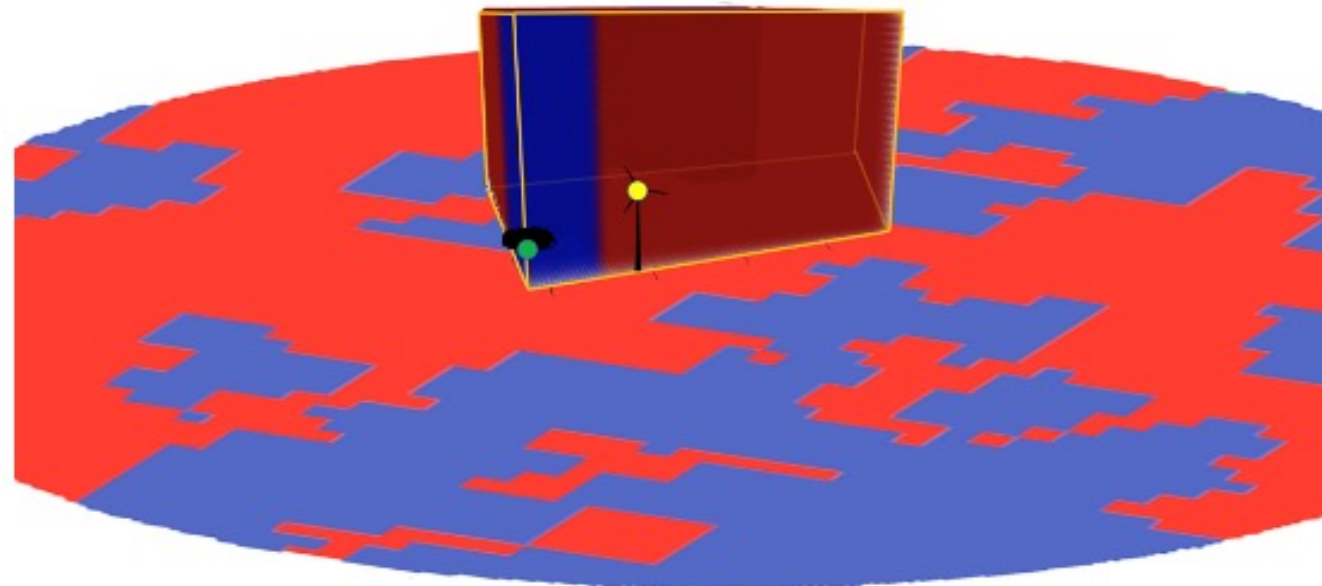
Fliegen/Rasten
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten

Raumnutzungsmodell: 2D → 3D

● WEA ● Brutplatz

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





Habitatselektion

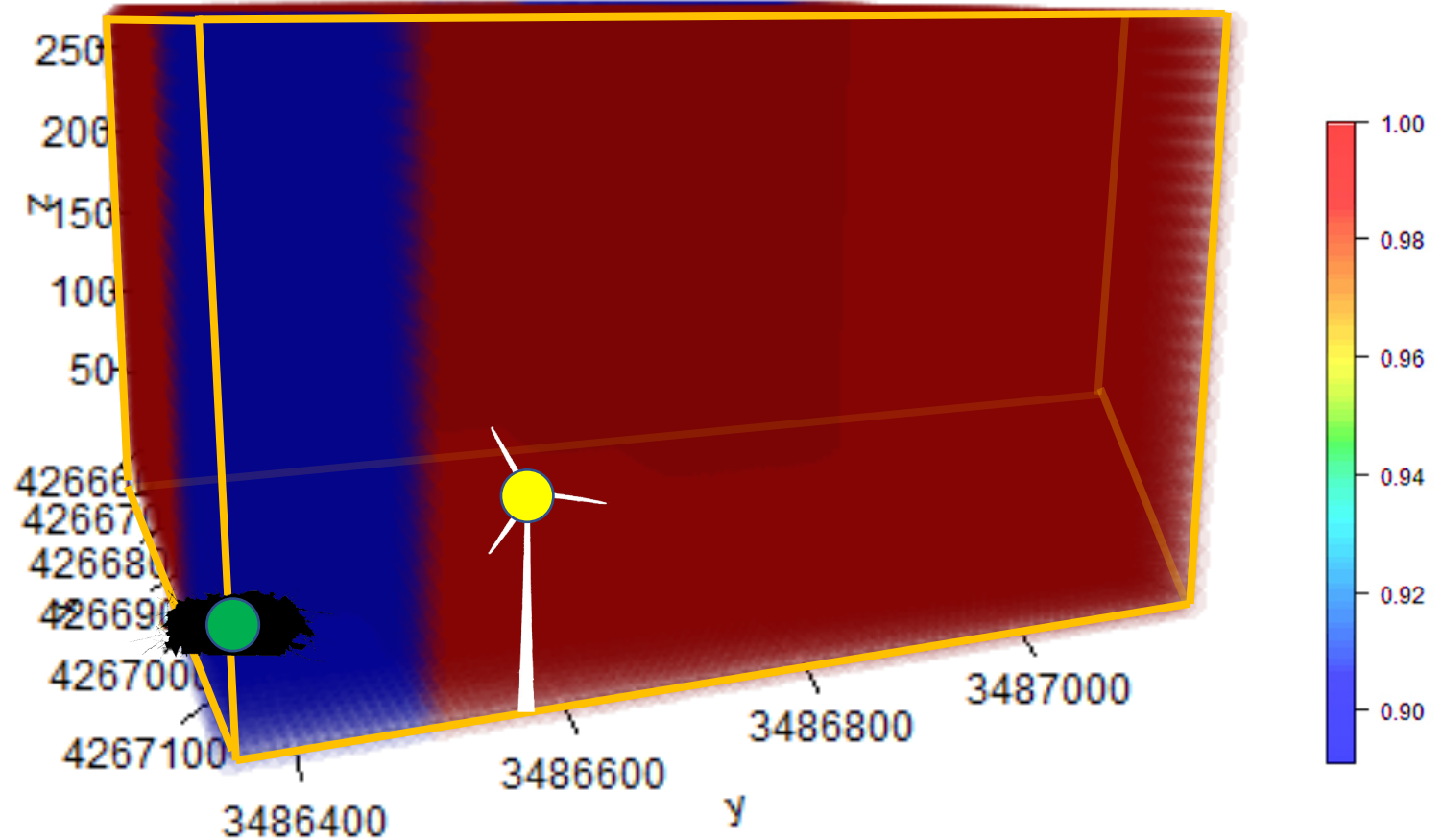
Ausweichverhalten
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten





Habitatselektion

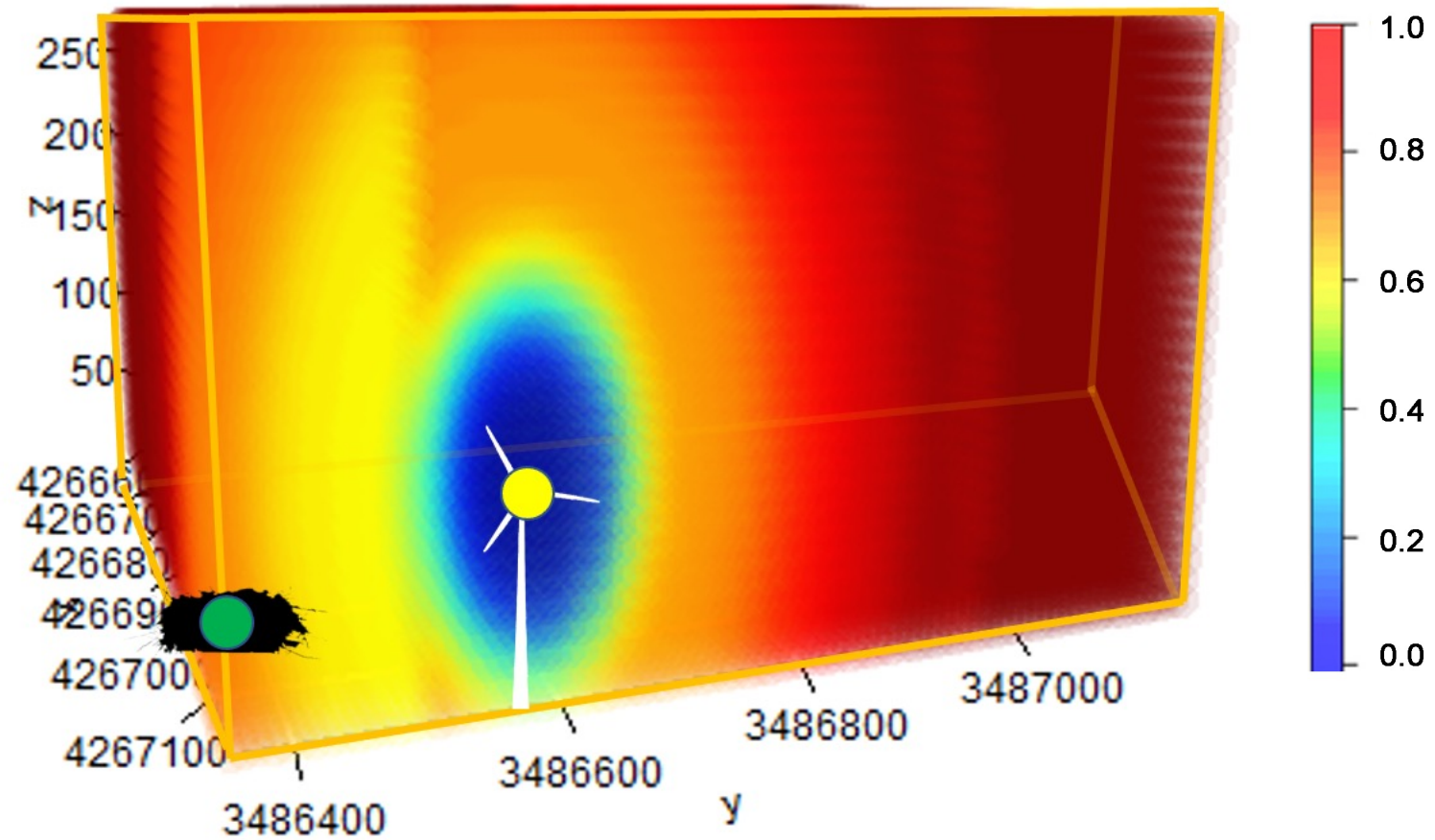
Ausweichverhalten
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten





Habitatselektion

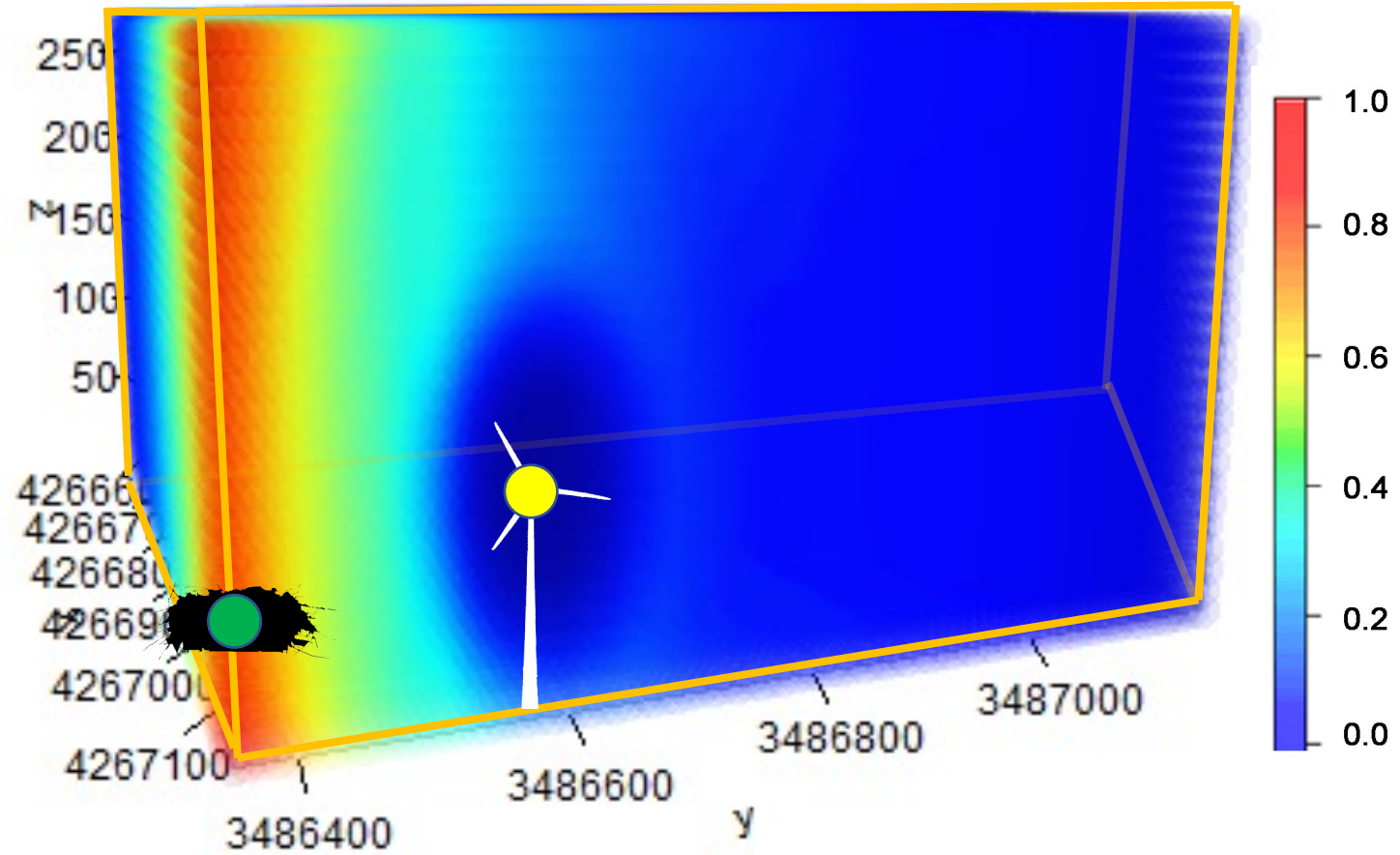
Ausweichverhalten
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten





Habitatselektion

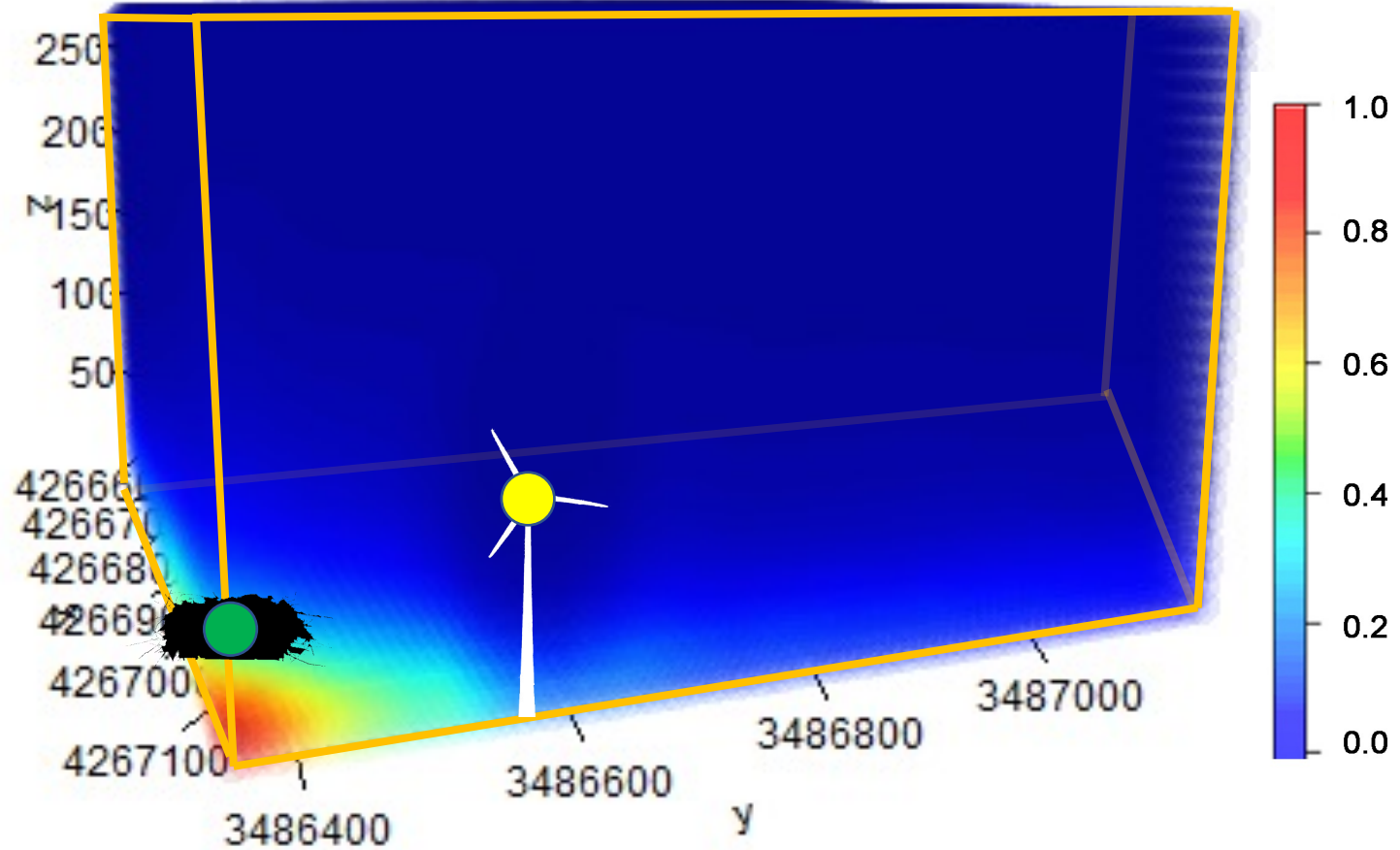
Ausweichverhalten
("Avoidance rate")

Abstand Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten
Tagesphänologie

Fluggeschwindigkeiten



Kollisionsrisiko pro Individuum und Saison + Konfidenzintervalle

Habitatselektion

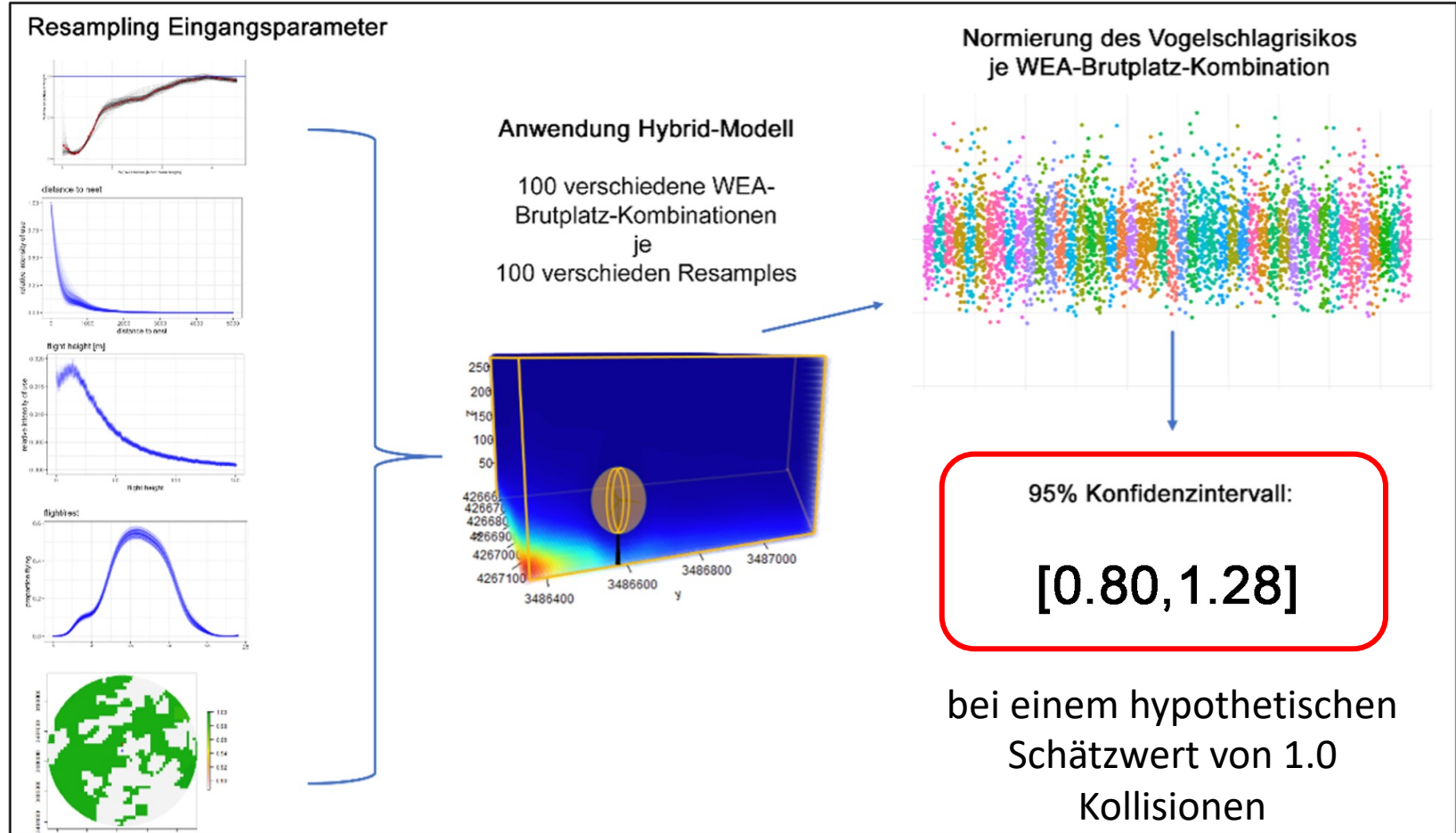
Ausweichverhalten ("Avoidance rate")

Abstad Brutplatz

Flughöhe

Fliegen/Rasten Tagesphänologie

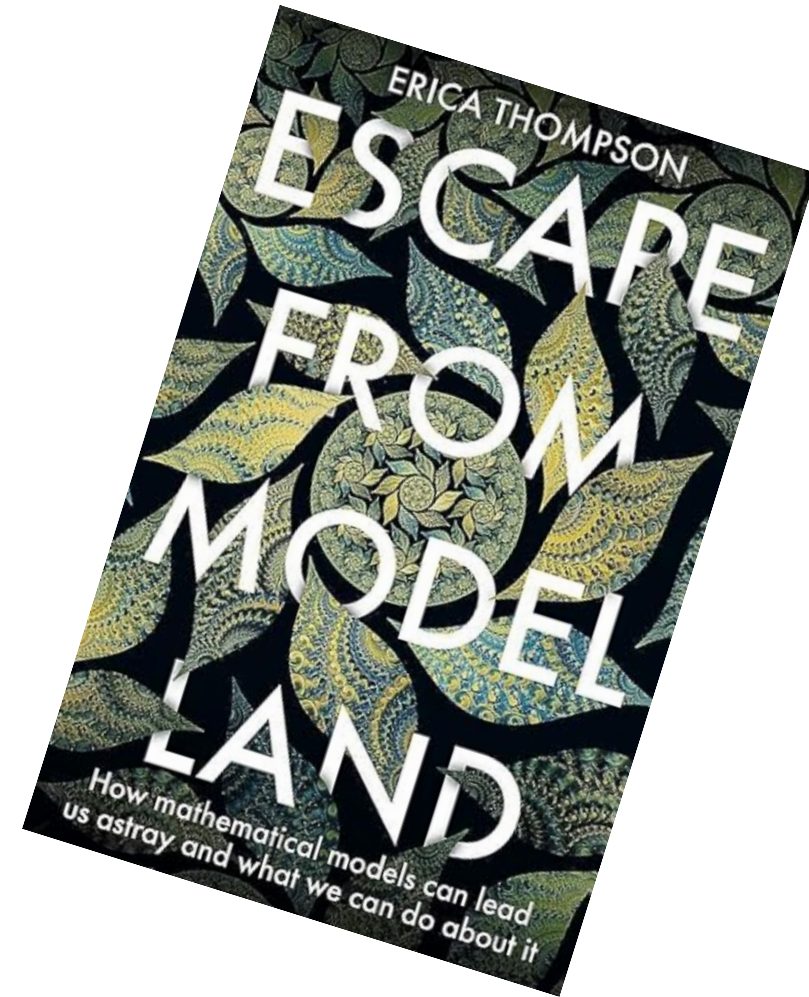
Fluggeschwindigkeiten



Validierung der Prognosen mit externen Studien

Modellvalidierung über die folgenden empirischen Studien:

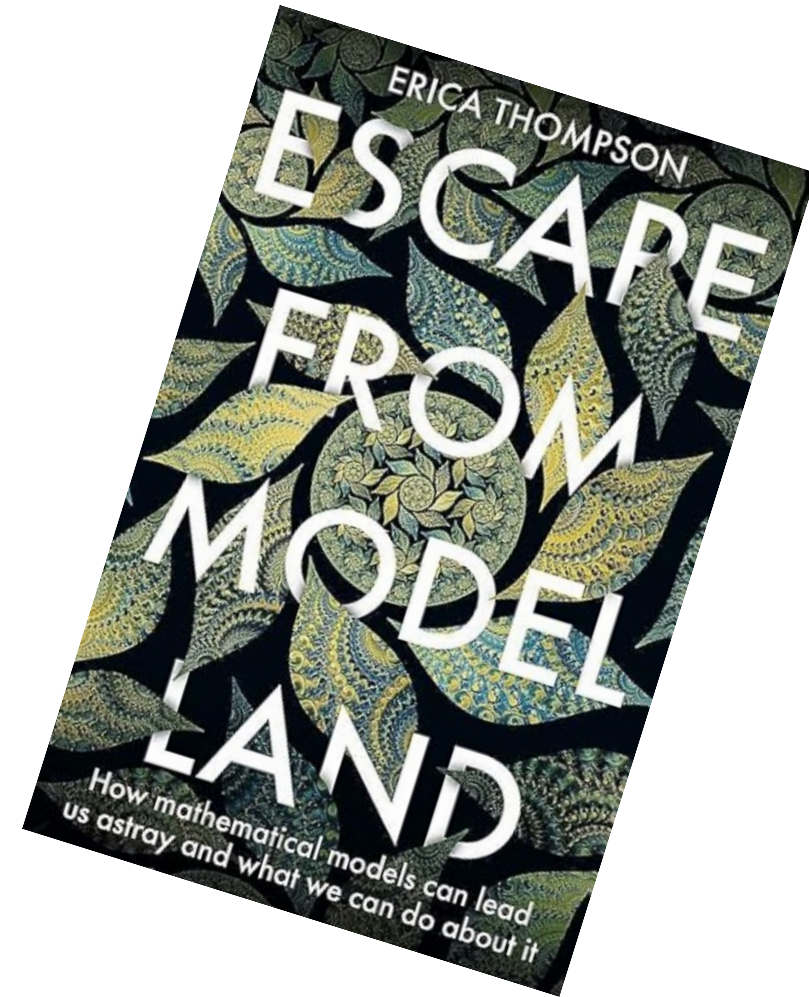
- PROGRESS-Studie
- Bellebaum (2013)
- Reichenbach et al (2023)
- LIFE EUROKITE Kollisionsopfer (in Arbeit)



Validierung der Prognosen mit externen Studien

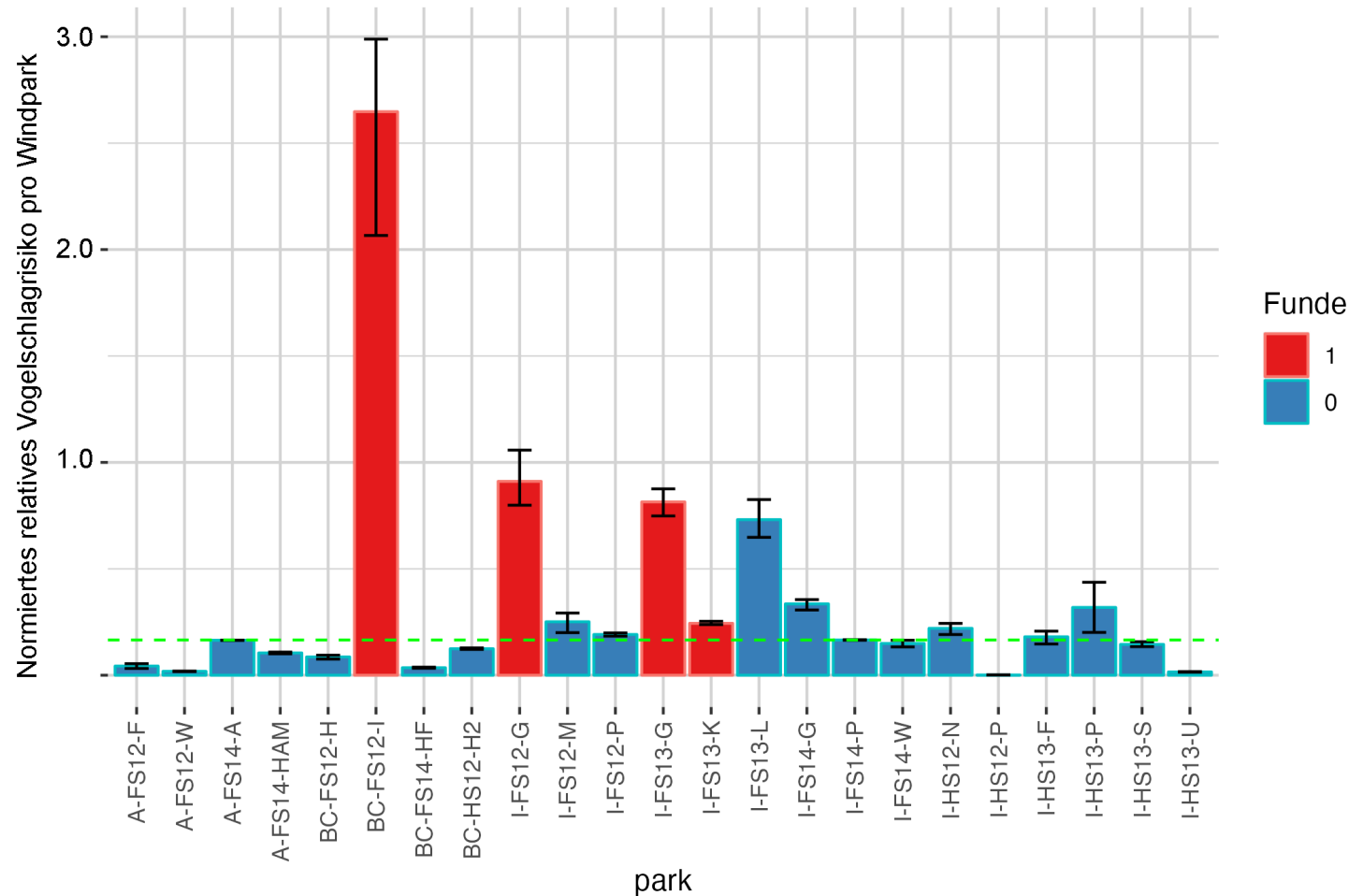
Modellvalidierung über die folgenden empirischen Studien:

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





Validierung der Prognosen mit externen Studien



Vergleich zu **PROGRESS**

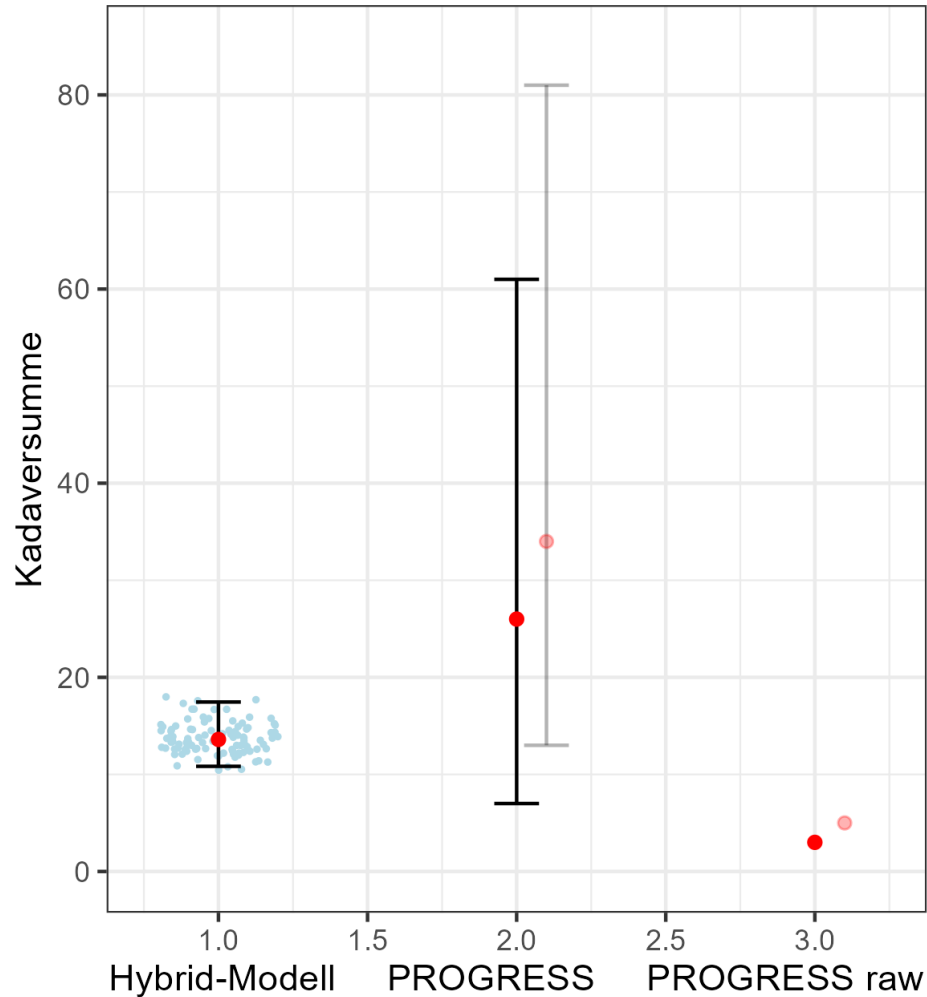
Qualitativer Vergleich:
relative Kollisionsrisiken





Validierung der Prognosen mit externen Studien

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



Vergleich zu **PROGRESS**

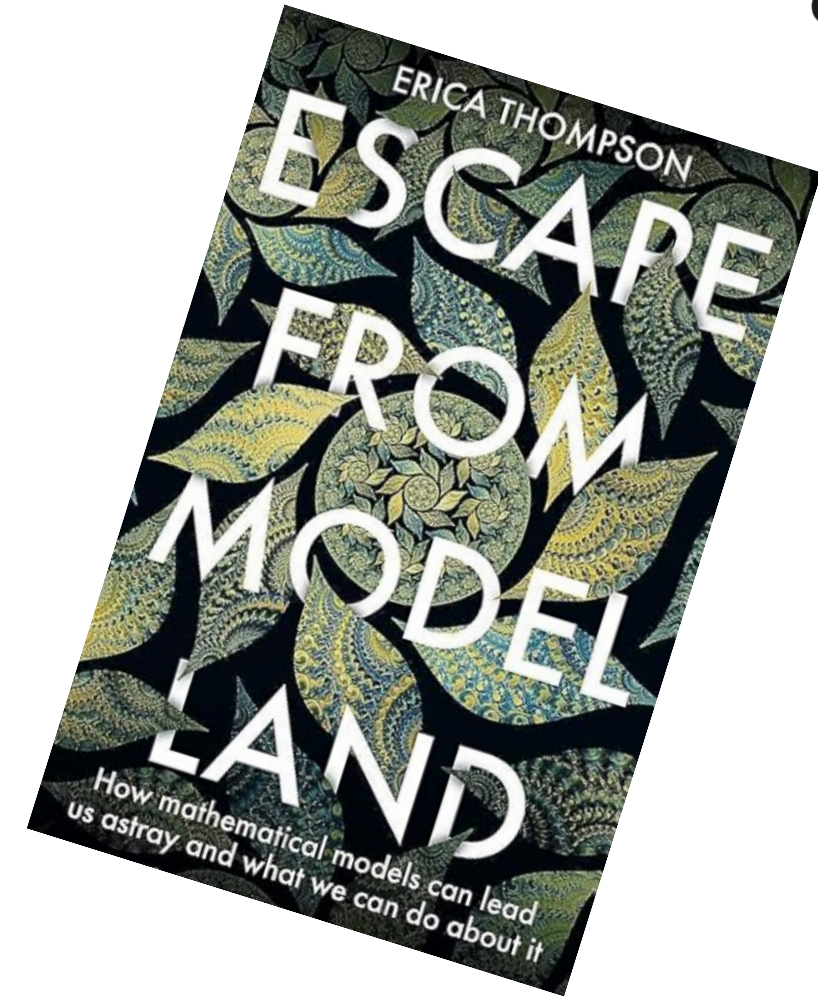
Quantitativer Vergleich:
Gesamtzahl Kollisionsopfer



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)

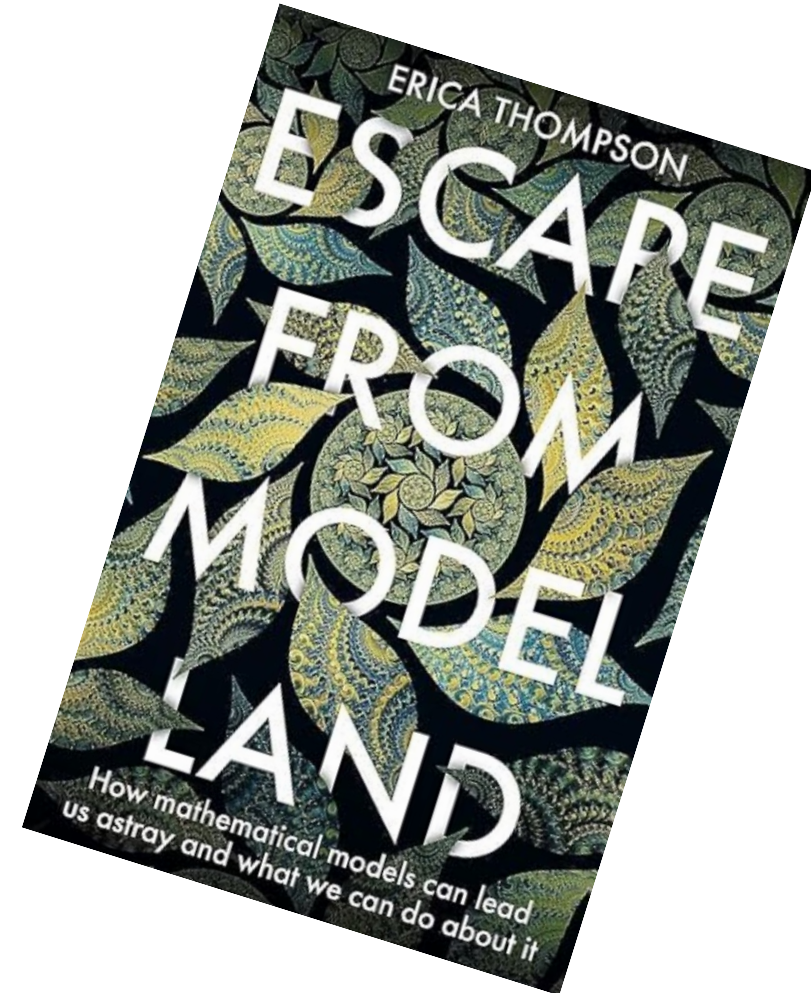
Validierung der Prognosen mit externen Studien

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



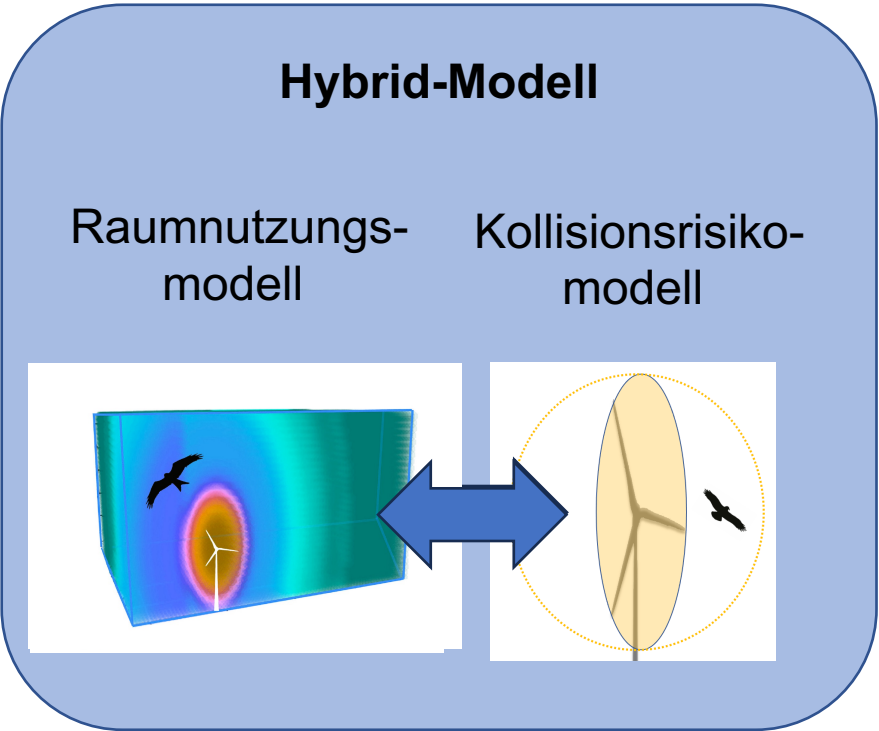
Praktische Anwendung des Hybrid-Modells → sehr einfach

Eingangsdaten → *Berechnungsvorschrift* → *Ergebnis und Bewertung*

Koordinaten Brutplatz

Habitat-Informationen

Daten
Windenergieanlage

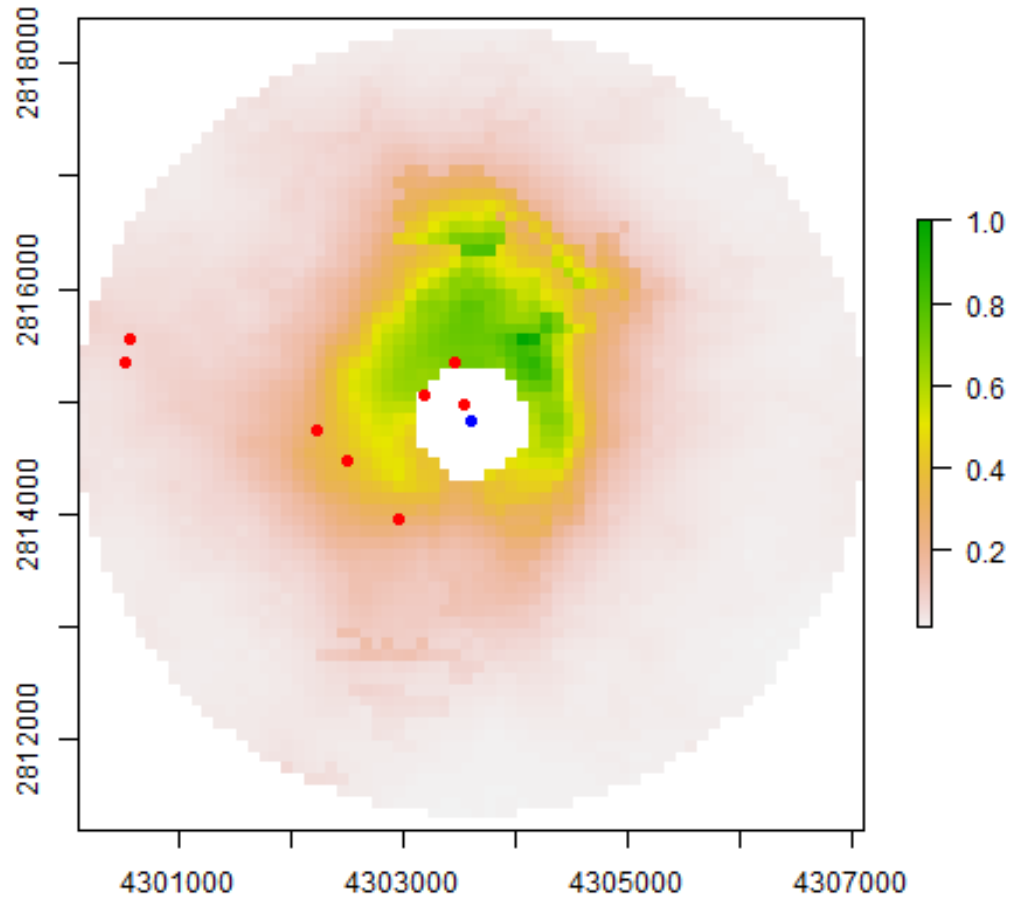


**Ergebnis z.B. = 0,015
(= 1,5 % Kollisionsrisiko pro Individuum und Saison)**

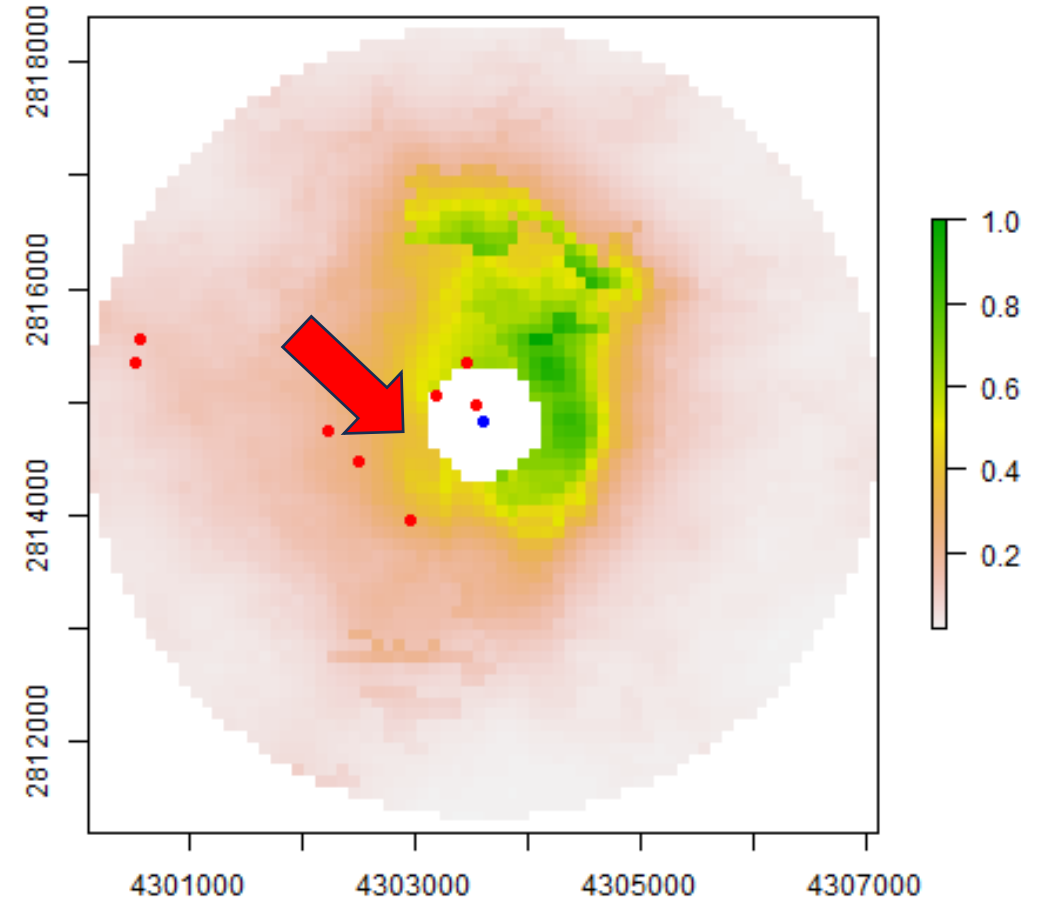
Bewertung anhand vereinbarter Schwellenwerte

Weitere Anwendungsgebiete Hybrid-Modell

reales Habitat

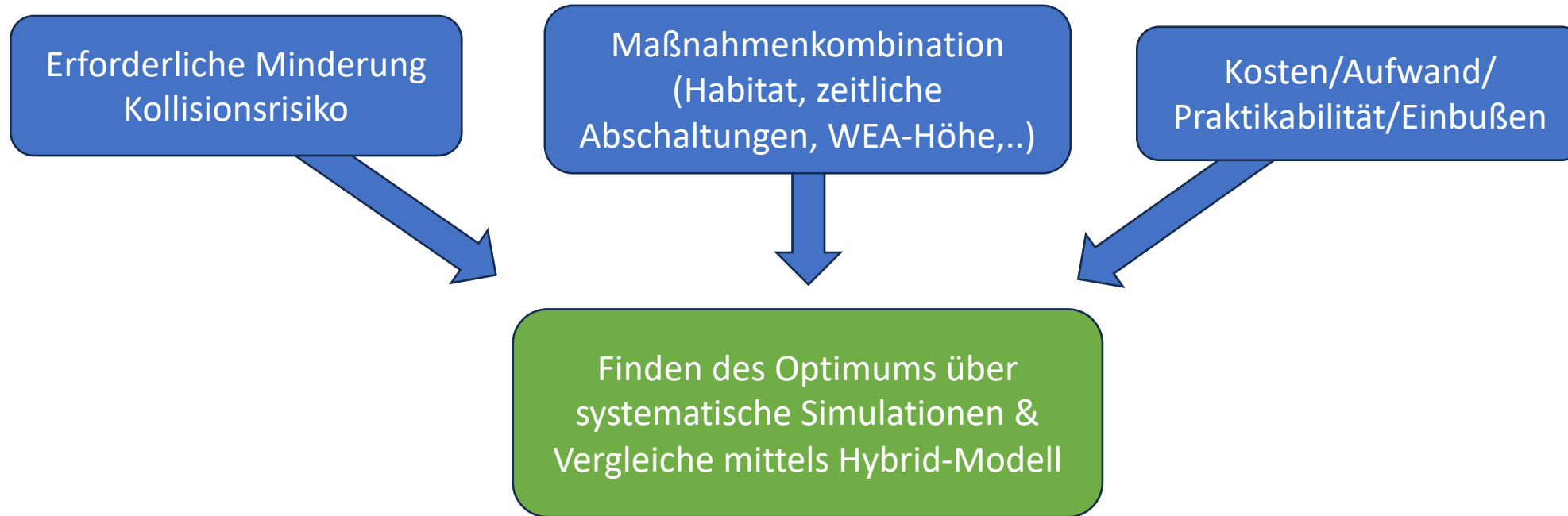


virtuell verändertes Habitat



Weitere Anwendungsgebiete Hybrid-Modell

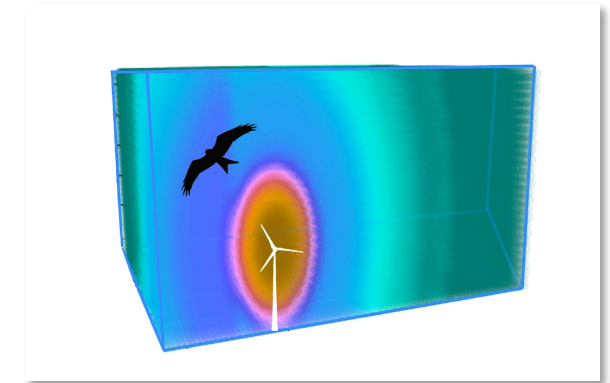
Systematisches optimieren von Maßnahmenkombinationen über simulierte Vergleiche möglich



Weitere Anwendungsgebiete Hybrid-Modell

Variationen des Hybrid-Modells:

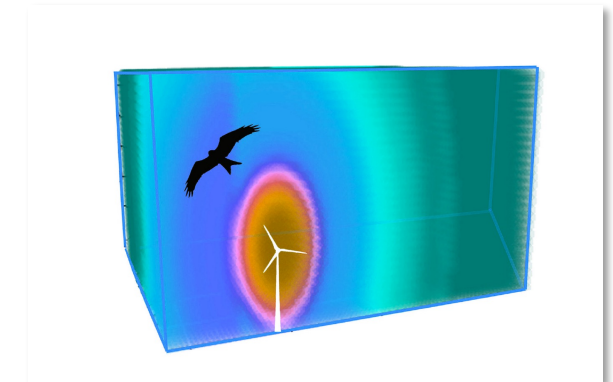
- **Modellprognose** → empirisch gut fundierte HPA



Weitere Anwendungsgebiete Hybrid-Modell

Variationen des Hybrid-Modells:

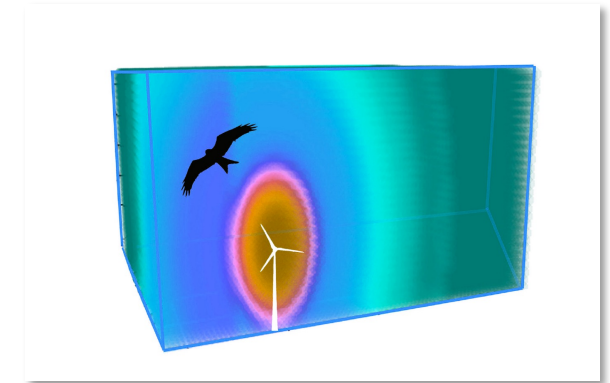
- Modellprognose → empirisch gut fundierte HPA
- **Flächige Darstellung des Kollisionsrisikos – zur optimalen Platzierung der WEA**



Weitere Anwendungsgebiete Hybrid-Modell

Variationen des Hybrid-Modells:

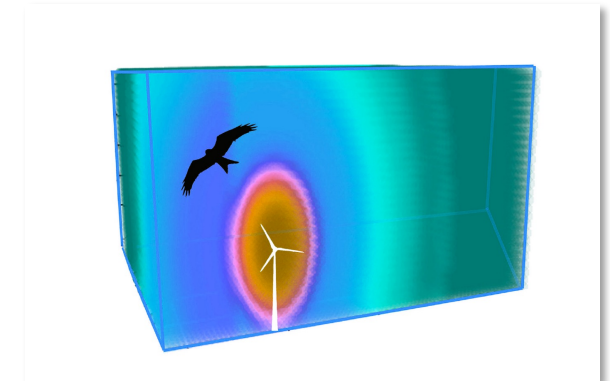
- Modellprognose → empirisch gut fundierte HPA
- Flächige Darstellung des Kollisionsrisikos – zur optimalen Platzierung der WEA
- **Großräumige Charakterisierung von Gebieten mit geringem Vogelschlagrisiko (muss mit Brutwahrscheinlichkeit kombiniert werden)**



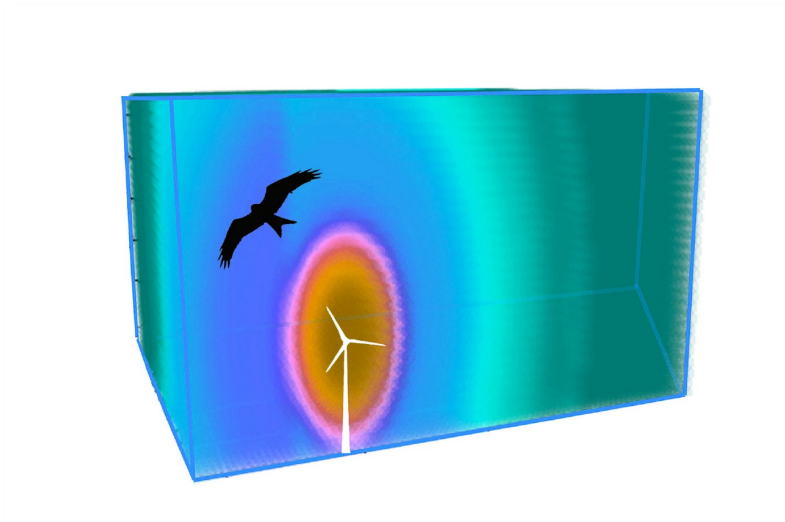
Weitere Anwendungsgebiete Hybrid-Modell

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 / 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)