



automatische Generierung solcher Drahtmodelle aus Punktwolken ist derzeit Gegenstand aktueller Grundlagenforschung.

Literaturhinweise:

- [1] <https://gis.wzw.tum.de/Waldwolke/wald-digital> [2] <https://tu-muenchen.maps.arcgis.com> [3] <https://www.unrealengine.com>



Dr. Martin Döllerer
doellerer@tum.de

und **Sebastian Kienlein** sind wissenschaftliche Mitarbeiter am Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung, **Kai Bödeker** Doktorand an derselben Professur.

Abb. 4: Das KRoof Gelände, visualisiert mit Hilfe der Unreal Engine.

Quelle: TUM

Das Potenzial der Agroforstwirtschaft zur Wiederbewaldung

Die Widerstandsfähigkeit von tropischen Landschaften ist der Schlüssel zur Sicherung der lokalen Lebensgrundlagen, zum Erhalt der Biodiversität und zur Bekämpfung des Klimawandels. In diesem Beitrag beleuchten wir das Potential von Agroforstwirtschaft zur Stärkung der Stabilität von Landnutzungssystemen an der Grenze von Agrar- und Waldlandschaften.

TEXT: ESTHER REITH, ELIZABETH GOSLING, THOMAS KNOKE, CAROLA PAUL

Regenwälder stehen unter zunehmendem Druck durch sich verändernde biotische und abiotische Umweltfaktoren und Einflüsse, die vor allem auf Änderungen der Landnutzung und den Klimawandel zurückzuführen sind [1]. Tropische Regenwälder sind noch immer hohen Entwaldungsraten ausgesetzt [3]. Die abrupte Umwandlung von Regenwäldern zu Agrarlandschaften führt dazu, dass bereitgestellte Ökosystemfunktionen (wie Bodenfruchtbarkeit) genutzt werden können für die Lebensmittelpro-

duktion, während es gleichzeitig zum Verlust von anderen Ökosystemleistungen führt (z. B. von biodiverserem Lebensraum für Flora und Fauna, Klimaregulierung) [13].

Sozial-ökologische Resilienz in einer sich ändernden Welt

Entwaldung, Landnutzungsintensivierung und damit verbundene Landdegradierung können sehr nachteilige vorhersehbare und unvorhersehbare Folgen für die Landschaft und Lebens-

grundlage der einheimischen Bevölkerung haben. Die Widerstands- und Anpassungsfähigkeit oder Resilienz von Ökosystemen gegen Störungen durch Mensch und Natur (z. B. extremen Wetterereignissen) sind daher zu zentralen Themen weltweit geworden. Dies wird z. B. durch die „Sustainable Development Goals“ der Vereinten Nationen (Ziele für Nachhaltige Entwicklung, Abb. 1) deutlich, welche sich implizit und explizit dieser Herausforderung aus ökologischer und sozioökonomischer Sicht stellen [29].

Landwirtschaftlich genutzte Flächen sind (Agro-)Ökosysteme, die soziale und ökologische Systeme integrieren [9, 13]. Demnach dient das ökologische System der Produktion von Nahrungsmitteln und Rohstoffen und umfasst kulturelle, politische, technologische und wirtschaftliche Aspekte [13]. Agroökosysteme sind ständigen Störungen durch Bewirtschaftung ausgesetzt. Anhaltender Druck aufgrund von sozialen und umweltbedingten Veränderungen wie Bevölkerungswachstum, Klimawandel, Landdegradierung und Biodiversitätsverlust verstärken diese Störungen und können diese Systeme aus dem Gleichgewicht bringen, mit unerwünschten Folgen für den Menschen [18].

Jedoch kann mit dem richtigen Management eine bewusste Transformation zu einem widerstandsfähigeren Ökosystem, das kritische Ökosystemleistungen auch bei Störungen bereitstellt, möglich sein. Die Widerstands- und Anpassungsfähigkeit von Agroökosystemen wird beeinflusst von abiotischen Faktoren wie Niederschlagsmenge, Häufigkeit von Managementinterventionen und landschaftlicher Vielfalt, sowie biotischen Faktoren wie Wurzeltiefe und Pflanzenvielfalt [18]. Die konventionelle, kommerzielle Landwirtschaft versucht vor allem über den Einsatz von Dünger, Pestiziden, Energie und Bewässerung die Stabilität des Systems aufrecht zu erhalten, was jedoch Einbußen bei der Anpassungsfähigkeit zur Folge hat [13].

Dagegen steht der sozial-ökologische Resilienz-Ansatz, der durch wiederholtes Anpassen von Zielen und Maßnahmen dazu führen soll die Funktionen eines Ökosystems im Angesicht von ökologischen und sozioökonomischen Veränderungen und Herausforderungen im Wesentlichen beizubehalten [13, 22]. Das Resilienz-Konzept ist vielseitig einsetzbar und damit durch unterschiedliche Definitionen geprägt [22]. In diesem Artikel beziehen wir uns darauf, dass nicht die Stabilität zur Maximierung des Ertrags entscheidend ist, sondern ein im Extremfall garantierter Ertrag [13]. Das bedeutet, dass das landwirtschaftliche System so bewirtschaftet wird, dass es Veränderungen absorbiert und dabei im Wesentlichen die gleichen Ökosystemleistungen bereitstellen kann. Vielfalt kann dazu beitra-



Abb. 1: Die 17 Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals [29])

Grafik: Vereinte Nationen

gen die Anpassungsfähigkeit von Agroökosysteme auf unvorhersehbare Ereignisse und Schocks zu erhöhen [9, 13].

Wiederherstellung von walddreichen Landschaften

In den letzten Jahrzehnten haben Regierungen auf der ganzen Welt zu Initiativen für den Erhalt und die Wiederherstellung von Wäldern beigetragen und sich verpflichtet, den negativen Auswirkungen der Entwaldung entgegenzuwirken [26]. Aktuell wurde 2021 bis 2030 zur UN Dekade der Wiederherstellung von Ökosystemen proklamiert [8]. Eine der größten weltweiten Waldrestaurierungsinitiativen ist die „Bonn Challenge“ mit dem Ziel, 350 Mio ha entwaldeter und degradierter Fläche bis 2030 wiederherzustellen (Abb. 2 [15]). Diese globale Initiative stützt sich auf eine Strategie zur Wiederherstellung von Wäldern und walddreichen Landschaften (Forest Land-

scape Restoration (FLR)).

Die FLR Strategie zum Waldwiederaufbau ist daran ausgerichtet ökologische und sozioökonomische Forderungen an eine Landschaft gleichermaßen zu berücksichtigen. Daher unterstützt das Konzept die Gestaltung eines Landschaftsmosaiks aus unterschiedlichen Landnutzungs- und Waldrestaurierungsoptionen. Zu diesen Optionen gehören unter anderem kommerzielle Forstplantagen, die natürliche Sukzession bzw. Aufforstung mit einheimischen Arten in hoher Vielfalt und die Wiederansiedlung von einzelnen Bäumen im Rahmen von Agroforstwirtschaft [7]. Um ökologische und sozioökonomische Ziele in Einklang zu bringen wurde Agroforstwirtschaft, also die Kombination von Bäumen und Weideland oder Bäumen und Nutzpflanzen auf derselben Landfläche, als vielversprechende Landnutzungsalternative gefördert [20, 25]. Ausschlaggebend bei der FLR Strategie ist die Einbindung verschiedener Interessensgruppen, was einerseits die Entscheidungsfindung komplexer macht aufgrund möglicher Zielkonflikte, andererseits jedoch entscheidend für den Erfolg von Projekten sein kann [19].

Die Rolle von Agroforstwirtschaft bei der Gestaltung von multifunktionalen Landschaften

Weltweit sind Agroforstsysteme in den Fokus gerückt, aufgrund ihrer potentiellen Fähigkeit zu Ernährungssicherheit und Widerstandsfähigkeit von Ökosystemen beizutragen [21]. Agroforstsysteme sind keine neue Landnutzungsform und sind in Deutschland vor

Schneller ÜBERBLICK

- » **Wiederherstellung von Waldlandschaften (Forest Landscape Restoration)** ist eine Schlüsselstrategie für die Widerstandsfähigkeit sozial-ökologischer Systeme in den Tropen.
- » **Agroforstwirtschaft kann die Bereitstellung** von Ökosystemleistungen verbessern und gleichzeitig die Bedürfnisse der lokalen Landwirte erfüllen.

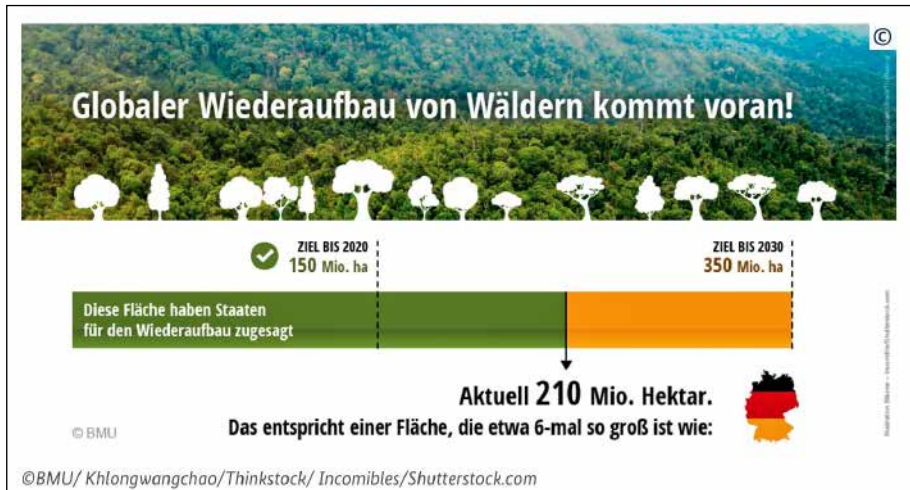


Abb. 2: Die globale Waldrestaurationsinitiative „Bonn Challenge“ hat bereits dazu beigetragen 210 Mio ha Wälder und walddreiche Landschaften wieder herzustellen [5]

allem in Form von Kurzumtriebsplanta- gen, Streuobstwiesen und Waldweiden bekannt [12], während zum Beispiel im tropischen Lateinamerika Tierhaltung auf Weide-Flächen mit der Kultivierung von Gehölzen (silvopastorale Systeme) und beschattete Baumfrucht-Systeme wie Kaffee dominieren [28].

Im Zuge der Wiederherstellung von Ökosystemleistungen in degradierten tropischen Landschaften spielen Agroforstsysteme eine besondere Rolle bei der Gestaltung von multifunktionalen Landschaften [26]. Agroforstsysteme können einen Beitrag leisten, um ökologische Ziele zu erreichen und gleichzeitig die landwirtschaftliche Produktion aufrechtzuerhalten. Einige ökologische Vorteile von Agroforstsystemen sind zum Beispiel Kohlenstoffspeicherung, Verbesserung der langfristigen Bodenproduktivität, und Bereitstellung oder Verbindung von Lebensräumen für einige Arten [16]. In einer aktuellen durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft finanzierte Studie zum Potential von Agroforstsystemen an der Entwaldungsgrenze in Panama wurde festgestellt, dass die Einbeziehung großer Anteile der Agroforstwirtschaft (41 % Landschaftsanteil) in einem optimierten Mix von Waldrestaurationsoptionen die simulierte Bereitstellung von Ökosystemleistungen verbesserte [26]. Arroyo-Rodríguez und Kollegen empfahlen sogar einen Anteil von 60 % produktiver gemischter Landnutzungsformen (wie Agroforstwirtschaft) und 40 % Naturwald um ökologische und sozio-ökonomische Anforderungen zu erfüllen [2]. Mit dem richtigen Manage-

ment zur Abmilderung des Wettkampfs um Ressourcen für das Pflanzenwachstum kann das Etablieren von Bäumen auf Agrarflächen die Erträge im Vergleich zu intensiv genutzten Monokulturen steigern [25]. Aufgrund der höheren Landnutzungsdiversifikation können Landwirte Widerstandsfähigkeit in ihre Wertschöpfungskette einbauen und dadurch wirtschaftliche Schwankungen aufgrund von Markt- oder Umweltentwicklungen besser ausgleichen [25, 30]. Somit ist das Einkommen der Landwirte aus Agroforstwirtschaft eventuell stabiler aufgrund der verschiedenen Produkte [6]. Gosling und Kollegen zeigten im bereits erwähnten Untersuchungsgebiet

„Agroforstwirtschaft kann zu einer stabilen Versorgung mit Öko-systemleistungen in Agrarland-schaften beitragen und gleichzeitig Lebensgrundlagen sichern.“

ESTHER REITH

in Panama, dass die Integration von Agroforstsystemen im Landnutzungsmix Landwirten dabei helfen kann verschiedene Zielsetzungen, z.B. Nahrungsmittelsicherheit, kurzfristiges und langfristiges Einkommen, wirtschaftliche Stabilität etc. gleichzeitig zu erreichen [10, 11].

Dennoch besteht gleichzeitig eine hohe Unsicherheit bezüglich der erfolgreichen Etablierung von Agroforstsystemen und der Vermarktungsaussichten [6]. Zum Beispiel können Kulturpflanzen und Bäume in Konkurrenz um Licht, Wasser und Nährstoffe stehen, sodass negative Effekte die Synergieeffekte überwiegen [27]. Somit kann ein Baumbestand auch häufig zur Verminderung der Nahrungsmittelproduktion führen [25]. Außerdem beeinflussen biophysikalische, sozioökonomische und politische Aspekte, sowie die Risikoaversion der Landwirte die Attraktivität von Agroforstsystemen [10].

Landnutzungsdiversifizierung muss aber nicht unbedingt auf derselben Bodenparzelle stattfinden, sondern kann auch auf der Landschaftsebene zu den gewünschten Effekten von Risikoreduzierung und erhöhter Widerstandsfähigkeit beitragen [23]. Das Forscherteam um Paul hat in einer Studie festgestellt, dass Diversifizierung von landwirtschaftlichen Kulturen und Waldstücken auf getrennten Flächen von 5 bis 10 ha Größe ebenfalls ökologische Vorteile mit sich bringt und dabei die Bewirtschaftungskomplexität reduziert [23]. Unter Umständen können Landwirte somit noch besser Diversifikations- und Verbundeffekte nutzen im Vergleich zu Agroforstsystemen [23]. Solche Landnutzungskonzepte werden auch als „compartment approach“ bezeichnet, was zum Ziel hat die landwirtschaftliche Nutzung nachhaltig zu intensivieren und Produktion zu steigern, während Wälder geschützt und entlastet werden können [17]. Zum Beispiel kann die Landwirtschaft nachhaltig intensiviert werden in Form von hochintensiver, kurzzeitiger Beweidung, um eine angemessene Erholung der Weideflächen zu ermöglichen [13]. Ein weiteres Konzept, dass intensive Landnutzung zum Schutz von Wäldern vorsieht, ist das „land sparing“ Konzept. Hierbei handelt es sich jedoch in der Regel um intensivste konventionelle Landwirtschaft auf der kleinstmöglichen Fläche



Abb. 3a: Agroforstsystem in Panama mit Nutzpflanzen

während die größtmögliche natürliche Fläche geschützt wird [24].

Je nach den lokalen Gegebenheiten lassen sich die verschiedenen Landnutzungs-konzepte kombinieren. Zum Beispiel lässt sich das Konzept des Zonierens in intensive, extensiv und ungenutzte Waldgebiete aus der nachhaltigen Forstwirtschaft [4] auch auf eine Landschaftsmatrix inklusive landwirtschaftlich genutzter Flächen übertragen [17]. Dabei können intensive land- und forstwirtschaftliche Systeme, neben Agroforstsystemen und geschützten Wäldern bestehen, um ökologische

Literaturhinweise:

download des Literaturverzeichnisses unter www.forstpraxis.de oder in der digitalen Ausgabe von AFZ-DerWald (www.digitalmagazin.de).

und sozioökonomische Zielsetzungen zu erfüllen, sowie Anpassungs- und Widerstandsfähigkeit zu gewährleisten. Wichtig für den Erfolg von Aufforstungsprojekten jeder Art ist die Einbeziehung der Interessensgruppen vor Ort und Identifizierung ihrer Ziele und Bedürfnisse [14].

Schlussfolgerungen

Eine erfolgreiche Wiederherstellung von waldreichen Landschaften an der Übergangszone zwischen Regenwald und Agrarlandschaft hinterlässt ein Ökosystem, das widerstandsfähig gegen Störungen ist und eine stabilere Bereitstellung von Ökosystemleistungen ermöglicht. Für eine zielführende Gestaltung von waldreichen Landschaften in sozial-öko-



Foto: E. Gosling

Abb. 3b: Agroforstsystem in Panama mit Nutztieren

logischen Systemen müssen jedoch vor allem die Bedürfnisse der Landbesitzer und der lokalen Bevölkerung berücksichtigt werden. Andernfalls laufen Aufforstungsprojekte Gefahr nicht zielführend umgesetzt zu werden. Als Teil von Landnutzungsstrategien zur Wiederherstellung von waldreichen Landschaften kann die Agroforstwirtschaft eine wichtige Rolle dabei spielen die Resilienz von Agroökosystemen zu erhöhen, da sie ökologisch vielversprechend sind und gleichzeitig produktiv.



Esther Reith

esther.reith@tum.de

und **Elizabeth Gosling** sind Doktorandinnen am Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung an der Technischen Universität München. **Prof. Dr. Thomas Knoke** leitet das Fachgebiet für Waldinventur und nachhaltige Nutzung. **Prof. Dr. Carola Paul** ist Leiterin der Abteilung Forstökonomie und nachhaltige Landnutzungsplanung an der Georg-August-Universität Göttingen.