

Mehrere stabile Zustände der Vegetation

Die globale Verteilung der Vegetationszonen wurde bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts von Wissenschaftlern beobachtet und dokumentiert. Ein starker Zusammenhang zwischen klimatischen Bedingungen und der Vegetation führte zu der Theorie, dass sich in einem bestimmten Klima die Vegetation zu einem Gleichgewichts-Vegetationstyp entwickelt. Diese Theorie kann jedoch nicht alle beobachteten Vegetationsveränderungen erklären, da aufgrund von Störungen und wechselnden Umweltbedingungen ein solches Gleichgewicht oft nicht erreicht wird.

Heute beobachten Satelliten den Zustand und die Veränderungen der Vegetation zunehmend detaillierter und ermöglichen neue Erkenntnisse über das Verhältnis von Klima und Vegetation. Basierend auf diesen Satellitendaten zeigte eine Analyse, dass innerhalb der Tropen (Hirota et al., 2011, Staver et al., 2011) und der borealen Zone (Scheffer et al., 2012) einige Baumbedeckungsgrade viel häufiger vorkommen (spärliche Baumbedeckung, eine Baumbedeckung von 20 bis 40 Prozent und sehr hohe Baumbedeckung), während die dazwischenliegenden Bedeckungsgrade praktisch nicht auftreten. Das sorgfältige Filtern des Datensatzes nach ähnlichen Klimazuständen zeigte, dass auch bei gleichem Klima unterschiedliche Zustände der Vegetation möglich sind. Diese Beobachtung gibt wichtige Hinweise auf die Stabilität von Ökosystemen, da die Häufigkeit bestimmter Zustände als hohe Stabilität oder hohe Widerstandsfähigkeit interpretiert werden kann. Ein hohes Auftreten von dichten Waldökosystemen und Ökosystemen mit niedriger Baumbedeckung bedeutet also, dass bei einer zeitweisen starken Abnahme der Baumbedeckung in einem Waldökosystem das Ökosystem instabil werden und schließlich zum niedrigeren Baumbedeckungszustand wechseln kann. Von diesem kann es sich ggf. nicht wieder zum anfänglichen, dichten Wald entwickeln. Übergänge zwischen den unterschiedlichen stabilen Zuständen treten gewöhnlich plötzlich und mit einer beschleunigten Änderungsrate auf.

Für die Tropen kann die beobachtete Vielfalt der Baumbedeckung mit Wechselwirkungen zwischen Vegetation und Feuer verknüpft werden: Die hohe Entflammbarkeit von Gräsern fördert ein hohes Aufkommen von Feuern, was zu einer Zunahme der Grasbedeckung führt. Wälder mit geschlossenen Baumkronen unterstützen hingegen ein feuchtes Mikroklima, das Feuer unterdrückt und gute Bedingungen für das Baumwachstum liefert (Abb. 1). Diese Rückkopplung lenkt das System in den einen oder anderen der beiden gegensätzlichen Zustände (geschlossene Wälder und Wiesenflächen oder Savannen) und destabilisiert Zustände mit mittleren Anteilen an Baumbedeckung.

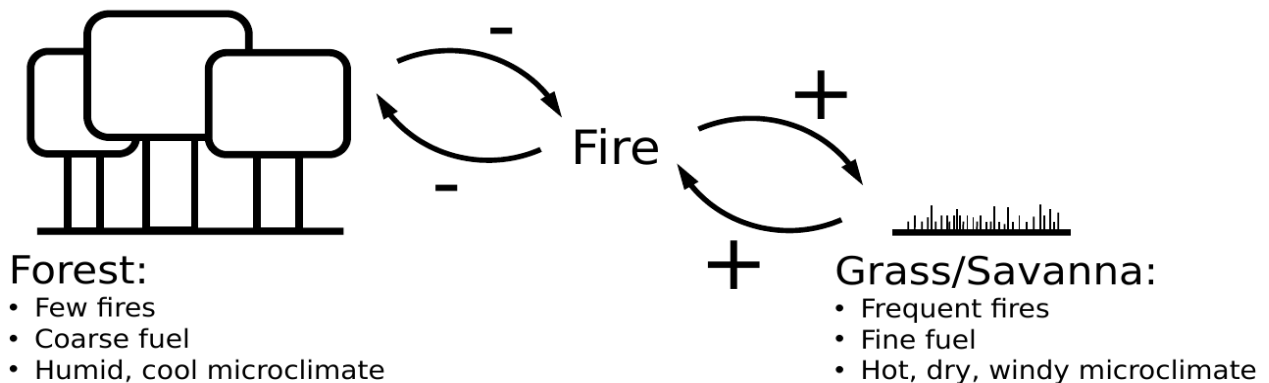


Abbildung 1: Rückkopplung von Feuer und Vegetation. Feuer und Vegetation interagieren, die Vegetation bietet dem Feuer Brennmaterial, die Entflammbarkeit des Brennmaterials hängt vom Vegetationstyp ab. Wiesenflächen oder Savannen bieten Brennmaterialien mit einer höheren Entflammbarkeit und haben zudem ein Mikroklima, das - im Vergleich zu Wäldern - das Vorkommen von Feuern erhöht.

Gitta Lasslop und ihre Kollegen haben die Darstellung des Feuers im JSBACH-Landmodell verbessert. Das neue, prozessbasierte SPITFIRE-Modell simuliert Wechselwirkungen zwischen Feuer und Vegetation. Diese neue Modellversion ermöglichte es den Forschern, das Auftreten von mehreren stabilen Gleichgewichtszuständen der Vegetation aufgrund der Feuer-Vegetation-Rückkopplung weltweit zu untersuchen. Gebiete mit mehreren stabilen Gleichgewichtszuständen können identifiziert werden, indem man eine Simulation mit einer Grasvegetation beginnt und sie mit einer Simulation vergleicht, die mit einer Waldvegetation begonnen wurde. Wenn sich die Vegetation der beiden Simulationen nicht annähert, hat die Vegetation mehrere stabile Zustände. Im Klimamodell treten mehrere stabile Gleichgewichtszustände in Savannenregionen auf (Abb. 2a), wie es auch die Analysen von Satellitendaten nahelegen. Dies geschieht allerdings nur, wenn Feuer als interaktiver Prozess angelegt wurde. Wenn Feuer nicht berücksichtigt wird, konvergiert die Fläche global, die mit Bäumen bedeckt ist (Abb. 2b). Die Regionen mit mehreren stabilen Zuständen zeichnen sich durch ein mittleres Feuerregime aus, ein geringeres Aufkommen von Feuern führt zu stabilen Waldökosystemen und ein höheres Brandaufkommen zu stabilen Wiesenflächen oder Savannen.

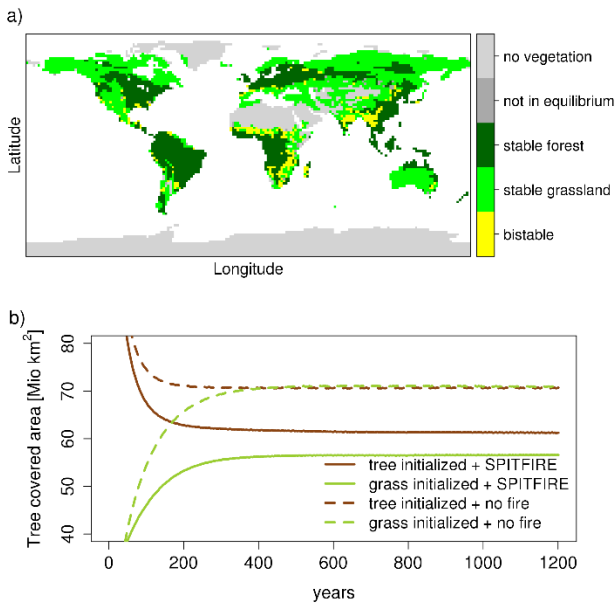


Abbildung 2: Modellsimulationen mit JSBACH-SPITFIRE: Die Vegetation in Savannen ist bistabil, vorwiegend in Afrika und Asien (a). Die globale Fläche mit Waldbedeckung in Simulationen, gestartet mit Gräsern und Bäumen, konvergiert, wenn Feuer nicht berücksichtigt wird (b, gestrichelte Linien). Wenn Feuer als interaktiver Prozess integriert wird, ist die globale Waldbedeckung in der Simulation niedriger, welche Wiesenflächen berücksichtigt (b, durchgezogene Linien).

Für die boreale Zone zeigt das Modell JSBACH-SPITFIRE bisher keine Zustände mit mehreren stabilen Gleichgewichten. Die Mechanismen, die dazu in dieser Region führen, sind nicht ausreichend verstanden und werden wahrscheinlich in globalen Modellen noch nicht dargestellt. Beniamino Abis und Victor Brovkin (2017) analysierten Satelliten-Vegetations-Datensätze mit einer Reihe von Datensätzen zu Umweltbedingungen wie Temperatur, Bodenfeuchte, Permafrost usw. Überraschenderweise fanden sie sowohl in Nordamerika als auch in Eurasien eine Reihe von Regionen, in denen sich die Baumbedeckung trotz gleicher Umweltbedingungen deutlich voneinander unterscheidet (Abb. 3). Diese Regionen, mit einer Fläche von 1,1 Millionen km², identifizierten sie als potenzielle multistabile Regionen, die abrupt Baumbedeckung verlieren und hinzugewinnen könnten. Darüber hinaus fanden sie heraus, dass Störungen durch Feuer, in Kombination mit ihren Auswirkungen auf die Umwelt, eine entscheidende Rolle spielen können. "Die Satellitendaten zeigen eine Möglichkeit für eine viel größere Rolle von Feuer auf boreale Wälder als in den Erdsystemmodellen dargestellt wird", schlussfolgert Beniamino Abis.

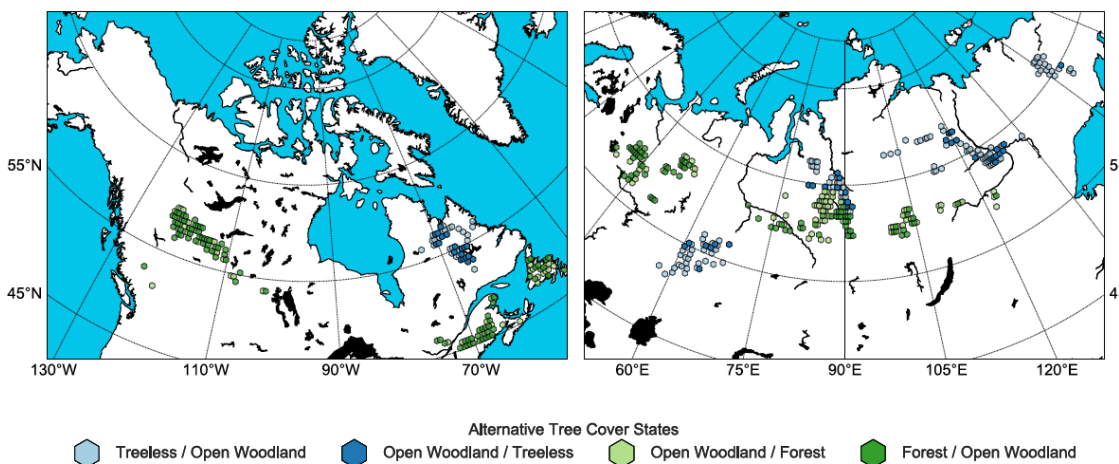


Abbildung 3: Mögliche alternative Baumbedeckungszustände über Nordamerika (links) und Nord-Eurasien (rechts). Legende: Die erste Bezeichnung bezieht sich auf den beobachteten Vegetationszustand in einer bestimmten Gitterzelle, die zweite Bezeichnung entspricht dem möglichen alternativen Zustand, der anderswo unter den gleichen Umweltbedingungen vorgefunden wurde.

Die Auswirkungen von mehreren stabilen Gleichgewichtszuständen der Vegetation, z. B. die beschleunigte Änderungsrate beim Wechsel von einem stabilen Zustand in einen anderen und die Abhängigkeit von Anfangsbedingungen, sind wichtige Eigenschaften für die Widerstandsfähigkeit und das Management von Ökosystemen. Eine bessere Darstellung und ein verbessertes Verständnis der Vegetationsdynamik, vor allem im Hinblick auf den Klimawandel, sind daher nicht nur für die Modelleistung wichtig. Beide können auch zu einer besseren Anpassung des Menschen und zur Abschwächung der Auswirkungen des Klimawandels beitragen. "Das Außerachtlassen dieser nichtlinearen Effekte in Erdsystemmodellen unterschätzt die Auswirkungen des Klimawandels auf die Vegetation", fasst Gitta Lasslop zusammen.

Referenzen:

Hirota, M., Holmgren, M., Van Nes, E.H. & Scheffer, M. (2011) Global Resilience of Tropical Forest and Savanna to Critical Transitions. *Science*, 334, 232–235.

Scheffer, M., Hirota, M., Holmgren, M., Van Nes, E.H. & Chapin, F.S. (2012) Thresholds for boreal biome transitions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, 21384–9.

Staver, A.C., Archibald, S. & Levin, S.A. (2011) The Global Extent and Determinants of Savanna and Forest as Alternative Biome States. *Science*, 334, 230–232.

Veröffentlichungen:

Lasslop, G., Brovkin, V., Reick, C., Bathiany, S. & Kloster, S. (2016). Multiple stable states of tree cover in a global land surface model due to a fire-vegetation feedback. *Geophysical Research Letters*, 43, 6324-6331 , [doi:10.1002/2016GL069365](https://doi.org/10.1002/2016GL069365).

Abis, B. & Brovkin, V. (2017). Environmental conditions for alternative tree-cover states in high latitudes. *Biogeosciences*, 14, 511-527 , [doi:10.5194/bg-14-511-2017](https://doi.org/10.5194/bg-14-511-2017).

Kontakt:

Dr. Gitta Lasslop
Max-Planck-Institut für Meteorologie
Jetzt: Senckenberg Biodiversity and Climate Research Centre
E-Mail: gitta.lasslop@mpimet.mpg.de

Prof. Victor Brovkin
Max-Planck-Institut für Meteorologie
Tel.: 040 41173 339
E-Mail: victor.brovkin@mpimet.mpg.de



Beniamino Abis
Max-Planck-Institut für Meteorologie
Tel.: 040 41173 353
E-Mail: beniamino.abis@mpimet.mpg.de

Dr. Silvia Kloster
Max-Planck-Institut für Meteorologie
Tel.: 040 41173 324
E-Mail: silvia.kloster@mpimet.mpg.de