



Zur Machbarkeit eines weltweiten Aufforstungsprogramms

Eine Kurzstudie

Bernhard Felbermeier

Michael Weber

Reinhard Mosandl

4. April 2016

Lehrstuhl für Waldbau

Technische Universität München

Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 2

85354 Freising

www.waldbau.wzw.tum.de

Inhalt

1	Hintergrund der Studie und Vorgehensweise.....	1
2	Beantwortung der Fragen	2
2.1	Wieviel CO ₂ kann in welchen Zeiträumen ab Beginn des Aufforstungsprogramms ohne künstliche Bewässerung gebunden werden?	2
2.2	Ist es praktisch möglich, mit waldbasierten Maßnahmen eine Größenordnung von mittelfristig 7 bis sogar 15 Mrd. Tonnen CO ₂ p.a. der Atmosphäre zu entziehen?	3
2.3	Welche Gebiete sollen prioritär aufgeforstet werden?	4
2.4	Wie groß ist die geeignete Gesamtfläche zur (Wieder-)Aufforstung in den Tropen oder in Tropennähe?	6
2.5	Kann man aride oder semiaride Zonen in Wald verwandeln?	7
2.6	Ist der Albedo-Effekt so stark, dass er die Wärmereduktionswirkung der CO ₂ -Entlastung bei „Wüstenaufforstung“ wesentlich aufhebt?	8
2.7	Kann man mit relativ einfachen, kostengünstigen waldbaulichen Mitteln den Kohlenstoffvorrat in den vorhandenen Wäldern so steigern, dass der Biomassevorrat in der Vegetation und der Wald-Bodenkohlenstoff nachhaltig zunehmen und einen fühlbaren C-Akkumulations-Effekt erzeugen?	8
2.8	Welche weiteren positiven Effekte sind zu erwarten bzw. durch Art der Aufforstung zu forcieren (Biodiversität, Wasser, Böden, Biomasse)?	10
2.9	Welche jährlichen Kosten sind maximal aufzubringen, um die gewünschten Effekte zu erzielen (Land, Bäume, Arbeitskräfte, Maschinen, Information der Bevölkerung vor Ort, Monitoring)?	11
2.10	Lässt sich viel auf investiver, also in sich rentabler Basis erreichen?	13
2.11	Wieviel € Investitionssumme müssten für diesen Ansatz mobilisiert werden?	14
2.12	Welche Strukturen müssen geschaffen werden, um die finanziellen Mittel zielgerecht zu verwalten und zu verteilen?	14
2.13	Wie wird vor Ort die fachgerechte Umsetzung gesichert, welche Strukturen/Organisationen sorgen für ein Monitoring auf den Flächen und verhindern den Verlust des aufgeforsteten Waldes durch illegale Rodungen?	15
2.14	Was ist an Unterstützung bzw. politischem oder sozialem Widerstand zu erwarten, wie wird die Partizipation der gesellschaftlichen Akteure in den betroffenen Gebieten sichergestellt?	16
2.15	Welche Formen der nachhaltigen Waldnutzung sind in den aufgeforsteten Gebieten künftig möglich und wer profitiert davon?	17
3	Aus der Studie resultierende Schlussfolgerungen	17
4	Empfehlungen für politische Entscheidungsträger	19
5	Literatur.....	20

1 Hintergrund der Studie und Vorgehensweise

Ziel der internationalen Gemeinschaft ist es, die Emission von Treibhausgasen zu reduzieren (United Nations, 2015¹). Pro Einheit des Weltsozialproduktes wird heute zwar 25% weniger CO₂ als im Jahr 1990 emittiert, doch wird dieser Fortschritt durch die steigende Weltbevölkerung und das Wirtschaftswachstum marginalisiert. Infolgedessen steigen die Emission und damit auch die Konzentration der Treibhausgase in der Atmosphäre weiterhin unverändert an. Nach Einschätzung der internationalen Gemeinschaft ist das 2°C Ziel daher nur zu erreichen, wenn der Atmosphäre in Zukunft auch aktiv CO₂ entzogen wird. Die Vereinten Nationen fordern daher neben einem Stopp der Entwaldung als Sofortmaßnahme großflächige Aufforstungen sowie eine Erhöhung der C-Vorräte in den existierenden Wäldern, um ab Mitte des 21. Jahrhunderts der Atmosphäre CO₂ in wirksamer Weise entziehen zu können (United Nations, 2014, 2015).

Diese Strategie baut auf einem natürlichen Mechanismus der Erde auf, welcher den Kohlenstoffgehalt der Biosphäre und Atmosphäre in einem dynamischen Gleichgewicht hält. Wälder und Ozeane sind dabei natürliche Kohlenstoffspeicher und entziehen der Atmosphäre CO₂. Aktuell sind dies 10 Mrd. t CO₂ p.a. durch Wald bzw. knapp 10 Mrd. t CO₂ p.a. durch Ozeane, also in der Summe rund 20 Mrd. t CO₂ p.a. In der Atmosphäre verbleiben dadurch „nur“ rund 16 Mrd. t von insgesamt 36 Mrd. jährlicher CO₂-Emission aus anthropogenen Quellen (Öl, Gas, Kohle, Waldzerstörung). Diese 16 Mrd. t p.a. tragen zur weiteren Klimabelastung bei (Le Quéré et al., 2015). Würde man durch Energieeinsparungen einerseits und bewusste Aufforstungen sowie weitere waldbasierte Maßnahmen andererseits die jährliche Lücke von 16 Mrd. t p.a. schließen können, würde der CO₂-Anteil in der Atmosphäre nicht mehr weiter ansteigen. Eine CO₂-neutrale Lebens- und Wirtschaftsweise der Menschheit wäre möglich. Das Ziel einer treibhausneutralen Weltwirtschaft, wie sie auf der Klimakonferenz in Paris im Dezember 2015 erst für das Jahr 2050 anvisiert ist, sollte aus Gründen der Vermeidung ganz erheblicher Klimarisiken viel eher vorbereitet und auch implementiert werden.

Weltweit existieren bereits heute große, häufig ungenutzte Flächen, welche für Aufforstungen geeignet wären. Neben ihrer potentiellen Bedeutung für den Abbau der zu hohen Treibhausgaskonzentration bergen sie auch ein hohes wirtschaftliches Potenzial – lokal wie international. Der im großen Stil biologisch fixierte und im Holz gespeicherte Kohlenstoff könnte bei einer nachhaltigen Bewirtschaftung als Rohstoff mit neutraler CO₂-Bilanz genutzt werden. Insbesondere der Einsatz langlebiger Holzprodukte kann einen wichtigen Beitrag zur Dekarbonisierung der gegenwärtigen Wirtschaftsweise leisten.

Deutschland könnte eine Vorreiterrolle übernehmen, da es über modernstes Knowhow in der Forst- und Holzwirtschaft verfügt und die Bildungseinrichtungen besitzt, das erforderliche Fachpersonal hier wie in aller Welt vor Ort auszubilden. Dabei ergeben sich beispielsweise auch eine Reihe wirtschaftlich positiver Effekte für Deutschland. Der Aufbau einer nachhaltigen Waldwirtschaft in den Aufforstungsgebieten könnte zur gesellschaftlichen Stabilisie-

¹ Siehe Literaturverzeichnis auf Seite 20

rung in den Regionen beitragen und die Migration verringern. Bereits kurzfristig bieten sich Einkommensquellen für forstlich gut ausgebildete Dienstleister aus Europa. Mittelfristig können Investitionen in modernste Holzerntetechnik, Logistik und Holzverarbeitungskapazitäten sich positiv z.B. für den Maschinenbau in Europa auswirken.

Der *Lehrstuhl für Waldbau* der Technischen Universität München untersucht seit über zwei Jahrzehnten weltweit die Rolle der Wälder und der Forstwirtschaft im globalen Kohlenstoffkreislauf. Auf Anregung der Stiftung *Forum für Verantwortung* und der Initiative *Primaklimaweltweit* e.V. wurde vom Lehrstuhl für Waldbau im Rahmen der hier vorgestellten Kurzstudie untersucht, inwieweit ein weltweites Aufforstungsprogramm zur Reduzierung der Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre machbar wäre.

In Abstimmung der Projektpartner wurden zu untersuchende Fragen formuliert, welche für den politischen Entscheidungsprozess wichtige Aspekte eines weltweiten Aufforstungsprogrammes abdecken. Die Beantwortung der Fragen erfolgt auf Grundlage einer Literaturanalyse, welche den aktuellen Wissensstand sichtet. Hierzu wurden elektronische Suchverfahren in wissenschaftlichen Bibliotheken und Verlagsdatenbanken eingesetzt. Ergänzend wird auf Datenmaterial und Erfahrungswissen aus den weltweiten Aufforstungsprojekten des Lehrstuhls für Waldbau zurückgegriffen.

2 Beantwortung der Fragen

2.1 Wieviel CO₂ kann in welchen Zeiträumen ab Beginn des Aufforstungsprogramms ohne künstliche Bewässerung gebunden werden?

Woodward et al. (2009) verglichen das globale CO₂-Bindungspotential verschiedener biotischer Kompensationsmaßnahmen. Die Wirkung von Aufforstungen wurde hierbei durch die Kopplung eines globalen Klimamodells mit einem globalen Vegetationsmodell unter der Annahme eines business-as-usual CO₂-Emissionsszenarios bewertet. Die Autoren kommen in einer theoretischen Modellrechnung zu dem Ergebnis, dass bei einer sofortigen Aufforstung aller für Wald geeigneten Flächen, d.h. auch der landwirtschaftlichen Flächen im Jahr 2000 innerhalb von 50 Jahren zusätzlich 620 Mrd. t CO₂ unter Berücksichtigung natürlicher geophysikalischer und -chemischer Rückkopplungsmechanismen gebunden werden könnten. Eine Prognose über das Jahr 2050 hinaus wird ausgeschlossen, da die Klimamodelle hierzu keine belastbaren Aussagen liefern.

In einem methodisch anderen Ansatz simulierten Thomson et al. (2008) den Verlauf und die Wirkung von Aufforstungen unter Berücksichtigung technologischer und sozioökonomischer Restriktionen. Bei einer Wiederbewaldung aller derzeit verfügbaren Flächen könnten in 100 Jahren 440 Mrd. t CO₂ gespeichert werden. Durch die zu erwartende Ausweitung der Nahrungsmittelproduktion würde dieser Wert jedoch auf kumulative 290 Mrd. t CO₂ im Jahr 2100 reduziert, wobei das Maximum der Speicherung Mitte des 21. Jahrhunderts zu erwarten ist.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Nilsson und Schopfhauser (1995) auf Grundlage eines forstlichen Produktionsmodells. Unter der Annahme realistisch aufforstbarer Flächen können im Zeitraum 1995 bis 2095 bis zu 380 Mrd. t CO₂ gespeichert werden. Das Maximum der Speicherung mit 5,5 Mrd. t CO₂ pro Jahr wird auch hier in der Mitte des Jahrhunderts erwartet.

Ein globales Aufforstungsprogramm ohne künstliche Bewässerungsmaßnahmen kann in einem Zeitraum von 100 Jahren unter Berücksichtigung der erforderlichen Nahrungsmittelproduktion eine Speicherleistung zwischen 300 und 400 Mrd. t CO₂ erbringen. Die maximale Bindungsrate wird nach 50 Jahren mit etwa 5 Mrd.t CO₂ p.a. erreicht.

2.2 Ist es praktisch möglich, mit waldbasierten Maßnahmen eine Größenordnung von mittelfristig 7 bis sogar 15 Mrd. Tonnen CO₂ p.a. der Atmosphäre zu entziehen?

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (2007, 2014) gibt auf Grundlage wissenschaftlicher Veröffentlichungen das Potential zur CO₂ Minderung durch waldbasierte Maßnahmen im Jahr 2030 mit bis zu 13,8 Mrd. CO₂ p.a.² an.

Im Einzelnen bestehen folgende Handlungsmöglichkeiten zur CO₂-Minderung:

Schutz vorhandener Waldflächen: In den derzeit noch existierenden Wäldern ist doppelt so viel Kohlenstoff gespeichert wie in der Atmosphäre enthalten ist. Allein durch die Waldzerstörung in den Tropen wurden zwischen 2000 bis 2005 geschätzt 5.3±1.1 Mrd.t CO₂ p.a. emittiert (Harris et al. 2012). Nur ein Erhalt der Waldfläche kann dieses große Kohlenstoffreservoir bewahren. Primärwälder sind gegenüber der Atmosphäre im Wesentlichen CO₂-neutral (Bormann und Likens, 1979; Gower et al., 1996; Odum, 1969). Nach Ansicht einzelner Autoren speichern aber auch sie in gewissem Umfang Kohlenstoff (Luyssaert et al., 2008). Sekundärwälder besitzen hingegen eine starke Senkenwirkung, da sie die gegenüber dem Primärwald abgesenkte Biomasse wieder aufbauen. In tropischen Wäldern erreichen Sekundärwälder durchschnittlich nach 6 bis 7 Jahrzehnten wieder 90 % des Biomasseniveaus der Primärwälder (Poorter et al., 2016). Canadell und Schulze (2014) gehen für die Zukunft davon aus, dass allein durch den Schutz vorhandener Wälder vor weiterer Umwandlung und Degradation die Atmosphäre um 1,0 bis 2,2 Mrd. CO₂ p.a. entlastet werden kann.

Sanierung degradiertes Wälder: Degradierete Wälder sind Wälder mit anthropogen reduzierter Struktur und Funktion. Die Wiederherstellung ihrer Leistungsfähigkeit kann durch forstliche Aufsicht und waldbauliche Steuerung beschleunigt werden. Dadurch ergeben sich kurzfristig Kohlenstoffbindungseffekte, da in degradierten Wäldern bereits ein produktives Biomassepotential vorhanden ist. Der Bindungseffekt durch eine Anhebung der Kohlenstoffdichte in degradierten Wäldern wird auf durchschnittlich 1,8 Mrd. t CO₂ p.a. geschätzt (Canadell und Raupach, 2008).

² Dieser Wert bezieht sich auf zu erwartende Aufforstungen bei einem CO₂-Preis von bis zu 100 USD/t CO₂. Der aktuelle Preis liegt derzeit bei 4 USD/t CO₂.

Verbessertes Waldmanagement: Die waldbauliche Steuerung von Wäldern ermöglicht die Optimierung der Kohlenstoffbindung: Die Anhebung der Kohlenstoffdichte auf ein für den Holzzuwachs und damit für die Kohlenstoffbindung günstiges Niveau sowie die Nutzung des geernteten Holzes in Form langlebiger Holzprodukte bilden eine äußerst wirksame CO₂-Senke auf wirtschaftlicher Grundlage. Holzprodukte können darüber hinaus eine Vielzahl von Rohstoffen mit negativer CO₂-Bilanz ersetzen und reduzieren dadurch den Einsatz fossiler Energien bei der Herstellung von Wirtschaftsgütern. Daraus generierte Einkommen für die lokale Bevölkerung können zudem zum Erhalt der Waldfläche beitragen. Bei der Umsetzung dieses Konzeptes ist eine wohl überlegte und wissenschaftlich fundierte Herangehensweise notwendig: Werden beispielsweise sehr alte Primärwälder direkt in Wirtschaftswald mit neuer Baumartenzusammensetzung überführt, droht die Freisetzung von Kohlenstoff (Weber, 1999). Werden bedrohte Primär- und Sekundärwälder hingegen extensiv naturnah bewirtschaftet, kann unter Erhalt der natürlichen Biodiversität die Senkenwirkung auf großer Fläche gezielt geregelt werden. Belastbare globale Schätzungen, in welchem Umfang die Atmosphäre durch diese Maßnahmen entlastet werden könnte, liegen derzeit noch nicht vor.

Aufforstung: Würden ohne Berücksichtigung anderer Aspekte alle für Wald geeigneten Landflächen sofort aufgeforstet, so könnten in den nächsten 50 Jahren der Atmosphäre unter Berücksichtigung natürlicher Rückkopplungseffekte durchschnittlich 13 Mrd. t CO₂ p.a. entzogen werden (Woodward et al., 2009). Wie in den Ergebnissen zu Frage 1 bereits dargestellt kann dieser Wert unter Berücksichtigung sozioökonomischer Aspekte in den nächsten 50 Jahren maximal 5 Mrd. t CO₂ p.a. erreichen. Eine Erhöhung des Speichervermögens ist nur durch künstlich bewässerte Aufforstungen in von Natur aus zu trockenen Gebieten (Wüsten und Halbwüsten) denkbar. Hypothetische Schätzungen des Potentials für eine sofortige Aufforstung der Sahara und des Australischen Outback liegen bei durchschnittlich 27 Mrd. t CO₂ p.a. in den ersten 10 Jahren und durchschnittlich 5 Mrd. t CO₂ p.a., wenn die Aufforstung ohne weitere Nutzung bis zum Jahr 2100 fortbesteht (Keller et al., 2014). Sollte es technisch wie organisatorisch möglich sein, diese Gebiete aufzuforsten, ergäbe sich bereits kurzfristig ein außerordentlich hohes Bindungspotential.

Die Atmosphäre kann durch waldbasierte Maßnahmen im Umfang von 6 bis 9 Mrd. t CO₂ p.a. entlastet werden. Davon entfallen auf die Vermeidung von Waldverlusten/-degradierung 1 bis 2 Mrd. t CO₂ p.a., auf die Sanierung degradierter Wälder 1 bis 2 Mrd. t CO₂ p.a. und auf die Aufforstung 4 bis 5 Mrd. t CO₂ p.a. Hinzu kommen derzeit noch nicht abschätzbare Potentiale durch ein modernes nachhaltiges Wald- und Holzmanagement mit substantiellen Substitutionseffekten sowie die Möglichkeiten der Wüstenaufforstung.

2.3 Welche Gebiete sollen prioritär aufgeforstet werden?

Im Hinblick auf die klimatische Wirksamkeit von Aufforstungen existieren auf der Erde sehr unterschiedliche Bedingungen. Maximalwerte der Biomasseproduktion je Flächeneinheit werden in den humiden Tropen, gefolgt von den gemäßigten Breiten erreicht. Bezieht man die potentiell verfügbaren Aufforstungsflächen in die Betrachtung mit ein, d.h. multipliziert

man die flächenbezogenen Produktionswerte mit den verfügbaren Flächen, so können in den humiden Tropen, den gemäßigten Breiten und dem Boreal vergleichbare Bindungspotentiale für CO₂ identifiziert werden. Neben dem Bindungspotential müssen jedoch auch veränderte Reflexions-, Rauigkeits- und Transpirationseigenschaften aufgeforsteter Landflächen mit den sich daraus ergebenden Rückkopplungseffekten berücksichtigt werden. Diese Erkenntnisse wurden bislang vorwiegend aus globalen Simulationsstudien gewonnen. Demzufolge führen Aufforstungen im Boreal zu einer Erwärmung, bleiben in den gemäßigten Breiten ohne wesentlichen Einfluss und tragen in den humiden Tropen eher zu einer Abkühlung bei (Wang et al., 2014; Woodward et al., 2009). Neueste Auswertungen globaler Messdaten aus dem Zeitraum 2003 bis 2012 ergeben ein genaueres Bild (Alkama und Cescatti, 2016): Die mittlere oberflächennahe Lufttemperatur über der Vegetationsoberfläche nimmt bei Wiederbewaldung grundsätzlich ab. Lediglich im Boreal ist in den Wintermonaten ein genereller Temperaturanstieg zu beobachten. Ausnahme bilden die Minimumtemperaturen, welche im Boreal und in den gemäßigten Breiten geringfügig höher liegen (Abbildung 1).

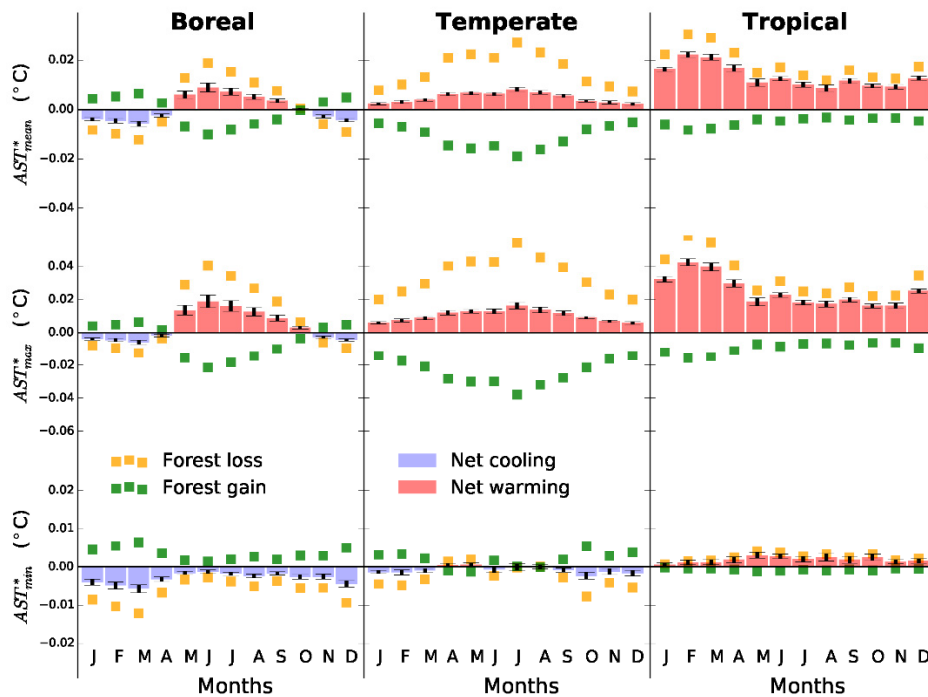


Abbildung 1 Einfluss von Entwaldung und Aufforstung auf die oberflächennahe Lufttemperatur über der Vegetationsoberfläche (AST = Air Surface Temperature, mean = Mittel, max = Maximum, min = Minimum). Die durchschnittlich beobachtete Temperaturänderung bei Wiederbewaldung ist durch grüne Quadrate gekennzeichnet (verändert nach A. Cescatti, persönliche Mitteilung vom 1. April 2016)

Aufforstungen in den gemäßigten Breiten und in den humiden Tropen wirken sich daher positiv für das Klima aus. Das Boreal ist neu zu bewerten, wenn dort durch die Klimaerwärmung die Schneebedeckung zukünftig abnimmt. Der höheren Produktivität in den Tropen steht in den gemäßigten Breiten meist ein geringeres Produktionsrisiko durch eine leistungsfähige Forstaufsicht gegenüber.

Aufforstungen sollten prioritär in den humiden Tropen und in den gemäßigten Breiten erfolgen.

2.4 Wie groß ist die geeignete Gesamtfläche zur (Wieder-)Aufforstung in den Tropen oder in Tropennähe?

Die Schätzung von (Wieder-)Aufforstungsflächen ist abhängig von der Walddefinition (z.B. FAO³, UNFCCC⁴, CDM-AR⁵). In einer globalen Analyse der Non-Annex I Staaten des Kyoto-Protokolls und damit der bedeutendsten (sub)tropischen Waldregionen bewerten Zomer et al. (2008) die (Wieder-) Aufforstungspotentiale in Abhängigkeit vom Kronenbedeckungsgrad, welcher ein wichtiges Kriterium für die Walddefinition bildet. Geht man entsprechend der FAO von Wald ab einem Bedeckungsgrad von 10 % aus und definiert degradierte Wälder mit einem Bedeckungsgrad von 10 bis 30 %, dann lassen sich aus dem Datenmaterial Flächen für die (Wieder-) Aufforstung und Waldsanierung schätzen (Abbildung 2). Demzufolge existieren in den (sub)tropischen Regionen außerhalb von Schutzgebieten 180 Mio. Hektar für die Aufforstung auf natürlichen Waldstandorten und 520 Mio. Hektar, auf denen Wald saniert werden könnte (Zomer et al., 2008).

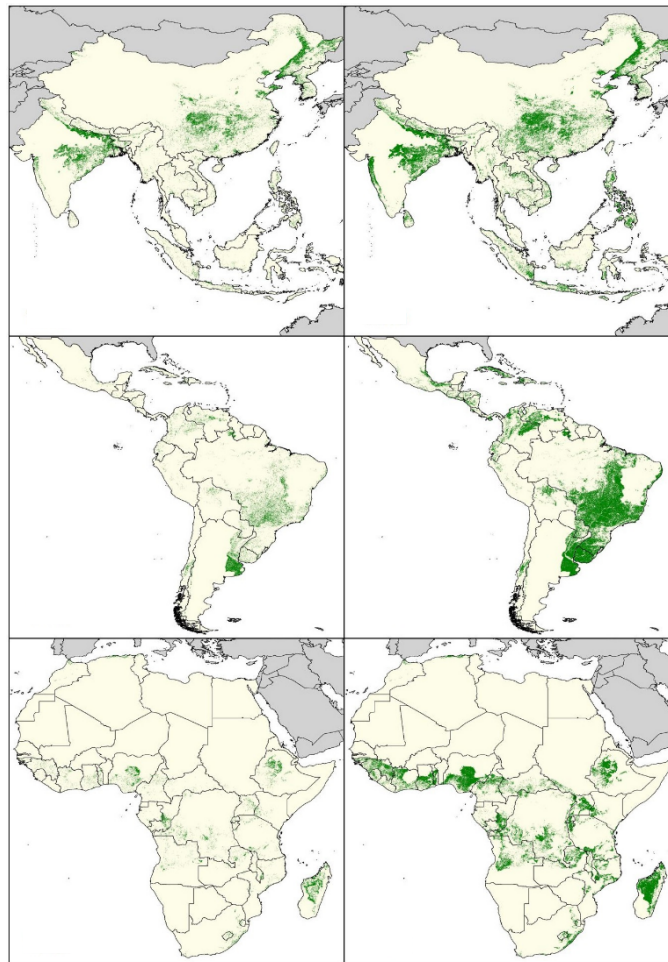


Abbildung 2 Aufforstungspotentiale in Tropennähe: Links reine Aufforstung, rechts potentielle Aufforstungs- und Sanierungsflächen. Die temperierten Flächen in Asien wurden bei der Flächenschätzung für die Tropen abgezogen (verändert nach R.J. Zomer, persönliche Mitteilung vom 29. März 2016)

³ Food and Agriculture Organisation der Vereinten Nationen

⁴ United Nations Framework Convention on Climate Change

⁵ Clean Development Mechanismus – Aufforstung und Wiederaufforstung

Mit rund 1,4 Mrd. Hektar potentieller Aufforstungs- und Sanierungsfläche in den Tropen kommen Minnemeyer et al. (2011) zu einer wesentlich größeren Fläche: Rund Dreiviertel davon ist durch kleinräumige Aufforstungen und Sanierungen in aktuell mäßig dicht besiedelten Gebieten mit extensiver Land- und Forstwirtschaft zu leisten; der Rest durch großflächige Maßnahmen in gering besiedelten Gebieten. Die Klassifizierung und der daraus abgeleitete Umfang an Aufforstungsfläche stößt jedoch auf Kritik, da zahlreiche als natürliche Graslandschaften klassifizierte Regionen als potentielle Aufforstungsflächen ausgewiesen wurden (Veldman et al., 2015).

Die Gesamtfläche für reine Aufforstungsmaßnahmen in den Tropen oder in Tropennähe beträgt mindestens 180 Mio. Hektar. Die zusätzliche Fläche für Waldsanierungen und kleinräumige Aufforstungen liegt zwischen 500 Mio. und 1,2 Mrd. Hektar.

2.5 Kann man aride oder semiaride Zonen in Wald verwandeln?

In den ariden und semiariden Gebieten existieren Wälder nur auf Sonderstandorten z.B. entlang von Flüssen oder in Oasen. Bei ausreichendem Wärmeangebot können mit Hilfe künstlicher Bewässerung Wälder auch in Trockengebieten begründet werden. In den (sub)tropischen Wüsten ist hierbei eine sehr hohe Primärproduktion möglich. Der Erfolg dieser Aufforstungen hängt u.a. von der kontinuierlichen Verfügbarkeit von Wasser, der Bewässerungstechnik und geeigneten Baumarten ab.

Ornstein et al. (2009) untersuchten Möglichkeiten zur Aufforstung der Sahara und des australischen Outbacks. Sie kommen durch Simulationsstudien zu dem Schluss, dass mit Entsalzungsanlagen genügend Wasser produziert werden kann, um Aufforstungen zu begründen und eine positive CO₂-Bilanz zu erzielen, d.h. CO₂ aus der Atmosphäre zu entziehen. Sie schätzen das Bindungspotential bereits kurzfristig als sehr hoch ein. Durch eine forstliche Bewirtschaftung kann das System dauerhaft sehr große Mengen an CO₂ binden. Sie empfehlen aus technischen und organisatorischen Gründen mit der Aufforstung in Australien zu beginnen.

El Kateb et al. (2015) verwenden in Ägypten vorgereinigte Siedlungsabwässer für die Bewässerung von Wüstenaufforstungen. Die Vorteile des Verfahrens sind, dass keine Konkurrenz um Trinkwasser entsteht, der Energieaufwand für die Wasserbereitstellung deutlich geringer ist und die Bäume mit zahlreichen benötigten Nährstoffen versorgt werden. Im Praxisversuch zeigen sich das hohe CO₂-Bindungspotential der Plantagen von bis zu 50 t CO₂/Hektar p.a. (El Kateb und Mosandl, 2012) und ein hoher logistischer Aufwand für den kontinuierlichen Betrieb der Bewässerungsanlagen.

In ariden und semiariden Zonen lassen sich Wälder durch künstliche Bewässerung begründen und sehr wahrscheinlich eine hohe CO₂-Bindung erzielen. Risiken ergeben sich vor allem durch die permanent notwendige künstliche Bewässerung und Überwachung insbesondere in gesellschaftlich instabilen Regionen.

2.6 Ist der Albedo-Effekt so stark, dass er die Wärmereduktionswirkung der CO₂-Entlastung bei „Wüstenaufforstung“ wesentlich aufhebt?

Ornstein et al. (2009) simulierten die biogeophysikalischen Folgen einer Sahara Aufforstung und kommen zum Ergebnis, dass die Wüstenaufforstungen durch den geringeren Albedo mehr Energie aufnehmen, diese aber in latente Wärme umgewandelt wird und zur Wolkenbildung in der Sahara beiträgt. Sie kommen zu dem Schluss, dass hierdurch die Albedo der Region sogar weiter erhöht wird. Keller et al. (2014) wiederholten diesen Ansatz. Nach ihren Berechnungen verringert sich dadurch bis 2100 die Albedo der Erde um 0,007 und die globale Mitteltemperatur steigt um 0,1 Grad an. Alkama und Cescatti (2016) untersuchten auf Grundlage von weltweiten Beobachtungen im Zeitraum 2003 bis 2012 die lokale Wirkung von Waldverlusten. Nach ihren Ergebnissen steigt die Lufttemperatur bei Entwaldung in Trockengebieten im Vergleich zur Entwaldung in den anderen Vegetationszonen am stärksten an, so dass im Umkehrschluss bei Wüstenaufforstung lokal mit einem Abkühlungseffekt gerechnet werden kann.

Großflächige Wüstenaufforstungen verändern die Albedo und die Temperatur der Erde nur geringfügig. Die Aufforstung arider und semiarider Gebiete ist global daher vorwiegend in Bezug auf den Kohlenstoffkreislauf interessant.

2.7 Kann man mit relativ einfachen, kostengünstigen waldbaulichen Mitteln den Kohlenstoffvorrat in den vorhandenen Wäldern so steigern, dass der Biomassevorrat in der Vegetation und der Wald-Bodenkohlenstoff nachhaltig zunehmen und einen fühlbaren C-Akkumulations-Effekt erzeugen?

Waldbauliche Maßnahmen zur Steigerung des Kohlenstoffvorrates in den vorhandenen Wäldern können darauf abzielen den aufstockenden Vorrat an Biomasse unter Berücksichtigung von natürlichen Risiken zu erhöhen. Hierzu zählen beispielweise folgende Maßnahmen:

Mischwald:

- Standortsangepasste Mischbaumarten, welche eine hohe Resistenz gegenüber natürlichen Schadfaktoren und eine hohe Produktivität besitzen, werden durch die Waldpflege gefördert. Dadurch verringert sich das Ausfallrisiko ganzer Waldbestände, der Boden wird vom Wurzelwerk optimal erschlossen und die Baumartenmischung wirkt sich positiv auf die Biodiversität aus.
- In Monokulturen und standortsfremden Waldbestockungen werden gemischte Anreicherungspflanzungen und –saaten angelegt, um die Produktivität, Stabilität und Biodiversität der Waldbestände zu verbessern. Dabei sind grundsätzlich nur an den Standort angepasste Baumarten und Provenienzen zu verwenden. Die zukünftigen Standortveränderungen infolge von Klimaänderungen müssen hierbei bereits berücksichtigt werden.
- Mischbaumarten sind durch die Regelung von Weiderechten und eine ausreichende Bejagung vor Verbiss und anderen Beschädigungen zu schützen.

Dauerwald:

- Auf Kahlschläge wird verzichtet und damit die Waldbiomasse erhalten.
- Dauerwaldstrukturen werden durch mäßig intensive Pflegeeingriffe und einzelbaumorientierte Holzerntemaßnahmen entwickelt. Dadurch erhöht sich die Stabilität und Funktionalität der Waldbestände. Insbesondere der Bodenkohlenstoff wird durch die Dauerbestockung optimal geschützt.
- Die Waldverjüngung ist durch die Regelung von Weiderechten und die ausreichende Bejagung vor Verbiss und anderen Beschädigungen zu schützen.

Waldschutzmaßnahmen:

- Von Schaderregern befallene Einzelbäume werden zeitnah aufgearbeitet und aus dem Wald entfernt, um die Ausbreitung von Waldkrankheiten zu reduzieren.
- Bei Massenvermehrung werden Schaderreger gezielt bekämpft.
- Effizientes Feuermanagement z.B. die Anlage von Brandschneisen und Entnahme von Totholz verringert die Waldbrandgefahren.
- Auf trockenen Standorten werden sehr dichte Bestände intensiver durchforstet, um Trockenstress und dadurch Risiken durch Schaderreger und Waldbrand zu verringern.
- Die Beschädigung der Wälder durch Bestandeseingriffe wird durch eine angepasste Technik und ausgebildetes Personal minimiert.

Bodenschutzmaßnahmen:

- Auf jegliche Form der Bodenbearbeitung oder die Anwendung von Feuer wird verzichtet.
- Dauerwaldstrukturen werden als optimaler Bodenschutz geschaffen.
- In klimatisch geeigneten Regionen kann Totholz als Kohlenstoffspeicher und zur Steigerung der Biodiversität angereichert werden.
- Bodenschäden werden bei Bestandeseingriffen durch angepasste Technik und geschultes Personal minimiert.

In den nach diesen Grundsätzen bewirtschafteten Wäldern können Naturwaldstrukturen erhalten oder teilweise auch wiederhergestellt werden, so dass sich ein optimaler Schutz für den Kohlenstoff in Boden und Biomasse ergibt. Stabile Dauerwälder erlauben darüber hinaus sehr lange und flexible Produktionszeiträume, so dass relativ hohe Kohlenstoffvorräte trotz wirtschaftlicher Nutzung aufgebaut werden können. Länder wie die Schweiz und Slowenien praktizieren diese Prinzipien seit langem und besitzen mit durchschnittlich 350 m³/Hektar die höchsten landesweiten Biomassevorräte in den Wäldern weltweit. Allerdings ist die Wirtschaftlichkeit dieser Wälder eher gering. Weiterhin ist zu beachten, dass allein eine sehr hohe Kohlenstoffdichte nicht immer mit einer Maximierung der jährlichen CO₂-Bindungswirkung von Wäldern einhergeht. Auch das Risiko von Kohlenstoffverlusten infolge natürlicher Schadereignisse nimmt mit steigendem Totholz- und Biomassevorrat meist zu.

Mit waldbaulichen Mitteln lässt sich der Kohlenstoffvorrat in den bestehenden Wäldern kurzfristig deutlich steigern. Eine wichtige Komponente ist dabei die Stabilisierung der Wälder gegenüber natürlichen Risiken und der Schutz junger Bäume vor Verbiss.

2.8 Welche weiteren positiven Effekte sind zu erwarten bzw. durch Art der Aufforstung zu forcieren (Biodiversität, Wasser, Böden, Biomasse)?

Biodiversität: Die Hotspots der Biodiversität auf der Erde finden sich in den tropischen Wäldern und Gebirgsregionen. Die Aufforstung tropischer Waldstandorte kann diese Biodiversität schrittweise wiederherstellen. Wichtig ist hierbei, dass bei der Aufforstung heimische und wie auch an zukünftige Klimaänderungen angepasste Baumarten in naturnahen Mischungsanteilen verwendet werden.

Wasser: Aufforstungen verringern durch Interzeption die am Boden ankommende Regenmenge und entziehen dem Boden Wasser durch Transpiration. Beides wird in Form von Wasserdampf an die Atmosphäre abgegeben. Dies führt lokal und regional zu einem Anstieg der Luftfeuchtigkeit und kann zur Wolkenbildung und Erhöhung von Niederschlägen beitragen. Am Boden verringern sich der Oberflächenabfluss, die Bodenerosion und damit die Sedimentbelastung von Oberflächengewässern. Im Boden nehmen der laterale Fluss und die Sickerwassermenge ab. Beides kann in trockenen Gebieten zu einer Verminderung der Wasserressourcen führen. Die Pflanzung laubabwerfender Baumarten und die Vermeidung von überdichten Beständen in diesen Gebieten kann hierbei diese Problematik verringern.

Böden: Die Aufforstung führt im Regelfall zum Erhalt oder zu einer Erhöhung des Bodenkohlenstoffes. Bei der Aufforstung von Graslandschaften kann es aber auch zu einer vorübergehenden Freisetzung von Bodenkohlenstoff kommen, die erst nach 20 Jahren wieder kompensiert wird. Kritisch zu prüfen ist eine Bodenbearbeitung vor Beginn der Aufforstung, da hierdurch Bodenkohlenstoff in großen Mengen mobilisiert werden kann. Dies betrifft vor allem den Umbruch von Grasland.

Biomasse: Aufforstungen erhöhen das regionale Biomasseangebot. Hierdurch lässt sich bei gezielter Nutzung (Durchforstungsmaterial aus Hochwäldern, Biomasse aus Mittel- und Niederwäldern) der dringende Bedarf nach Brennholz und regional nach Biomasse für (Heiz)Kraftwerke decken. Setzt man alleine auf die Produktion von Biomasse für Energiezwecke, so kann durch gezielte Baumartenwahl und hohe Pflanzendichten innerhalb kurzer Zeit eine hohe Biomasseleistung erreicht werden. Bei der Pflanzung auf nährstoffarmen Standorten kann eine Kopfdüngung erfolgen, so dass der Anwuchserfolg verbessert wird und damit die Biomasseleistung rasch ansteigt. Verbiss verringert hingegen den Anwuchserfolg sowie den Biomassezuwachs ganz erheblich und ist daher durch eine ausreichende Bejagung und Weideregulation zu verhindern. Die häufig aufkommende Konkurrenzvegetation muss mechanisch oder chemisch bekämpft werden, um den Erfolg einer Aufforstung sicherzustellen. Schäden durch Kleinsäuger, Insekten und Pilze können oftmals durch geeignete waldbauliche Maßnahmen vermieden werden; eine chemische Bekämpfung wird nur in Ausnahmefällen notwendig werden. Zu beachten ist, dass die alleinige Fokussierung auf die Biomasseerzeugung für Energiezwecke eine geringere Senkenwirkung hat, als die Erzeugung von Nutzholz. Biomasse, welche zuerst zu Holzprodukten verarbeitet werden kann und erst danach der energetischen Nutzung zugeführt wird, hat als Produktspeicher sowie durch Substitutionseffekte eine deutlich bessere CO₂-mindernde Wirkung.

Aufforstungen weisen zahlreiche positive Aspekte für den Naturhaushalt und die Versorgung der Bevölkerung mit Holzbiomasse auf. Durch eine umfassende waldbauliche Planung lassen sich viele dieser Vorteile realisieren und mögliche Nachteile für die Wasserversorgung vermeiden.

2.9 Welche jährlichen Kosten sind maximal aufzubringen, um die gewünschten Effekte zu erzielen (Land, Bäume, Arbeitskräfte, Maschinen, Information der Bevölkerung vor Ort, Monitoring)?

Im Rahmen der Studie ist eine belastbare Kostenschätzung für ein globales Aufforstungsprogramm nicht durchzuführen. Anhand zweier Beispielrechnungen auf Grundlage von Angaben des Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) und Kennzahlen aus der Forstwirtschaft (u.a. Günter et al., 2011) sollen hier lediglich Hinweise für die Finanzierung für das oben skizzierte globale Aufforstungsprogramm gegeben werden.

Das Intergovernmental Panel on Climate Change (2007) gibt auf Grundlage einer breit angelegten Literaturstudie die Grenzkosten für die CO₂-Speicherung durch Aufforstung, Walderhaltung und Waldmanagement einschließlich Waldsanierung für das Jahr 2030 wie folgt an (Tabelle 1).

	1-20 USD/t CO ₂	20-50 USD/t CO ₂	50-100 USD/t CO ₂
Afforestation	1,6 Mrd. t CO ₂ p.a.	1,1 Mrd. t CO ₂ p.a.	1,3 Mrd. t CO ₂ p.a.
Reduced deforestation	2,1 Mrd. t CO ₂ p.a.	1,1 Mrd. t CO ₂ p.a.	7,1 Mrd. t CO ₂ p.a.
Forest Management	2,0 Mrd. t CO ₂ p.a.	1,6 Mrd. t CO ₂ p.a.	2,2 Mrd. t CO ₂ p.a.

Tabelle 1: Globale Speichermöglichkeiten verschiedener Maßnahmen in Abhängigkeit von Kohlenstoffpreis (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007)

Kombiniert man die in der Tabelle genannten Werte mit den Maximalwerten der von den Experten genannten Speichermöglichkeiten (siehe Kapitel 2.2), erhält man die theoretischen Gesamtkosten für ein internationales Waldprogramm. Demzufolge müssten rund 150 Mrd. USD p.a. für die Aufforstung, 22 Mrd. USD für den Erhalt der Waldfläche und 20 Mrd. USD p.a. für die Waldsanierung ausgegeben werden, um mittelfristig 9 Mrd. t CO₂ p.a. zusätzlich zu speichern.

Nachfolgend sollen die Kosten für ein Aufforstungsprogramm zur mittelfristigen Speicherung von 5 Mrd. t CO₂ p.a. in ihrem zeitlichen Verlauf näher betrachtet werden. Dabei wird von folgenden modelhaften Annahmen ausgegangen:

- Die Erstaufforstung und die nachfolgenden noch nicht kostendeckenden Waldpflege-maßnahmen werden durch das Aufforstungsprogramm finanziert. Alle danach anfallenden Kosten für waldbauliche Maßnahmen einschließlich der Wiederaufforstung werden durch Holzeinnahmen gedeckt.
- In den Tropen werden 200 Mio. Hektar zur mittelfristigen Speicherung von 3,6 Mrd. t CO₂ p.a. aufgeforstet. Die Erstaufforstungskosten betragen 1500 USD/Hektar. Die Kosten

für nachfolgende Pflegeeingriffe belaufen sich auf durchschnittlich 200 €/Hektar p.a. bis zum Alter von 7 Jahren (Günter et al., 2011).

- In den gemäßigten Breiten werden 150 Mio. Hektar zur mittelfristigen Speicherung von 1,4 Mrd. t CO₂ p.a. aufgeforstet. Die Erstaufforstungskosten betragen 3500 USD/Hektar. Die Kosten für nachfolgende Pflegeeingriffe liegen bei durchschnittlich 100 €/Hektar p.a. bis zum Alter von 20 Jahren.
- Für den Waldschutz (z.B. Waldbrand), werden einheitlich 50 USD/Hektar angenommen, welche dauerhaft anfallen.
- Der Aufforstungszeitraum beträgt ähnlich der Walddeklaration von New York (United Nations, 2014) 15 Jahre, um bis zur Mitte des Jahrhunderts den erwünschten CO₂-Bindungseffekt zu erzielen. In den Tropen müssten dann durchschnittlich 13 Mio. Hektar p.a. und in den gemäßigten Breiten 10 Mio. Hektar p.a. aufgeforstet werden.
- Die Aufforstungen werden in den Tropen und den gemäßigten Breiten gleichzeitig durchgeführt.
- Weitere Kosten (z.B. Erschließung, Landpacht, Verwaltung, kalkulatorische Kosten) werden in dieser vereinfachten Kalkulation nicht betrachtet.

Nach dieser Berechnung steigen die Kosten in den ersten 15 Jahren auf Grund der jährlichen Aufforstungsmaßnahmen und der zunehmenden Fläche zu pflegender Jungbestände zunächst von ca. 50 auf bis zu 100 Mrd. USD p.a. an. Nach Ende der Aufforstungsperiode sinken die Kosten innerhalb von 10 Jahren auf den für den Forstschutz angenommenen Aufwand von 20 Mrd. \$ p.a. (Abbildung 3).

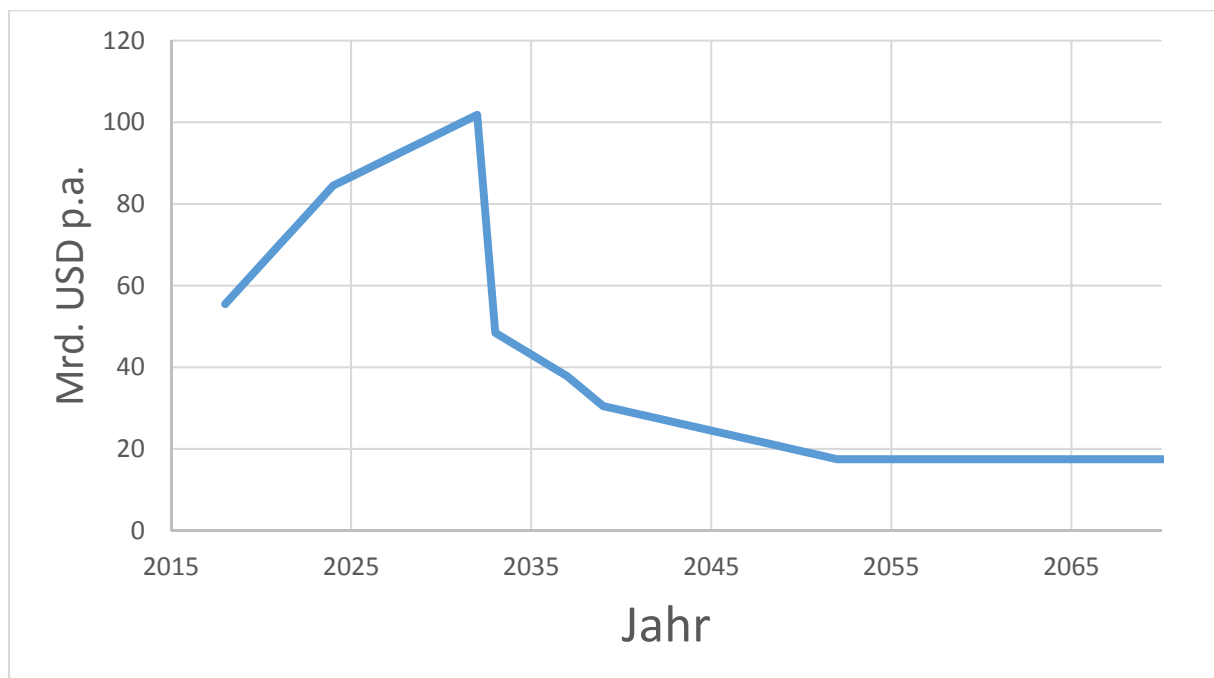


Abbildung 3 Verlauf der reinen Aufforstungs- und Unterhaltskosten

Weitere Kosten entstehen u.a. durch den Aufbau eines modernen Baumschulwesens oder für den Unterhalt einer qualifizierten und korruptionsfreien Forstaufsicht mit geeigneter

Infrastruktur. Die Forstaufsicht ist notwendig, um bei Aufforstungen zu beraten, zu überwachen und zu kontrollieren, sowie Landnutzungskonflikte zu regeln. Die wirtschaftliche Nutzung der Aufforstungsflächen kann mittelfristig zur Refinanzierung des weltweiten Aufforstungsprogrammes beitragen.

Bei einer für die Nutzholzproduktion erforderlichen minimalen Pflanzdichte von rund 1000 Bäumen je Hektar in den Tropen und durchschnittlich 2500 Bäumen je Hektar in den gemäßigten Breiten entsteht ein Bedarf von rund 40 Mrd. Bäumen, die jährlich in Pflanzschulen produziert werden müssten. Hierzu ist das Saatgut aus gesicherten Provenienzen zu sammeln, in regionalen und lokalen Baumschulen das Pflanzmaterial heranzuziehen und dann in noch frischem Zustand auszubringen. Die Pflanzung könnte zwar maschinell erfolgen, wird aber aufgrund der Geländeeigenschaften, fehlender Gerätschaften und vorhandener Arbeitskapazitäten meist von Hand durchgeführt werden müssen. Die alternative Begründung von Aufforstungen durch Saat erfordert eine größere Saatgutmenge und ist risikoreicher als die Pflanzung. Allein für die händische Pflanzung von jährlich 40 Mrd. Bäumen ergibt sich bei europäischen Arbeitsstandards und klimatisch bedingter geringerer Leistungsfähigkeit in den Tropen ein Bedarf von rund 800.000 qualifizierten Arbeitskräften. Hinzu kommen Fachkräfte und Arbeiter u.a. für die Saatgutsammlung, das Baumschulwesen, Forstverwaltungen, Forschung und Ausbildung.

Die jährlichen Kosten für ein Aufforstungsprogramm sind im Rahmen dieser Kurzstudie nicht detailliert abschätzbar. Eine überschlägige Kalkulation ergibt, dass allein für die waldbaulichen Maßnahmen bei der Aufforstung von jährlich 14 Mio. Hektar zumindest in den ersten 15 Jahren jährlich mit einem Betrag von etwa 100 Mrd. USD p.a. zu rechnen ist. Hinzu kommen weitere Kosten u.a. für die forstliche Infrastruktur. Die wirtschaftliche Nutzung der Flächen kann jedoch mittelfristig zur Refinanzierung des Aufforstungsprogrammes beitragen. Bezieht man andere waldbasierte Maßnahmen mit ein ergibt sich nach dem hier vorliegenden Datenmaterial ein Gesamtvolumen von etwa 200 Mrd. USD p.a.

2.10 Lässt sich viel auf investiver, also in sich rentabler Basis erreichen?

In zahlreichen Studien werden für Aufforstungen in den Tropen positive Barwerte bei einem Kalkulationszins von 5 %⁶ angegeben. Auf Grund der geringeren Produktivität und den meist höheren Land- und Aufforstungskosten in den gemäßigten Breiten trifft dies dort selbst bei einem Kalkulationszins von 3 %⁶ häufig nur für Wälder mit nennenswerten Nadelholzanteilen zu. Von daher ist in den Tropen eher auf investiver Basis etwas zu erreichen als in den gemäßigten Breiten.

In einer globalen Studie berechnen Benítez et al. (2007) auf Grundlage eines forstlichen Produktionsmodells räumlich explizit die Barwerte potentieller Aufforstungsflächen unter Berücksichtigung von Einnahmen aus der Kohlenstoffspeicherung, Holzerlösen und landesspezifischen Risiken.

⁶ Der Kalkulationszins beruht auf den vor der Finanzkrise üblichen Verzinsungen für langjährige Anlagen. Unter der Annahme gegenwärtiger Zinsen, sind Investitionen in Aufforstungen vorteilhafter.

Bei einem weltweit einheitlichen Kalkulationszinssatz von 5 % und einem aktuellen Kohlenstoffpreis von durchschnittlich 4 USD/t CO₂ wären Aufforstungen mit einem kumulativen Speichervolumen von etwa 750 Mio. t CO₂ in 20 Jahren für Investoren interessant. Dies entspricht in den Tropen einer Aufforstungsfläche von rund 2 Mio. Hektar, welche auf investiver Basis aufgeforstet werden könnte. Werden die landesspezifischen Risiken durch Zu- und Abschläge im Kalkulationszinssatz berücksichtigt, dann werden erst bei deutlich höheren Kohlenstoffpreisen Aufforstungen in nennenswertem Umfang rentabel.

Auf rein investiver Basis lassen sich unter Berücksichtigung der landesspezifischen Risiken keine bedeutenden Aufforstungen tätigen. Erst durch eine ausreichende Vergütung der C-Speichereffekte wird die Aufforstung für Investoren interessant. Bei den aktuellen CO₂-Preisen müssten Aufforstungen und die Waldpflege finanziell gefördert werden.

2.11 Wieviel € Investitionssumme müssten für diesen Ansatz mobilisiert werden?

Berechnet man unter den in Kapitel 2.9 und 2.10 gemachten Annahmen den Investitionsbedarf, so werden bei gegenwärtigen CO₂-Preisen und einem Kalkulationszinssatz von 5 % ohne Berücksichtigung landesspezifischer Risiken 3 Mrd. USD für die Begründung von 2 Mio. Hektar Waldfläche in den Tropen benötigt. Weitere Kosten ergeben sich in den Folgejahren für Waldpflege und –schutzmaßnahmen.

Für die Begründung von 2 Mio. Hektar Waldfläche auf rein investiver Basis würden ohne Berücksichtigung landesspezifischer Risiken 3 Mrd. USD benötigt, um die reinen Aufforstungskosten zu decken.

2.12 Welche Strukturen müssen geschaffen werden, um die finanziellen Mittel zielgerecht zu verwalten und zu verteilen?

Aufforstungen können staatlich oder privat erfolgen. Staatliche Aufforstungen sind über die Staatshaushalte der Länder zu finanzieren. Freie private Aufforstungen können durch Aufforstungszuschüsse bzw. die Vergütung von C-Speichereffekten initiiert werden. Für die Vergütung von C-Speichereffekten sind zahlreiche Instrumente von staatlichen Subventionen, freiwilligen Maßnahmen bis hin zum Handel mit Kohlenstoffzertifikaten möglich.

Die Erfahrung zeigt, dass regionale Besonderheiten – ökologisch wie gesellschaftlich - stark den Erfolg von Aufforstungen bestimmen. Von daher sollte das Subsidiaritätsprinzip auch für ein globales Aufforstungsprogramm angewandt werden. Um von den Mitteln eines solchen Aufforstungsprogrammes profitieren zu können, sollte ein Land über ein fachlich fundiertes Waldgesetz und eine qualifizierte, korruptionsfreie und effiziente Forstverwaltung verfügen, welche für die Umsetzung der waldgesetzlichen Vorschriften sorgt. Nationale Forstbehörden sollten dabei z.B. auch in die Regelung von Landnutzungsrechten und die Vergabe von Fördermitteln eingebunden sein. Dort wo dies nicht der Fall ist, könnte den Ländern durch die

internationale Gemeinschaft z.B. eine bei der UN/FAO⁷ angesiedelten „Aufforstungsagentur“ Unterstützung angeboten werden. Eine solche Agentur könnte dabei auch zu einer Vereinheitlichung der vielfältigen internationalen Zertifizierungsstandards beitragen, die Abwicklung von Aufforstungsprogrammen mit den Ländern koordinieren und damit auch für die globale Verwaltung und Verteilung finanzieller Mittel nach einheitlichen Standards verantwortlich sein. Analog dem CDM könnten dort auch bilaterale Aufforstungsprojekte z.B. aus den Absichtserklärungen von Paris oder laufenden Projekten gebündelt werden. Die FAO verfügt durch laufende globale Inventuren, nationale Beratungstätigkeit und die weltweite Zusammenarbeit mit Experten über umfangreiches Wissen in den Bereichen Landwirtschaft, Ernährung und Wald.

Ein globales Aufforstungsprogramm sollte subsidiär organisiert sein. Eine internationale mit (Forst-)Experten besetzte „Aufforstungsagentur“ unter dem Dach der UN-FAO könnte die Steuerung und finanzielle Abwicklung des Aufforstungsprogramms übernehmen.

2.13 Wie wird vor Ort die fachgerechte Umsetzung gesichert, welche Strukturen/Organisationen sorgen für ein Monitoring auf den Flächen und verhindern den Verlust des aufgeforsteten Waldes durch illegale Rodungen?

Analog Frage 2.12 ist ein funktionierendes Forstwesen Voraussetzung für die nachhaltige Waldentwicklung. Im Regelfall kann dies durch eine dreigliedrige Verwaltung mit Forstministerium, Forstdistrikt und Forstrevier erreicht werden. Auf Ebene des Forstministeriums werden Richtlinien und Programme für die Umsetzung eines Aufforstungsprogrammes erstellt, in welche die Anforderungen der internationalen Gemeinschaft an Aufforstungsprojekte in (Förder-)Richtlinien einfließen. Die Aufforstungen werden auf Distriktebene geplant und auf Revierebene umgesetzt. In den weit verbreiteten Staatswäldern erfolgt dies durch die lokale Forstverwaltung selbst ggf. in Kooperation mit den Trägern von Nutzungsrechten im Staatswald. Für Privatwaldbesitzer ist die Forstverwaltung fördernd und überwachend tätig. Die einzelnen Aufforstungsprojekte werden flächendeckend durch die Revier- und Distriktleitung und stichprobenweise durch internationale Kontrolleure überwacht. Flankierend erfassen regionale/betriebliche und nationale Inventuren sowie die globalen Walderhebungen der FAO die Entwicklung der Waldfläche und -struktur in den einzelnen Ländern. Darüber hinaus sollten Forstverwaltungen die Versorgung mit autochtonem Forstsaatgut sicherstellen, für den Aufbau eines modernen Baumschulwesens sorgen und die betriebliche Ausbildung von Waldarbeitern und -technikern ermöglichen.

Das für den Aufbau einer Forstverwaltung und die Gründung forstlicher Dienstleistungsunternehmen erforderliche Managementwissen kann derzeit beispielsweise an deutschen Universitäten (z.B. in den Studiengängen Bachelor of Science Forstwissenschaft und Ressourcenmanagement, Master of Science Forest and Wood Sciences oder Master of Science Sustainable Resource Management der Technischen Universität München) erlernt werden.

⁷ Food and Agriculture Organisation der Vereinten Nationen

Dieser Ansatz kann durch einzelne bilaterale Aufforstungs- und Entwicklungsprojekte mit eigenen beruflichen Bildungsmaßnahmen und Kontrollmechanismen sinnvoll ergänzt werden. Dies betrifft insbesondere Staaten in denen in Kürze keine funktionierende Forstverwaltung zu etablieren ist. Allerdings sollten solche Initiativen nicht zur Benachteiligung der lokalen Bevölkerung führen.

Die fachgerechte Umsetzung und Kontrolle des globalen Aufforstungsprogrammes kann durch eine professionelle Forstverwaltung in den Ländern in Kooperation mit der UN/FAO erfolgen. Bilaterale Maßnahmen bilden hierfür eine sinnvolle Ergänzung.

2.14 Was ist an Unterstützung bzw. politischem oder sozialem Widerstand zu erwarten, wie wird die Partizipation der gesellschaftlichen Akteure in den betroffenen Gebieten sichergestellt?

Trotz vieler Vorteile von Aufforstungen können sich auch Nutzungskonflikte ergeben. Beispielweise befindet sich ein Großteil der Tropen in Staatsbesitz und ist mit traditionellen Nutzungsrechten der lokalen Bevölkerung belegt. Hier ist Widerstand zu erwarten, wenn mit dem Entzug von traditionellen Nutzungsrechten beispielsweise landwirtschaftliche Nutzflächen entfallen und so den Menschen die Lebensgrundlage entzogen wird. Hingegen ist Unterstützung zu erwarten, wenn sich aus den Aufforstungen Einkommen für den Nahrungserwerb generieren lässt und durch die Aufforstung mehr Brennholz zur Verfügung steht. Ebenso ist zu erwarten, dass die Sanierung degradierter und unproduktiver Flächen durch Aufforstung und Agroforstsysteme von den lokalen Gesellschaften unterstützt wird.

Auch für die Vermeidung von Konflikten ist hier eine funktionierende Forstverwaltung notwendig, welche die Menschen an der Landnutzungsplanung beteiligt. Analog der Flurbereinigung könnte in partizipativen Verfahren die lokale Landnutzung langfristig neu geordnet werden, so dass sich die Lebenssituation der Landbevölkerung und die Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes – auch für die Bindung von CO₂ - verbessern. Zudem könnten in vielen Fällen durch derartige Prozesse die Landrechte einen festgeschriebenen Rechtstitel erhalten und somit Ressourcenkonflikte in Zukunft vermindert werden.

Landnutzungskonflikte können durch wirtschaftliche Vorteile für die Bevölkerung und eine partizipative Landnutzungsplanung verringert werden. Es bietet sich sogar die Chance in vielen Regionen Eigentums- und Landnutzungsrechte erstmals mit einem Rechtstitel zu versehen.

2.15 Welche Formen der nachhaltigen Waldnutzung sind in den aufgeforsteten Gebieten künftig möglich und wer profitiert davon?

Großflächige industrielle Aufforstungen sind meist auf die Produktion bestimmter Grundstoffe für die industrielle Weiterverarbeitung optimiert und auf die Maximierung von Gewinnen für Investoren oder Großgrundbesitzer ausgerichtet. Meist handelt es sich bislang um Hochwälder mit einer Baumart, welche im Kahlschlag und unter Einsatz von Agrarchemikalien bewirtschaftet werden. Die lokale Bevölkerung besitzt keine Nutzungsrechte an den Flächen und das Arbeitsangebot ist auf Grund des hohen Rationalisierungsgrades eher gering.

Für kleinräumige Aufforstungen steht weltweit die dreifache Fläche zur Verfügung (Minnemeyer et al., 2011). Für diese Flächen ist ein industrieller Ansatz kaum geeignet. Als Betreiber kommen daher z.B. lokale Produktionsgemeinschaften in Betracht. Wälder können hierbei vielfältigen Zwecken von der Erzeugung von wertvollem Nutzholz bis zur Gewinnung von Nahrungsmitteln dienen. Diese Aufforstungsflächen sind multifunktional und bieten der Bevölkerung Einkommensmöglichkeiten in Forst- und Landwirtschaft sowie Handwerk und Handel.

Einen Schritt weiter gehen Agroforstsysteme, welche teilweise auch als Aufforstungen betrachtet werden. In diesen Systemen dominiert jedoch die Nahrungsmittelproduktion unter Nutzung von Bäumen. Auch hier bestehen ähnliche Vorteile für die lokale Bevölkerung wie bei den kleinräumigen Aufforstungen. Reine Agrarflächen können so in Zukunft zusätzlich für den Anbau von Gehölzen und damit die Speicherung von CO₂ genutzt werden.

Kleinräumige Aufforstungen und Agroforstsysteme könnten auf großer Fläche initiiert werden und bieten die Chance vielfältiger Nutzungs- und Einkommensmöglichkeiten für die lokale Bevölkerung. Sie könnten daher zur Stabilisierung der ländlichen Räume beitragen. Großflächige industrielle Aufforstungen dienen vorwiegend der globalen Rohstoffversorgung ohne große Vorteile für die lokale Bevölkerung.

3 Aus der Studie resultierende Schlussfolgerungen

1. Wälder sind natürliche Kohlenstoffspeicher. Sie entziehen der Atmosphäre in nennenswertem Umfang CO₂.
2. Die Absorptionswirkung des Waldes kann durch den Erhalt der noch existierenden Waldfläche, Waldsanierung und ein nachhaltiges Management erhalten und erhöht werden. Relativ kurzfristig lässt sich so die Belastung der Atmosphäre innerhalb weniger Jahre um etwa 3 bis 4 Mrd. t CO₂ p.a. reduzieren.
3. Mittelfristig ist jedoch die Wiederherstellung vormaliger Waldflächen erforderlich, um den CO₂-Gehalt der Atmosphäre auf einem Niveau zu stabilisieren, welches die Erderwärmung auf 1,5 Grad limitiert. Hierzu müsste ein globales, sozial ausgewogenes Aufforstungspro-

gramm sofort in Angriff genommen werden. Auf diesem Weg könnten der Atmosphäre ab Mitte des 21. Jahrhunderts 5 Mrd. t CO₂ p.a. entzogen werden.

4. Eine weitere Option stellt die Vergrößerung der Waldfläche durch Wüstenaufforstungen dar. Diese künstlichen Waldflächen hätten den Vorteil innerhalb sehr kurzer Zeit sehr große Mengen CO₂ in von Menschen kaum genutzten Gebieten zu speichern. Sie bergen derzeit jedoch noch erhebliche technisch-organisatorische und biologische Unsicherheiten. Das globale Potential von Wüstenaufforstungen ist derzeit noch nicht abschätzbar.

5. Der Aufbau des Kohlenstoffvorrates neu bewaldeter Flächen erfolgt dauerhaft über viele Jahrzehnte. Jedoch erreicht die jährliche CO₂-Bindungsrate bereits nach wenigen Jahrzehnten ein Maximum und nimmt dann kontinuierlich ab. Nur durch die gezielte Erneuerung mithilfe waldbaulicher Maßnahmen ist das hohe Bindungspotential dieser Waldflächen nachhaltig zu erhalten. Das dabei gewonnene Holz kann dann den gebundenen Kohlenstoff in Form langlebiger Produkte z.B. in Holzhäusern dauerhaft speichern.

6. Holz kann Rohstoffe mit negativer CO₂-Bilanz ersetzen und daher zur Reduktion von CO₂-Emissionen beitragen (Substitutionseffekt). Die nachhaltige Erzeugung und effiziente Verwendung von Holz sollte infolgedessen Bestandteil jeder Dekarbonisierungsstrategie sein. Hierzu könnte das Aufforstungsprogramm beitragen.

7. Ein weltweites Aufforstungsprogramm würde vor allem in Entwicklungsländern viele positive Impulse für die ländliche und wirtschaftliche Entwicklung setzen, z.B. bei der Schaffung von Arbeitsplätzen oder dem Erosionsschutz. Große Chancen ergeben sich hierbei auch für die globale wie regionale bioökonomische Entwicklung. Die Umsetzung sollte auf Grund der heterogenen standörtlichen und kulturellen Bedingungen subsidiär erfolgen. Mit einem globalen Aufforstungsprogramm ist daher auch der Aufbau eines funktionierenden Forstwesens in den Partnerländern zu fördern, um den langfristigen Erfolg der Maßnahmen zu sichern. Die Koordination könnte beispielsweise eine globale „Aufforstungsagentur“ - denkbar unter dem Dach der UN/FAO – übernehmen.

8. Der finanzielle Rahmen für die reinen Aufforstungskosten ist mit bis zu 100 Mrd. € p.a. nicht zu hoch angesetzt. Investitionen in die Aufforstung lassen sich durch eine Aufforstungsprämie bzw. ausreichende Vergütung von CO₂-Speicher- und Substitutionsleistungen stimulieren.

9. Erträge aus der wirtschaftlichen Nutzung der Aufforstungsflächen könnten zur Refinanzierung des globalen Aufforstungsprogrammes beitragen.

10. Wissenschaftliche Veröffentlichungen zum globalen Bindungspotential durch waldbasierte Maßnahmen zeigen ganz unterschiedliche Ergebnisse. Bei einer ausgewogenen Betrachtung ist mittelfristig (50 Jahre) mit einer Speicheroption von 6 bis 9 Mrd. CO₂ p.a. zu rechnen.

4 Empfehlungen für politische Entscheidungsträger

1. Die Pariser Vereinbarungen (COP21) vom Dezember 2015 schreiben verbindlich eine Begrenzung der Erderwärmung auf 1,5 °C seit Beginn der Industrialisierung vor. In Anbetracht des zu erwartenden Wirtschaftswachstums ist es daher notwendig CO₂ aktiv aus der Atmosphäre zu entziehen.
2. Einer der wenigen effektiven Möglichkeiten zum CO₂-Entzug ist die Speicherung in Wäldern. Wälder absorbieren bereits heute zusammen mit den Ozeanen fast 60 % der anthropogenen CO₂-Emissionen. Dieser Prozess muss verstärkt werden, um den jährlichen CO₂-Anstieg in Höhe von 16 Mrd. Tonnen CO₂ zu verringern
3. Diese natürliche Senkenwirkung der Wälder lässt sich durch den Erhalt der Waldfläche (1 bis 2 Mrd. Tonnen CO₂ p.a.), die Wiederherstellung degradierter Wälder (1 bis 2 Mrd. Tonnen CO₂ p.a.) und die Wiederbewaldung (4 bis 5 Mrd. Tonnen CO₂ p.a.) mittelfristig um den Betrag von 6 bis 9 Mrd. Tonnen CO₂ p.a. steigern. Der gegenwärtige Anstieg des CO₂-Gehaltes der Atmosphäre sollte so zumindest halbiert werden. Hinzu kommen derzeit noch nicht abschätzbare Potentiale durch Wüstenaufforstung und durch ein modernes nachhaltiges Wald- und Holzmanagement.
4. Die waldbasierten Maßnahmen erzeugen riesige Mengen Holz, welches als CO₂-neutraler Rohstoff eine Schlüsselrolle für die bioökonomische Entwicklung der Weltwirtschaft spielen muss. In langlebigen Produkten aus Holz (z.B. Häuser) ist das CO₂ der Atmosphäre nicht nur dauerhaft entzogen, sondern es kann auch auf Materialien mit negativer CO₂-Bilanz verzichtet werden. Die Holzverwendung kann damit auch zur Dämpfung der anthropogenen CO₂-Emissionen beitragen.
5. Der waldbasierte Klimaschutz ist nur zu erreichen, wenn die Maßnahmen sofort umgesetzt werden. Insbesondere die Wiederbewaldung lässt sich durch künstliche Aufforstung beschleunigen. Daher ist ein weltweites Aufforstungsprogramm zur Verhinderung der Klimakatastrophe dringend geboten. Der hierfür erforderliche jährliche Aufwand beträgt vorübergehend weniger als 1 Prozent der Weltwirtschaftsleistung.
6. Vor allem in Entwicklungsländern würde ein weltweites Aufforstungsprogramm viele positive Impulse für die ländliche und wirtschaftliche Entwicklung setzen, z.B. beim Erosionsschutz oder für die Schaffung von Arbeitsplätzen. Die Umsetzung sollte auf Grund der heterogenen standörtlichen und kulturellen Bedingungen subsidiär erfolgen. Mit einem globalen Aufforstungsprogramm ist daher auch ein funktionierendes Forstwesen in den Aufforstungsgebieten zu fördern, um den langfristigen Erfolg der Maßnahmen zu sichern. Die erforderliche Koordination könnte beispielsweise eine globale „Aufforstungsagentur“ - denkbar unter dem Dach der Food and Agriculture Organisation der Vereinten Nationen – übernehmen.

5 Literatur

- Alkama, R., Cescatti, A., 2016. Biophysical climate impacts of recent changes in global forest cover. *Science* 351, 600–604. doi:10.1126/science.aac8083
- Benítez, P.C., McCallum, I., Obersteiner, M., Yamagata, Y., 2007. Global potential for carbon sequestration: Geographical distribution, country risk and policy implications. *Ecol. Econ.* 60, 572–583. doi:10.1016/j.ecolecon.2005.12.015
- Bormann, F.H., Likens, G.E., 1979. Pattern and process in a forested ecosystem: disturbance, development, and the steady state based on the Hubbard Brook ecosystem study. Springer-Verlag, New York.
- Canadell, J.G., Raupach, M.R., 2008. Managing Forests for Climate Change Mitigation. *Science* 320, 1456–1457. doi:10.1126/science.1155458
- Canadell, J.G., Schulze, E.D., 2014. Global potential of biospheric carbon management for climate mitigation. *Nat. Commun.* 5, 5282. doi:10.1038/ncomms6282
- El Kateb, H., Mosandl, R., 2012. Aufforstungen in ägyptischen Wüstengebieten. *AFZ- Wald* 67, 36–39.
- El Kateb, H., El-Gindy, A.G., Stimm, B., Settawy, A.A., Zhang, H., Kherashy, A., Abd-Elwaheb, A., Felbermeier, B., Hassan, H., Hassan, N., Khamis, S., Abd-Elbaky, M., Weber, M., El Hakim, M., Mosandl, R., 2015. German-Egyptian Collaboration to Afforestation in Desert Lands of Egypt: Information Summary and Description of the Field Experiments, *Silvicultural Experiments* (4).
- Gower, S.T., McMurtrie, R.E., Murty, D., 1996. Aboveground net primary production decline with stand age: potential causes. *Trends Ecol. Evol.* 11, 378–382. doi:10.1016/0169-5347(96)10042-2
- Günter, S., Weber, M., Stimm, B., Mosandl, R. (Eds.), 2011. *Silviculture in the Tropics, Tropical Forestry*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.
- Harris, N., Brown, S., Hagen, S.C., Baccini, A., Houghton, R., 2012. Progress toward a consensus on carbon emissions from tropical deforestation. *Winrock Int. Woods Hole Res. Cent.*
- Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), 2007. *Climate change 2007: mitigation of climate change: contribution of Working Group III to the Fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge ; New York.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (Ed.), 2014. *Climate change 2014: Mitigation of climate change: Working Group III contribution to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, New York.
- Keller, D.P., Feng, E.Y., Oschlies, A., 2014. Potential climate engineering effectiveness and side effects during a high carbon dioxide-emission scenario. *Nat. Commun.* 5. doi:10.1038/ncomms4304
- Le Quéré, C., Moriarty, R., Andrew, R.M., Canadell, J.G., Sitch, S., Korsbakken, J.I., Friedlingstein, P., Peters, G.P., Andres, R.J., Boden, T.A., Houghton, R.A., House, J.I., Keeling, R.F., Tans, P., Arneeth, A., Bakker, D.C.E., Barbero, L., Bopp, L., Chang, J., Chevallier, F., Chini, L.P., Ciais, P., Fader, M., Feely, R.A., Gkritzalis, T., Harris, I., Hauck, J., Ilyina, T., Jain, A.K., Kato, E., Kitidis, V., Klein Goldewijk, K., Koven, C., Landschützer, P., Lauvset, S.K., Lefèvre, N., Lenton, A., Lima, I.D., Metzl, N., Millero, F., Munro, D.R., Murata, A., Nabel, J.E.M.S., Nakaoka, S., Nojiri, Y., O'Brien, K., Olsen, A., Ono, T., Pérez, F.F., Pfeil, B., Pierrot, D., Poulter, B., Rehder, G., Rödenbeck, C., Saito, S., Schuster, U., Schwinger, J., Séférian, R., Steinhoff, T., Stocker, B.D., Sutton, A.J., Takahashi, T., Tilbrook, B., van der Laan-Luijkx, I.T., van der Werf, G.R., van Heuven, S., Vandemark, D., Viovy, N., Wiltshire, A., Zaehle, S., Zeng, N., 2015. Global Carbon Budget 2015. *Earth Syst. Sci. Data* 7, 349–396. doi:10.5194/essd-7-349-2015
- Luyssaert, S., Schulze, E.-D., Börner, A., Knohl, A., Hessenmöller, D., Law, B.E., Ciais, P., Grace, J., 2008. Old-growth forests as global carbon sinks. *Nature* 455, 213–215. doi:10.1038/nature07276
- Minnemeyer, S., Laestadius, L., Sizer, N., Saint-Laurent, C., Potapov, P., 2011. *A World of Opportunity. Bonn Challenge on forests, climate change and biodiversity 2011*.
- Nilsson, S., Schopfhauser, W., 1995. The carbon-sequestration potential of a global afforestation program. *Clim. Change* 30, 267–293.
- Odum, E.P., 1969. The Strategy of Ecosystem Development. *Science* 164, 262–270. doi:10.1126/science.164.3877.262
- Ornstein, L., Aleinov, I., Rind, D., 2009. Irrigated afforestation of the Sahara and Australian Outback to end global warming. *Clim. Change* 97, 409–437. doi:10.1007/s10584-009-9626-y
- Poorter, L., Bongers, F., Aide, T.M., Almeyda Zambrano, A.M., Balvanera, P., Becknell, J.M., Boukili, V., Brancalion, P.H.S., Broadbent, E.N., Chazdon, R.L., Craven, D., de Almeida-Cortez, J.S., Cabral, G.A.L., de Jong, B.H.J., Denslow, J.S., Dent, D.H., DeWalt, S.J., Dupuy, J.M., Durán, S.M., Espírito-Santo, M.M., Fandino, M.C., César, R.G., Hall, J.S., Hernandez-Stefanoni, J.L., Jakovac, C.C., Junqueira, A.B., Kennard, D.,

- Letcher, S.G., Licona, J.-C., Lohbeck, M., Marín-Spiotta, E., Martínez-Ramos, M., Massoca, P., Meave, J.A., Mesquita, R., Mora, F., Muñoz, R., Muscarella, R., Nunes, Y.R.F., Ochoa-Gaona, S., de Oliveira, A.A., Orihuela-Belmonte, E., Peña-Claros, M., Pérez-García, E.A., Piotta, D., Powers, J.S., Rodríguez-Velázquez, J., Romero-Pérez, I.E., Ruíz, J., Saldarriaga, J.G., Sanchez-Azofeifa, A., Schwartz, N.B., Steininger, M.K., Swenson, N.G., Toledo, M., Uriarte, M., van Breugel, M., van der Wal, H., Veloso, M.D.M., Vester, H.F.M., Vicentini, A., Vieira, I.C.G., Bentos, T.V., Williamson, G.B., Rozendaal, D.M.A., 2016. Biomass resilience of Neotropical secondary forests. *Nature*. doi:10.1038/nature16512
- Thomson, A.M., César Izaurralde, R., Smith, S.J., Clarke, L.E., 2008. Integrated estimates of global terrestrial carbon sequestration. *Glob. Environ. Change* 18, 192–203. doi:10.1016/j.gloenvcha.2007.10.002
- United Nations, 2014. The New York Declaration on Forests. Climate Summit 2014.
- United Nations, 2015. Paris Agreement (No. FCCC/CP/2015/L.9/Rev.1).
- Veldman, J., Overbeck, G., Negreiros, D., Mahy, G., Le Stradic, S., Fernandes, W., Durigan, G., Buisson, E., Putz, F., Bond, W., 2015. Tyranny of trees in grassy biomes. *Science* 347, 484–485.
- Wang, Y., Yan, X., Wang, Z., 2014. The biogeophysical effects of extreme afforestation in modeling future climate. *Theor. Appl. Climatol.* 118, 511–521. doi:10.1007/s00704-013-1085-8
- Weber, M., 1999. Kohlenstoffvorräte eines Nothofagus-Primärwaldes auf Feuerland. *Forstwiss. Cent. Ver. Mit Tharandter Forstl. Jahrb.* 118, 156–166.
- Woodward, F.I., Bardgett, R.D., Raven, J.A., Hetherington, A.M., 2009. Biological Approaches to Global Environment Change Mitigation and Remediation. *Curr. Biol.* 19, R615–R623. doi:10.1016/j.cub.2009.06.012
- Zomer, R.J., Trabucco, A., Verchot, L.V., Muys, B., 2008. Land Area Eligible for Afforestation and Reforestation within the Clean Development Mechanism: A Global Analysis of the Impact of Forest Definition. *Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Change* 13, 219–239. doi:10.1007/s11027-007-9087-4