



Vorhersagen treffen mit Ökosystemanalysen

Wie funktioniert das?

Ein Ökosystem ist ein komplexes Gebilde, mit einer Vielzahl von Komponenten und Prozessen, die miteinander oder gegeneinander wirken. Um sein Verhalten unter bestimmten Randbedingungen vorhersagen zu können, muss man es zunächst verstehen. Zusammenhänge, die in der Natur zu beobachten sind, können mit Hilfe der Mathematik beschrieben werden. Für ein dynamisches Ökosystem, in dem sich mit der Zeit die Zustände einzelner Systemkomponenten wie die Anzahl der Tiere in einer Population, die Menge gespeicherten Wassers im Boden oder die Biomasse auf einem Acker in Abhängigkeit des Zustandes anderer Komponenten ändern, werden so-

nannte Prozessmodelle verwendet. Mit Hilfe bekannter Gesetze der Physik wird versucht, ein Ökosystem – sozusagen – virtuell nachzubauen.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) widmen sich in ihren Simulationsmodellen insbesondere den vom Menschen geprägten Agrarökosystemen. Hier sind es die gekoppelten biophysikalischen und biochemischen Prozesse in Pflanze, Boden und Atmosphäre und deren Beeinflussung durch Klima, Standortbedingungen und Bewirtschaftung, die mit Hilfe von computergestützten Simulationsmodellen beleuchtet werden.

Ursachenforschung von Veränderungen mit Prozessmodellen

Übermäßiger Gebrauch von Stickstoffdünger in der Landwirtschaft und der damit verbundene unerwünschte Nährstoffeintrag in angrenzende Gewässer trieb die Entwicklung der ersten Boden-Pflanze-Atmosphäre-Modelle in Deutschland in den späten 1980er Jahren an. Simulationsmodelle sind in der Lage, Prozesse zu vereinfachen und in Raum und Zeit zusammenzufassen. Auf diese Weise können virtuelle Landschaftsexperimente über große Flächen und Zeiträume am Rechner durchgeführt werden. Dabei werden häufig besonders einfach verständliche Indikatoren wie Grundwasserneubildung, pflanzliche Produktivität, Habitatgüte oder Arbeitsplatzpotenzial verwendet, um Veränderungen in der Landschaft hervorzuheben.

Das Modell MONICA simuliert das Wachstum von Ackerkulturen und die Dynamik von Wasser und Stickstoff im Boden. Dabei berechnet es die tägliche Änderung einer Vielzahl von Prozessen, wie der Photosynthese, der Wasseraufnahme der Pflanzenwurzel oder der Nitratverlagerung im Boden. Ein besonderer Vorteil dieser Art von Modellen ist, dass sie voneinander abhängige Prozesse im Zusammenspiel abbilden. Diese Rückkopplungen im System führen oft dazu, dass eine Veränderung der Umweltbedingungen wie z. B. ein Anstieg der Temperatur im Ökosystem unerwartete Gegenreaktionen hervorruft. Das ist darauf zurückzuführen, dass einige Prozesse im Ökosystem durch eine Temperaturerhöhung verstärkt werden, während andere gedämpft werden. Der Effekt auf die betrachtete Zielgröße in einem rückgekoppelten System kann daher ohne Modell nicht zuverlässig vorhergesagt werden.

Die Berechnung der meisten Prozesse ist nur ein notwendiger Schritt zur eigentlichen Zielgröße wie dem Weizenertrag oder dem Wasserbedarf eines Maisbestandes. Aber genau in diesem Punkt steckt weiteres Potenzial: Ökosystemforscher können das Wechselspiel der verschiedensten Prozesse für jeden Zeitschritt des Computermodells analysieren und im Detail aufklären, wie eine beobachtete Veränderung eines Pflanzenbestandes zustande gekommen sein kann. Insbesondere langfristige Veränderungen wie die des Humusgehalts im Boden oder der über Jahre

ausbleibende Anstieg des Weizenertrags trotz verbesserter Züchtung, können mit Hilfe von Prozessmodellen auf ihre möglichen Ursachen untersucht werden.

Fuzzy logic – Unscharfes für Unfassbares

Die Wissenschaft ist auf Genauigkeit, Wiederholbarkeit und Allgemeinheit ausgerichtet und lässt scheinbar keinen Raum für unscharfes (fuzzy) Wissen. Anders als in der Technik, wo unscharfes Wissen in Form von Fuzzy-Modellen breiten Einsatz findet, ist es in der Ökosystemforschung immer noch relativ neu. Bei der Analyse von Landschaften mit ihren Wechselwirkungen zwischen Ökonomie, Ökologie und Sozialem muss zwangsläufig mit unscharfem Wissen umgegangen werden.

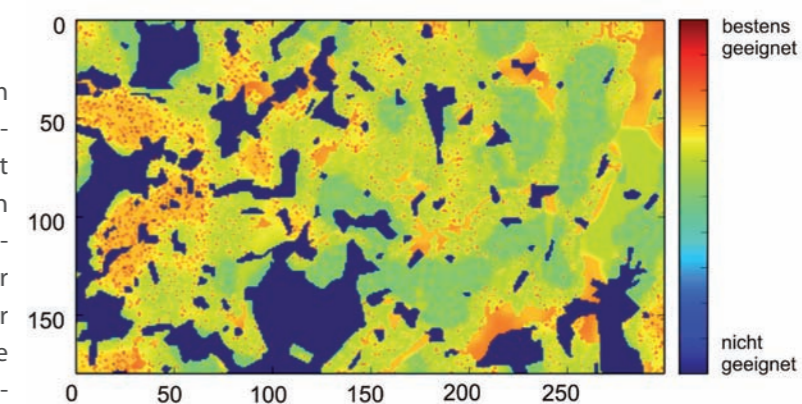


Abbildung 1: Eignung von Flächen in einer Region als Jagdgebiet für den Schreiadler als Ergebnis einer Simulation mit einem Fuzzy-Modell

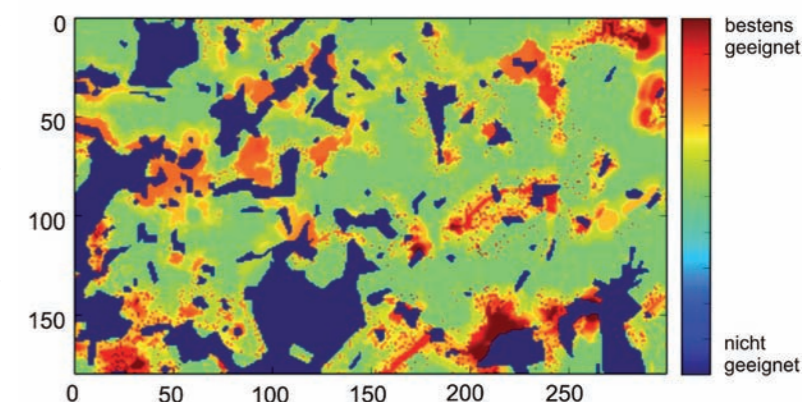


Abbildung 2: Eignung von Flächen als Habitat für den Schreiadler unter Berücksichtigung der Jagdmöglichkeit, der Nistmöglichkeit und der Einflussbereiche von Windkraftanlagen in einer Simulation mit einem Fuzzy-Modell

Im ZALF wurden zum ersten Mal Fuzzy-Modelle bei der Analyse von Landschaften bezüglich ihrer Eignung als Lebensraum ausgewählter Tierarten eingesetzt. Heute werden diese Modelle unter anderem eingesetzt, um den Prozess der Umweltverträglichkeitsprüfung zu vereinheitlichen, z. B. im Zusammenhang mit der Beeinträchtigung des Schreiadlers durch Windkraftanlagen.

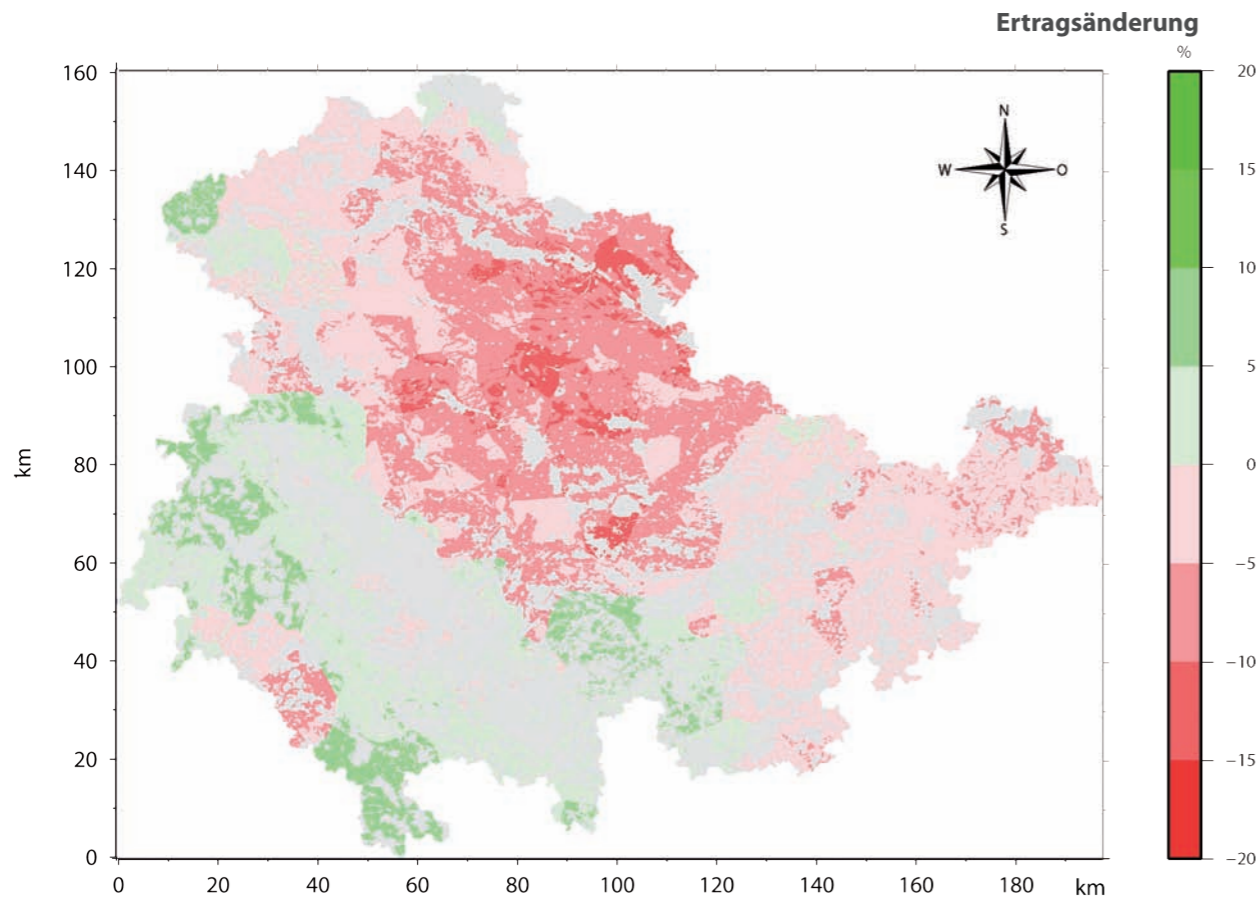


Abbildung 3: Mit YIELDSTAT simulierte relative Ertragsänderungen für Wintererbsen für 2021–2050 im Vergleich zu 1981–2010 für den Freistaat Thüringen (Klimaregionalisierung: WETTREG 2010; Emissionsszenario A1B; graue Flächen – kein Ackerland)

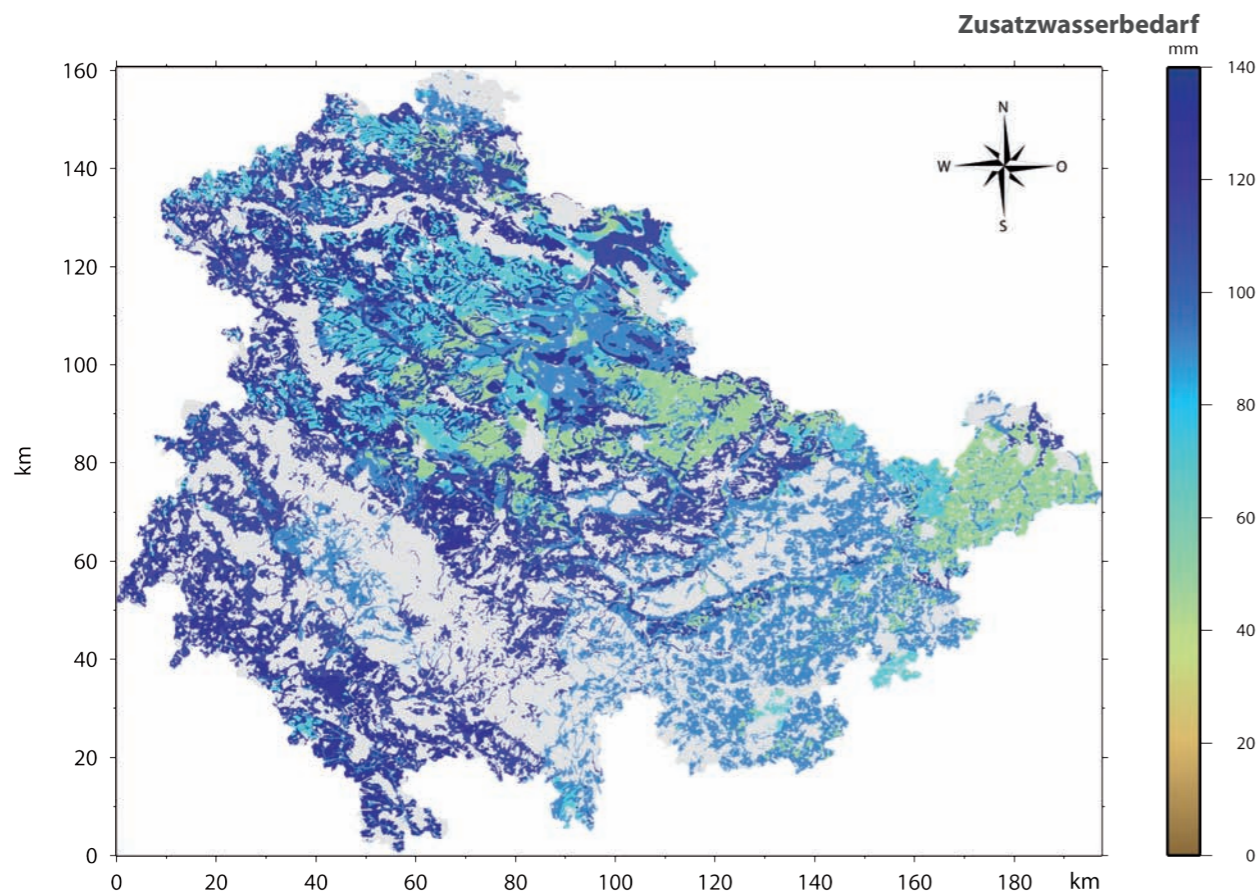


Abbildung 4: Mit dem Modell ZUWABE berechneter Zusatzwasserbedarf für Winterweizen im Zeitraum 2021–2050 im Freistaat Thüringen (Klimaregionalisierung: WETTREG 2010; Emissionsszenario A1B; graue Flächen – kein Ackerland)

Fruchtart	ohne Beregnung		mit Beregnung	
	Ertrag (dt ha ⁻¹)	Zusatzwasser (mm)	Zusatzwasser (mm)	Ertrag (dt ha ⁻¹)
Silomais	343	121	121	486
Wintererbsen	36	24	24	39
Winterweizen	66	80	80	78
Zuckerrüben	588	113	113	696

Abbildung 1: Einfluss der Zusatzbewässerung im Land Brandenburg auf die Erträge für das im Jahr 2025 zu erwartende Klima (Modelle: YIELDSTAT und ZUWABE)

Abbildung 1 zeigt die unscharfe Einschätzung des Nahrungsangebots für den Schreiadler in einer Region. Im Zusammenhang mit der Distanz zu geplanten Windkraftanlagen ergibt sich eine Habitateignungssimulation für diesen Raubvogel (Abb. 2).

Die Anwendung unscharfen Wissens in dynamischen Prozessmodellen verbindet die Vorteile beider Ansätze. So können Teile der Prozessmodelle, die mit viel Unsicherheit behaftet sind, durch Fuzzy-Modelle ersetzt werden. Die bewusste Einbeziehung unscharfen Wissens, gewonnen aus jahrelanger Erfahrung, führt oft zu einer Erhöhung der Modellgüte, weil die Anfälligkeit des Modells für eine Bedienung mit konkreten, aber vielleicht nicht repräsentativen oder fehlerhaft erhobenen Daten sinkt. Unscharfes Wissen verbunden mit einer dynamischen Simulation ergibt völlig neue Einsichten in die Entwicklung komplexer Systeme.

REMICs für den regionalen Zusammenhang

Ökosysteme haben unterschiedliche Größen und können mitunter ganze Agrarlandschaften umfassen. Landschaften oder Regionen sind für uns als System jedoch kaum überschaubar. Die Abhängigkeiten und Wechselwirkungen ihrer Komponenten sind einfach zu komplex. Im Vergleich zu Labor- oder Feldexperimenten, für die sehr viel Einzelwissen und Daten vorliegen, ist auf der Landschaftsebene das Wissen für die einzelnen Landschaftsindikatoren häufig nicht ausreichend und die verfügbare Datenlage ist sehr begrenzt. Aus diesem Grund werden Regionalmodelle (REMICs) entwickelt, die dieser begrenzten Datenlage Rechnung tragen. Dabei ist es unerheblich, ob statistische, unscharfe, empirische oder expertenbasierte Modelle oder Kombinationen von diesen zur Anwendung kommen. Eines dieser am ZALF entwickelten Regionalmodelle ist das Modell YIELDSTAT, mit dem die Ertragsleistung landwirtschaftlicher Fruchtarten berechnet wird. Abbildung 3 zeigt das Ergebnis einer YIELDSTAT-Simulation für Wintererbsen in Thüringen als Differenz derzeitiger erzielter

und unter den erwarteten Bedingungen des Klimawandels zukünftig erzielter Erträge. Kombiniert man die Simulationen mehrerer Modelle, können geeignete Maßnahmen für die Landwirtschaft als Adaption an den Klimawandel abgeleitet werden. Tabelle 1 demonstriert dies anhand von Simulationen des Ertrags (YIELDSTAT) und des Zusatzwasserbedarfs durch Bewässerung mit dem Regionalmodell ZUWABE (Abb. 4) für einige typische Ackerkulturen in Brandenburg.

Kein Modell ohne Daten

Ist ein Simulationsmodell für Agrarökosysteme erst einmal fertig entwickelt, sollte es eigentlich ohne Einschränkungen einsetzbar sein. Dem ist leider nicht so, denn Ökosysteme und ihre Randbedingungen unterliegen einem stetigen Wandel und auch die Ökosystemforschung wartet ab und an mit neuen Erkenntnissen auf. Um diese Erkenntnisse in Modelle zu integrieren und diese dann anschließend auf ihre Prognosegüte zu testen, sind spezielle Daten erforderlich, die nur in eigens konzipierten Feld- und Laborexperimenten erbracht werden können. Aus diesem Grund ist es notwendig, dass Modellentwickler und Experimentatoren eng zusammenarbeiten. Am ZALF arbeiten Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus den verschiedensten Sparten daran, neue Modelle zu aktuellen Fragestellungen zu entwickeln und deren Treffsicherheit stetig zu erhöhen.



Dr. Claas Nendel, Dr. Ralf Wieland, Dr. Wilfried Mirschel

Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung,
Institut für Landschaftssystemanalyse, Müncheberg

E-Mail: nendel@zalf.de