



AgEcon SEARCH
RESEARCH IN AGRICULTURAL & APPLIED ECONOMICS

The World's Largest Open Access Agricultural & Applied Economics Digital Library

This document is discoverable and free to researchers across the globe due to the work of AgEcon Search.

Help ensure our sustainability.

Give to AgEcon Search

AgEcon Search

<http://ageconsearch.umn.edu>

aesearch@umn.edu

*Papers downloaded from **AgEcon Search** may be used for non-commercial purposes and personal study only. No other use, including posting to another Internet site, is permitted without permission from the copyright owner (not AgEcon Search), or as allowed under the provisions of Fair Use, U.S. Copyright Act, Title 17 U.S.C.*

No endorsement of AgEcon Search or its fundraising activities by the author(s) of the following work or their employer(s) is intended or implied.

Beerbaum, S., Großkopf, W.: Aufforstungen als kosteneffiziente Klimaschutzmaßnahmen im Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit zwischen Deutschland und Indien. In: Brockmeier, M.; Isermeyer, F.; von Cramon-Taubadel, S.: Liberalisierung des Weltagrarhandels – Strategien und Konsequenzen. Schriften der Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V., Band 37, Münster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag (2001), 425-436.

AUFFORSTUNGEN ALS KOSTENEFFIZIENTE KLIMASCHUTZMASSNAHMEN IM RAHMEN EINER INTERNATIONALEN ZUSAMMENARBEIT ZWISCHEN DEUTSCHLAND UND INDIEN

von

S. BEERBAUM und W. GROSSKOPF

1 Einleitung

Die Klimaforschung der vergangenen Jahre lässt einen durch Menschen verursachten Klimawandel im Laufe des 21. Jahrhunderts mit schwerwiegenden negativen Folgen bei unverminderten Treibhausgasemissionen¹ als immer wahrscheinlicher erscheinen (IPCC 2001). Im Rahmen von internationalen Klimaschutzverhandlungen haben sich die Industrieländer im Jahr 1997 deshalb auf eine Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen geeinigt. Entwicklungsländer hingegen haben sich nicht zu Emissionsreduktionen verpflichtet, um ihre wirtschaftliche Entwicklung nicht zu gefährden (UNFCCC 1998). Um die Kosten der eingegangenen Verpflichtungen so gering wie möglich zu halten, verständigte sich die Staatengemeinschaft u. a. auf den Clean Development Mechanism. Dieser erlaubt es Ländern mit einer Emissionsreduktionsverpflichtung, Minderungsmaßnahmen in Entwicklungsländern zu finanzieren und die dabei erzielte Emissionsminderung bzw. die Bindung von Kohlendioxid in Form von Zertifikaten angerechnet zu bekommen. Vor allem Aufforstungsmaßnahmen in Entwicklungsländern werden in diesem Zusammenhang aufgrund von niedrigen Lohnkosten und hohen Biomassezuwächsen als kostengünstige Möglichkeit einer Verringerung der atmosphärischen CO₂-Konzentration angesehen. Da Entwicklungsländer jedoch keine Emissionsreduktionsverpflichtungen eingegangen sind, müssen sich für diese andere Vorteile aus einer Zusammenarbeit im Klimaschutz mit einem Industrieland ergeben. Im Folgenden soll am Beispiel von Indien dargestellt werden, in welchem Rahmen sich die CO₂-Minderungskosten von Aufforstungsprojekten in Entwicklungsländern bewegen und welche Anreize für Entwicklungsländer bestehen, im Klimaschutz mit Industrieländern zusammenzuarbeiten. Durch einen Vergleich mit den Minderungskosten in Deutschland wird dessen Kosteneinsparpotenzial durch eine Zusammenarbeit im Klimaschutz mit Indien quantifiziert.

2 Aufforstungsmaßnahmen

Wälder spielen seit jeher eine bedeutende Rolle in der indischen Gesellschaft. Sie dienen als bedeutende Rohstoffquelle für die Wirtschaft, bieten Millionen Menschen Arbeitsmöglichkeiten und versorgen Mensch und Tier mit Nahrungsmitteln. Außerdem stellen sie die bedeutendste Energiequelle für die Landbevölkerung dar, die den überwiegenden Teil ihres Nutzenergiebedarfs, hauptsächlich für die Erwärmung von Nahrungsmitteln, aus Brennholz gewinnt (SHUKLA 1998). Durch das starke Bevölkerungswachstum in Indien kam es in den vergangenen Jahren in zahlreichen Regionen zu einer Übernutzung der Waldressourcen, so dass trotz intensiver Aufforstungsmaßnahmen die Waldfläche abgenommen hat (STATESMAN 1999). Vielerorts sind deshalb Bodenerosion und eine verstärkte Wüstenbildung zu beobachten (DEVELOPMENT ALTERNATIVES 1994). Hier bieten sich Möglichkeiten, durch Aufforstungsmaßnahmen einen Beitrag zum Klimaschutz zu

¹ Zu den Treibhausgasen zählen CO₂, CH₄, N₂O, O₃, FCKW's.

leisten und gleichzeitig die natürlichen Ressourcen Indiens zu schützen sowie die Landbevölkerung beim Erhalt ihrer Lebensgrundlagen zu unterstützen.

2.1 Situation und Potenzial

Offiziell werden 76,52 Mio. ha der indischen Landfläche (328 Mio. ha) als Waldflächen ausgewiesen, was einem Anteil von ca. 23,3 % entspricht. Diese Flächen dürfen ausschließlich forstwirtschaftlich genutzt werden (GOVERNMENT OF INDIA 1997). Erhebungen mit Hilfe von Satellitenaufnahmen haben jedoch ergeben, dass nur 63,34 Mio. ha tatsächlich mit Wald bewachsen sind. Diese Waldfläche lässt sich nochmals unterteilen in „dichten Wald“, bei dem entsprechend der Definition des indischen Umwelt- und Forstministeriums über 40 % der Fläche von Bäumen bedeckt sein muss und in „offenen Wald“, bei dem Bäume nur 10 bis 40 % des Bodens bedecken. Von „dichtem Wald“ sind wiederum nur 36,73 Mo. ha der indischen Landfläche bewachsen, so dass nur 11,17 % Indiens mit Waldgebieten bedeckt sind, die auch tatsächlich als Wald klassifiziert werden können (GOVERNMENT OF INDIA 1997). Neben den klassifizierten Waldflächen gibt es noch „Buschland“, das ebenfalls durch eine sehr geringe Baumvegetation gekennzeichnet ist.

Trotz der durchgeführten Aufforstungsmaßnahmen, die jährlich ca. 2 Mio. ha ausmachen (CHATTERJEE 1995), hat sich die Waldfläche in den letzten Jahren vermindert. Dies ist vor allem auf die verbotene Nutzung der Waldfläche als Ackerland zurückzuführen (GOVERNMENT OF INDIA 1997). Da die Böden bereits nach wenigen Jahren ihre Fruchtbarkeit verlieren, werden immer neue Flächen gerodet, so dass sich bei steigender Bevölkerungszahl die Regenerationsphasen der Waldflächen verringern und es so zu einer Übernutzung und schließlich zu Wüstenbildungen kommt. Das Land wird dadurch für Forst- und Landwirtschaft unnutzbar. Desweiteren tragen die hohen Viehbestände durch Überweidung und die Brennholzgewinnung der wachsenden Bevölkerung zur Abnahme der Wälder bei (BARETH 1999, DWIVEDI 1996, LAL 1992).

Die Abnahme der Gesamtwaldfläche ist vor allem auf den Rückgang des „dichten Waldes“ zurückzuführen. So hat der „dichte Wald“ um 1,77 Mio. ha zwischen 1995 und 1997 abgenommen (GOVERNMENT OF INDIA 1997). Die Aufforstungsbemühungen müssen sich deshalb zum einen auf die Wiederaufforstung waldfreier Gebiete und zum anderen auf die Erhöhung des Baumanteils auf übernutzten Flächen mit geringem Baumbestand konzentrieren. Die Summe der entwaldeten Gebiete und der Wald mit einem Baumanteil von 10 bis 40 % sowie übernutztes Buschland bilden das Flächenpotenzial, das für Aufforstungsmaßnahmen im Rahmen der folgenden Berechnungen zur Verfügung steht. Da auf den offiziell ausgewiesenen Waldflächen eine alternative Nutzung untersagt ist, müssen bei der Kostenkalkulation keine Opportunitätskosten für den Boden berücksichtigt werden.

In den einzelnen Bundesstaaten Indiens differiert die Waldsituation deutlich. Während in einigen Bundesstaaten wie Rajasthan und West Bengal weniger als 10 % der Gesamtfläche mit Wald bedeckt sind, haben andere Staaten wie Arunachal Pradesh oder die Andaman und Nicobar Islands Waldanteile von über 80 %. Auch der Anteil des dichten Waldes an der Gesamtwaldfläche unterscheidet sich deutlich. Anhand der Waldanteile und Waldsituation in den einzelnen Bundesstaaten lassen sich die unterschiedlichen Aufforstungspotenziale berechnen.

Aufgrund der starken klimatischen, geologischen und geografischen Unterschiede des indischen Subkontinents lassen sich 14 Waldtypen unterscheiden (GOVERNMENT OF INDIA 1995). Um die für Aufforstungsmaßnahmen zur Verfügung stehenden Flächen unter Berücksichtigung des vorherrschenden Waldtyps zu ermitteln, werden die Aufforstungsflächen der einzelnen Bundesstaaten mit dem Anteil des dort jeweils vorherrschenden

Waldtyps in Bezug gesetzt. Als potenzielle Aufforstungsflächen gelten Flächen, die offiziell als Waldflächen ausgewiesen sind, in denen der Baumbestand jedoch weniger als 10 % Prozent beträgt („Aufforstungsfläche“) bzw. deren Flächen einen Baumbestand von 10 bis 40 % haben („Offen-Wald Fläche“). Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Aufforstungsflächen in Indien, unterteilt nach Waldtypen, eigene Berechnungen, (GOVERNMENT OF INDIA 1995, 1997)

Waldtyp	Gesamtaufforstungsfläche (km ²) ^a	Gesamte "Offen-Wald" Fläche (km ²) ^b
Tropical Dry Deciduous Forest	62 550	79 280
Tropical Moist Deciduous Forest	43 633	89 158
Tropical Thorn Forest	33 115	30 875
Tropical Wet Evergreen Forest	2 419	20 109
Subtropical Pine Forest	8 140	11 349
Himalayan Moist Temperate Forest	7 708	4 735
Tropical Semi-evergreen Forest	2 661	5 345
Montane Wet Temperate Forest	120	6 195
Subtropical Broad-leaved Hill Forest	130	4 536
Tropical Dry Evergreen Forest	1 490	2 164
Subtropical Dry Evergreen Forest	1 165	412
Himalayan Dry Temperate Forest	114	349
Littoral and Swamp Forest	1 377	1 664
Subalpine and Alpine Forest	8 932	5 136
Summe	173 556 (40%)	261 308 (60%)

^a Waldflächen mit Baumanteil von weniger als 10 %

^b Waldflächen mit Baumanteil von 10 bis 40 %

Die unterschiedlichen Waldtypen sind gekennzeichnet durch stark variierende Biomassezuwächse. Diese haben Einfluss auf die Kohlendioxidbindungsfähigkeit, da der Kohlenstoff aus dem Gas CO₂ in fester Form in der Biomasse gebunden wird. Da die Kosten für die Aufforstungsmaßnahmen zwischen den einzelnen Waldtypen kaum schwanken, hat die Kohlendioxidbindungsfähigkeit der Waldtypen großen Einfluss auf die Kosten pro Tonne CO₂, die in der organischen Masse als Kohlenstoff festgelegt wird. Es lassen sich drei Bereiche unterscheiden, in denen es zu einer Bindung von CO₂ in Waldlebensgemeinschaften kommt. Der wesentliche Anteil wird in den oberirdisch wachsenden, holzartigen Pflanzenteilen der Bäume gebunden. Hierzu zählen vor allem der Stamm und die Äste. In den Wurzeln wird ein weiterer bedeutender Anteil des Kohlendioxids gebunden. Untersuchungen gehen davon aus, dass ca. 17 % der Biomasse eines Baumes auf das Wurzelsystem entfallen (IPCC 1996). Es handelt sich hier um eine eher vorsichtige Abschätzung (siehe auch BROWN 1996)). Bei der Berechnung des jährlichen Biomassezuwachses wird von dem durchschnittlichen Zuwachs des einzelnen Waldtyps ausgegangen (RAVINDRANATH 1997). Bei den „Offen-Wald Flächen“ wird angenommen, dass nur die Hälfte des Biomassezuwachses im Vergleich zu waldfreien Flächen durch Aufforstungsmaßnahmen erzielt wird, da hier noch 10 bis 40 % der Fläche bewaldet ist.

Neben den oberirdisch wachsenden Pflanzenteilen sind im Boden, in Abhängigkeit von dem Waldtyp, beträchtliche Mengen an Kohlenstoff in dort vorkommenden Kleinlebewesen bzw. dem Humus gebunden. Ist der Boden nicht durch Vegetation bedeckt, sinkt der Kohlenstoffgehalt des Bodens deutlich (IPCC 1996). In den hier durchgeführten Berechnungen wird davon ausgegangen, dass bei einem vegetationsfreien Boden nur noch 25 % des ursprünglichen Kohlenstoffgehalts vorhanden ist. Bei einem Boden, der zu 10 bis 40 % mit Bäumen bedeckt ist, wird angenommen, dass der Kohlenstoffanteil des Bodens nur noch 50 % im Vergleich zu einem dicht bewaldeten Boden beträgt. Die Kohlenstoff-

verluste sind auf Bodenerosion, verstärkten Humusabbau und ausbleibende Nachlieferung organischer Masse zurückzuführen. In Tabelle 2 ist die durchschnittliche Kohlendioxidbindung pro Jahr und Hektar der 14 Waldtypen, in den ersten 40 Jahren nach einer Wiederaufforstung, zusammengefasst. Diese schwankt beträchtlich zwischen den einzelnen Waldtypen, was die Kostenunterschiede pro Tonne gebundenem CO₂ im Wesentlichen erklärt. Bei der Umrechnung von Biomassezuwachs in Kohlenstoff ist der Faktor 1:2 angenommen (IPCC 1996), (RAVINDRANATH 1995).

Tabelle 2: CO₂-Bindung der 14 indischen Waldtypen pro Hektar und Jahr, eigene Berechnungen anhand von Daten aus (GOVERNMENT OF INDIA 1995), (RAVINDRANATH 1997), (RAVINDRANATH 1995), (RANA 1985), (SHARMA 1990)

Waldtyp	Gesamt-CO ₂ -Bindung	Gesamt-CO ₂ -Bindung
	t/ha/a (Aufforstungsflächen)	t/ha/a (Offen-Waldflächen)
Tropical Dry Deciduous Forest	9,70	5,52
Tropical Moist Deciduous Forest	16,74	9,02
Tropical Thorn Forest	5,46	3,23
Tropical Wet Evergreen Forest	25,83	14,44
Subtropical Pine Forest	15,55	8,80
Himalayan Moist Temperate Forest	34,59	18,90
Tropical Semi-evergreen Forest	24,67	14,31
Montane Wet Temperate Forest	23,48	13,89
Subtropical Broad-leaved Hill Forest	12,32	7,41
Tropical Dry Evergreen Forest	7,98	4,37
Subtropical Dry Evergreen Forest	9,36	5,06
Himalayan Dry Temperate Forest	12,66	7,19
Littoral and Swamp Forest	8,76	4,72
Subalpine and Alpine Forest	23,39	14,65

2.2 Ökonomische Rahmenbedingungen

Um die CO₂-Minderungskosten berechnen zu können, müssen die Aufwendungen über den Nutzungszeitraum des Waldes mit der Gesamtmenge des gebundenen CO₂ in Relation gesetzt werden. Für die ökonomischen Berechnungen ist eine Nutzungsdauer von 40 Jahren angenommen. Auf diesen Zeitraum beziehen sich die Kosten. Die Kalkulation ist mit einem Zinssatz von 5 % durchgeführt. Es wird mit landesüblichen Löhnen und Preisen gerechnet. Der Arbeitslohn pro Tag beträgt 110 Rupees, ein Setzling kostet 3 Rupees und ein Kilogramm Stickstoffdünger kostet 10 Rupees (SINHA 1996). Die Kostenkomponenten pro Hektar Neuaufforstung sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Da die Anpflanzungen häufig auf bereits degradierten Böden vorgenommen werden, sind auch Kosten für die Anlage von Steinmauern berücksichtigt, die der Erosion entgegenwirken und den Wasserabfluss verlangsamen. Diese Maßnahme bewährt sich seit vielen Jahren vor allem auf hängigen degradierten Standorten. Um den Aufwuchs der Setzlinge zu gewährleisten, wird eine Kontrollperson pro 20 ha Waldfläche während der ersten fünf Jahre eingestellt. Diese soll die Zerstörung der jungen Pflanzen durch Vieh, die Brennholzgewinnung sowie das Ausbrechen von Feuern verhindern. Dadurch konnte der Erfolg bei der Neuanlage von Waldfläche sowie der Waldaufwuchs deutlich erhöht werden (SINHA 1996). Insgesamt belaufen sich die abdiskontierten Kosten für die Aufforstung von einem Hektar auf 1.056 DM. Zu diesen Pflanz- und Pflegekosten, die in den ersten drei Jahren der Aufforstung anfallen, sind noch die jährlich für die Kontrollperson anfallenden Kosten hinzuzurechnen.

Tabelle 3: Kostenkomponenten für die Aufforstung eines Hektar Waldes in Indien (SINHA 1996)

	Anzahl	Kosten/ha (Rps)	Arbeitsbedarf pro ha in Manntagen
Setzlinge	1 500	4 500	
Unkrautjäten Jahr 1	2	3 300	30
Unkrautjäten Jahr 2	2	2 750	25
Unkrautjäten Jahr 3	2	1 650	15
Stickstoffdünger kg/Setzling	0,025	375	
Setzlinge für Nachpflanzung im 2. Jahr	200	900	
Kontrollperson (1/20ha)	0,05	2 008	
Pflanzung	1	4 400	40
Nachpflanzung im 2. Jahr (20%)	0,2	880	8
Bodenbearbeitung	1	2 750	25
Steinmauerbau	1	1 200	
Overhead-Kosten	1	2 000	

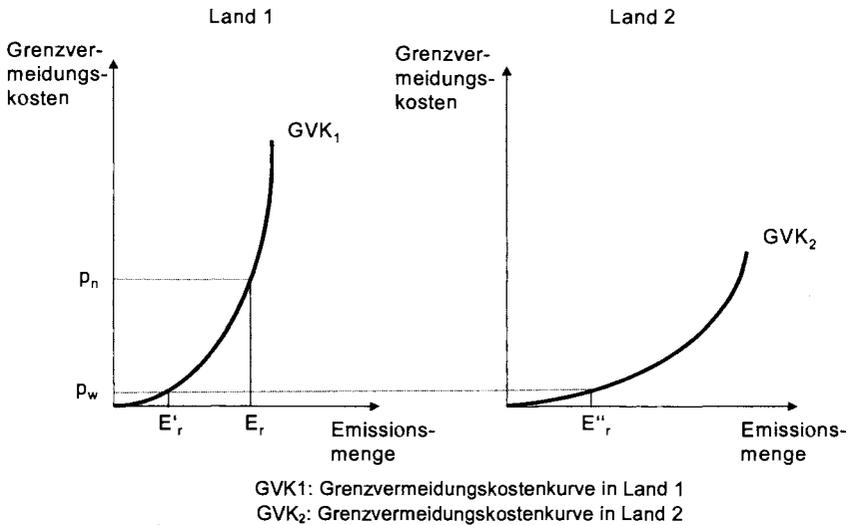
Da bei der Nachpflanzung der Arbeitsbedarf sowie der Bedarf an Setzlingen und Düngemitteln niedriger ist als bei der Aufforstung, sind auch die Gesamtkosten geringer. Die einmaligen Gesamtkosten für die Nachpflanzung 1 ha Wald belaufen sich auf 698 DM. Hierzu sind noch jährlich anfallende Kosten für die Kontrollperson zu addieren.

Anhand dieser Daten lassen sich Kosten pro gebundene Tonne CO₂ je nach Waldtyp von 3 bis 12 DM bei Aufforstungsmaßnahmen und von 3 bis 17 DM bei Nachpflanzungsmaßnahmen berechnen. Zu diesen Werten müssen noch Transaktionskosten hinzugerechnet werden. Diese ergeben sich durch die Schaffung von institutionellen Rahmenbedingungen, die eine Zusammenarbeit zwischen Industrie- und Entwicklungsländern ermöglichen und die Überwachung der erreichten CO₂-Bindung verifizieren sowie durch die Suche nach einem geeigneten Projektpartner. Zusätzlich ergeben sich Risiken, wie die Vernichtung der Waldflächen durch Feuer oder Abholzung. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Transaktionskosten bei vergleichbaren Projekten bei ca. 10 bis 20 % der Projektkosten liegen (WIETSCHEL 1999).

3 Der Clean Development Mechanism

Der Clean Development Mechanism ist im Kyoto-Protokoll definiert als Zusammenarbeit zwischen einem Industrieland mit Emissionsreduktionsverpflichtung und einem Entwicklungsland ohne Emissionsreduktionsverpflichtung. Dabei verpflichtet sich ein Industrieland, Reduktionsmaßnahmen in einem Entwicklungsland zu finanzieren und erhält dafür die eingesparte Emissionsmenge auf seine Reduktionsverpflichtung angerechnet (UNFCCC 1998). Aus ökonomischer Sicht ist eine Zusammenarbeit zwischen zwei Ländern vor allem bei unterschiedlichen Grenzvermeidungskosten sinnvoll. Grafisch lässt sich der durch eine Zusammenarbeit erzielbare Effizienzgewinn zwischen einem Industrie- und Entwicklungsland wie folgt darstellen (vgl. Abbildung 1):

Abbildung 1: Effizienzgewinn durch internationale Zusammenarbeit zwischen einem Industrie- und einem Entwicklungsland (eigene Darstellung)



Die Gesamtemissionsmenge, die Land 1 (Industrieland mit Reduktionsverpflichtung) reduzieren muss, ist E_r . Bei dieser Reduktionsmenge würden die Grenzvermeidungskosten bei p_n liegen. Werden jedoch auch die Emissionsminderungsmöglichkeiten in Land 2 (Entwicklungsland ohne Reduktionsverpflichtung) berücksichtigt, so lassen sich durch eine Kooperation beider Länder die Grenzvermeidungskosten auf p_w reduzieren. Die Kosteneinsparung für Land 1 ergibt sich aus der geringeren Steigung der Grenzvermeidungskostenkurve in Land 2. Genau bei p_w sind die Grenzvermeidungskosten in Land 1 und 2 identisch, was einer kostenminimalen Lösung entspricht. Die Emissionsmenge, die in Land 1 reduziert wird, liegt jetzt bei E'_r , während in Land 2 E''_r reduziert wird. Die beiden Reduktionsmengen ergeben zusammen die vorgegebene Gesamtreduktionsmenge E_r .

Voraussetzung für die Zulässigkeit der beschriebenen Zusammenarbeit ist die im Kyoto-Protokoll geforderte „Zusätzlichkeit“. Das bedeutet, dass nur Maßnahmen einem Industrieland angerechnet werden, die ohne dessen finanzielle Unterstützung in dem Entwicklungsland nicht wirtschaftlich wären. Da eine Zusammenarbeit auf freiwilliger Basis erfolgt, ist gewährleistet, dass ein Entwicklungsland nur solchen Projekten zustimmen wird, von denen es sich einen Nutzen verspricht. Das können neben dem Kapital- und Know-how-Transfer positive Beschäftigungseffekte oder Umweltschutzwirkungen sein.

Im Folgenden sind Grenzvermeidungskostenkurven für indische Aufforstungsmaßnahmen und für Minderungsmaßnahmen in Deutschland im Energiesektor abgebildet. Die Berechnungen wurden mit Hilfe eines linearen Optimierungsmodells durchgeführt. Bei dem hier verwendeten Modell handelt es sich um eine Weiterentwicklung des Energiemodells Perseus, das in GAMS programmiert ist (vgl. FICHTNER 1999; VAN DEN VOORT 1984). Das Modell ist in seiner Grundstruktur so angelegt, dass verschiedene Prozesse, in denen die Umwandlung der Energie modelliert werden muss, durch Energieflüsse miteinander verbunden sind. Außerdem können CO_2 -Senkenoptionen modelliert werden, bei denen keine Energie bereitgestellt wird, sondern Kosten für die Bindung von CO_2 entstehen. In einem ersten Schritt werden alle zur Verfügung stehenden Brennstoffe anhand ihres Energiegehaltes, ihres Kohlenstoffgehaltes und ihrer Kosten charakterisiert. Danach werden die be-

rücksichtigten Technologien und Maßnahmen durch technische (z. B. Wirkungsgrad) und ökonomische (z. B. variable und fixe Kosten) Parameter definiert. Für Deutschland sind eine Vielzahl von Technologien vor allem aus dem Kraftwerk- und Wärmebereich berücksichtigt, während in Indien im Rahmen der durchgeführten Berechnungen nur Aufforstungsmaßnahmen zugelassen sind. Exogen vorgegeben ist auch die Endenergienachfrage, die auf Prognosen beruht (vgl. ARDONE 1999; PROGNOSE 1996; SCHIFFER 1997) sowie der für Aufforstungsmaßnahmen zur Verfügung stehende Flächenumfang. Der Betrachtungszeitraum umfasst die nächsten 20 Jahre. Zielsetzung des Modells ist die Ermittlung der wirtschaftlich optimalen Energieversorgungsstruktur zur Deckung eines exogen vorgegebenen Nutzenergiebedarfs. Hierzu erfolgt die Minimierung der diskontierten Ausgaben des Energiesystems unter Beachtung verschiedener Restriktionen. Dabei muss die Endenergienachfrage der unterschiedlichen Energieformen (z. B. Wärme, Strom) zu jedem Zeitpunkt voll befriedigt werden. Als Folge müssen die Kapazitäten unter Beachtung ihrer Verfügbarkeit und Volllaststundenzahl die nachgefragte Energiemenge bereitstellen und liefern können. Die Kostenarten, die sich aus einer größeren Anzahl von Einzelkomponenten zusammensetzen, lassen sich mathematisch mit der Gleichung (1) zusammenfassen.

$$\min \sum_{t=T_0}^{T_n} (i_t * (Kfl(t) + Kinvt) + K var(t)) \quad (1)$$

Dabei bedeuten:

Kfl: energieflussabhängige Kosten

Kinv: Investitionskosten

Kvar: variable Kosten

T: Zieljahr

T₀: Basisjahr

i_t: Zinssatz im Jahr t

Wird eine Emissionsobergrenze als Restriktion vorgegeben, lassen sich als Ergebnis der Optimierung die wirtschaftlich effizientesten Maßnahmen zur Einhaltung der Restriktionen identifizieren. In den Abbildung 2 und 3 sind die prognostizierten CO₂-Grenzvermeidungskosten in Deutschland im Energiesektor und für Energiesparmaßnahmen abgebildet. Die CO₂-Minderungsmöglichkeiten in Indien beschränken sich ausschließlich auf Aufforstungsmaßnahmen. In Abbildung 2 sind die Grenzvermeidungskosten für das Jahr 2005 und in Abbildung 3 für das Jahr 2020 gegenübergestellt.

Anhand der beiden Kurven in Abbildung 2 wird deutlich, dass die Minderungskosten für Aufforstungsprojekte in Indien unter den deutschen Minderungskosten liegen. Mit zunehmender Emissionsminderungsmenge nimmt auch der Kostenabstand zwischen den deutschen und indischen Maßnahmen zu. In Deutschland sind vor allem Energiesparmaßnahmen im Raumwärmebereich zu niedrigen Kosten durchführbar. Trotzdem sind Aufforstungsmaßnahmen in Indien kostengünstiger. Bei einer deutlich gesteigerten Emissionsminderungsmenge erhöht sich dieser Kostenunterschied deutlich. Dies ist in Abbildung 3 für eine Emissionsminderung von 200.000 kt CO₂ im Jahr 2020 dargestellt.

Abbildung 2: CO₂-Grenzvermeidungskosten in Deutschland und Indien im Jahr 2005 (eigene Berechnung und Darstellung)

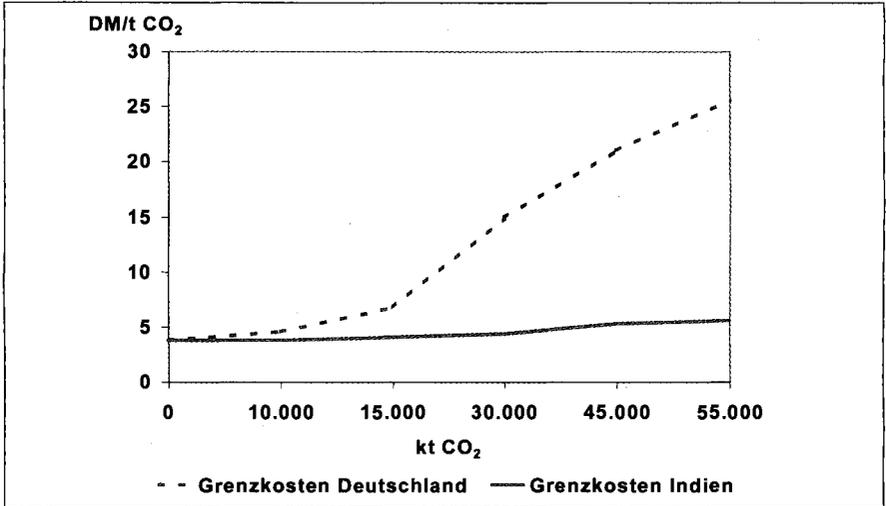
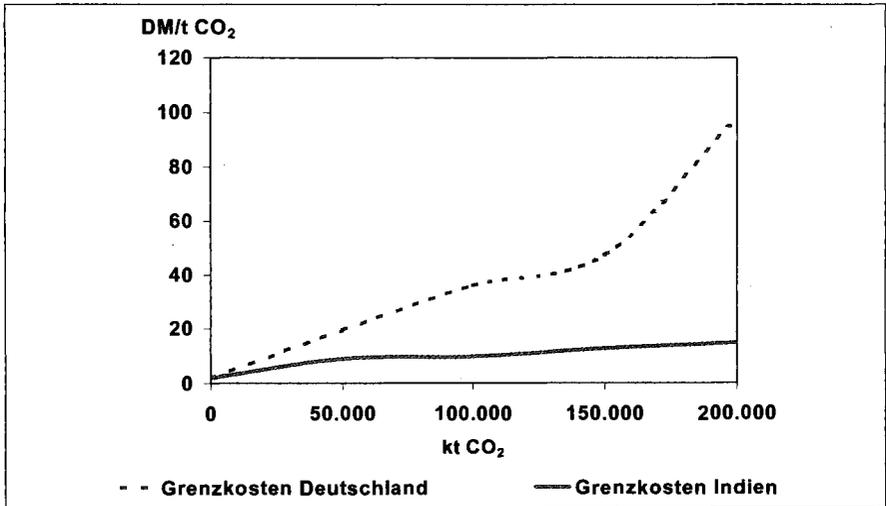


Abbildung 3: CO₂-Grenzvermeidungskosten in Deutschland und Indien im Jahr 2020 (eigene Berechnung und Darstellung)



Während in Deutschland der Grenzvermeidungskostenkurvenverlauf mit steigendem Reduktionsniveau zunehmend steiler wird, ist die Kostensteigerung der Aufforstungsmaßnahmen in Indien deutlich geringer. Dies liegt an der begrenzten Verfügbarkeit von kostengünstigen Emissionsminderungsmaßnahmen in Deutschland. Aufgrund der eingeschränkten Flächenverfügbarkeit und den damit relativ hohen Opportunitätskosten der

Flächennutzung, sind auch keine Aufforstungsmaßnahmen bei den Modellberechnungen in Deutschland berücksichtigt. Wie oben dargestellt, bieten sich in Indien dagegen zahlreiche Flächen für Aufforstungsmaßnahmen an, die als Waldflächen deklariert sind, jedoch nicht mehr bewaldet sind. Auch wenn mit zunehmendem Emissionsreduktionsniveau Waldtypen mit geringerem Biomassezuwachs aufgeforstet werden, liegen die Kosten doch deutlich unter den deutschen Minderungsmaßnahmen.

Nimmt man ähnliche Minderungskosten wie in Deutschland für andere Industrieländer an, wird deutlich, dass Aufforstungsmaßnahmen unter Bedingungen, wie sie in Indien vorherrschen, im Vergleich zu den meisten Minderungsmaßnahmen in Industrieländern aus ökonomischer Sicht sehr attraktiv sind. Dies erklärt auch, weshalb bei dem Klimagipfel im Juli 2001 in Bonn diese Maßnahmen eine entscheidende Bedeutung bei der Kompromissfindung gespielt haben.

3.1 Positive Nebeneffekte

Um nachhaltige Erfolge bei der Aufforstung zu erzielen, ist von entscheidender Bedeutung, die lokale Bevölkerung in alle Aktivitäten mit einzubeziehen (LAXMI 1997). Andernfalls kann sich häufig kein Wald entwickeln, da es in einem zu frühen Stadium bereits zur Beweidung und Brennholzgewinnung auf den Flächen kommt. Die Tatsache, dass Waldflächen häufig Gemeinschaftseigentum sind, verstärkt diesen Nutzungskonflikt. In den letzten Jahren wurden deshalb häufig Forstgenossenschaften gegründet, die mit großem Erfolg Neuanpflanzungen durchführen (SAXENA 1997). Durch die aktive Beteiligung der ländlichen Bevölkerung profitiert diese in vielfältiger Weise von der Wiederaufforstung (REDDY 1997; KADEKODI 1997). Da Indien als Entwicklungsland keine Emissionsreduktionsverpflichtung eingegangen ist, müssen sich durch eine Zusammenarbeit mit einem Industrieland andere Vorteile ergeben. Diese sind im Folgenden dargestellt.

Beschäftigungswirkungen. Bei Aufforstungsmaßnahmen bieten sich Beschäftigungsmöglichkeiten vor allem durch die Pflanzung der jungen Setzlinge sowie die Pflege der aufgeforsteten Flächen. Außerdem wird eine Kontrollperson pro 20 Hektar Waldfläche beschäftigt. Pro Hektar ist mit ca. 140 Manntagen an direkten Beschäftigungseffekten zu rechnen (siehe Tabelle 3). Bei der Nachpflanzung ist mit entsprechend geringeren Werten zu rechnen. Durch Vorleistungen z. B. in der Düngemittelindustrie treten weitere positive indirekte Beschäftigungseffekte auf. Da es sich bei Aufforstungsmaßnahmen um Tätigkeiten handelt, die auch von Arbeitskräften mit niedrigem Qualifikationsniveau durchgeführt werden können, ist gewährleistet, dass auch die Bevölkerung in ländlichen Gebieten ohne schulische Bildung diese Arbeiten ausüben kann (PTI 1999). Über 75 % der Gesamtkosten für die Aufforstungsmaßnahmen entfallen auf Lohnzahlungen. Dadurch ergeben sich Einkommensmöglichkeiten in Regionen, die weit von urbanen Zentren entfernt liegen. Dies trägt vor allem zur Armutsbekämpfung in ländlichen Gebieten bei.

Futter. Durch die Aufforstung von Wäldern wird ein gesteigertes Futterangebot durch Blätter und krautige Pflanzen für landwirtschaftliche Nutztiere geschaffen. Hier kann mit ca. 2 Tonnen Futter pro Hektar und Jahr gerechnet werden (SINHA 1996). Diese stellen häufig die Überlebensgrundlage für Familien in ländlichen Gebieten dar. Durch die vermehrte Produktion von Milch, Fleisch, Wolle und Dung kann der Lebensstandard dieser Menschen gehoben werden.

Brenn- und Bauholz. Bei einer nachhaltigen Waldwirtschaft kann auch wieder vermehrt Brenn- und Bauholz gewonnen werden. Vor allem Brennholz ist Grundvoraussetzung zur Befriedigung der Grundbedürfnisse auf dem Land, da häufig keine alternativen Brennstoffe zur Verfügung stehen. Bei der Berechnung der CO₂-Bindungsfähigkeit der Bäume ist berücksichtigt, dass abgestorbene Holzteile und Äste von der Bevölkerung genutzt werden. Diese entsprechen ungefähr 10 % des Biomasseaufwuchses.

Nahrungsmittel. Zur Deckung des eigenen Bedarfs können im Wald Früchte sowie Heilpflanzen gewonnen werden. Diese stellen häufig eine wichtige Vitaminquelle bzw. die einzige Arzneiquelle dar. Bei der Aufforstung ist deshalb darauf zu achten, dass heimische, an den jeweiligen Standort angepasste Pflanzen, für die Aufforstung verwendet werden. Dies ist bei der Kostenkalkulation berücksichtigt.

Erhalt der Fruchtbarkeit des Bodens. Durch die Wiederaufforstungsmaßnahmen kann auch der häufig zu beobachtenden Bodenerosion Einhalt geboten werden. Dies trägt zum Erhalt und zur Steigerung der Bodenfruchtbarkeit bei. Anderenfalls besteht die Gefahr, dass die Fruchtbarkeit des Bodens völlig verloren geht, so dass eine Wiederbegrünung nur mit großem Aufwand möglich ist.

3.2 Besonderheiten von Aufforstungsprojekten

Unter den Klimaschutzoptionen stellen Aufforstungsprojekte einen besonderen Maßnahmentyp dar. Es handelt sich nicht um Emissionsreduktionsmaßnahmen, sondern um die Aufnahme von atmosphärischem Kohlendioxid, das in Form von Biomasse gebunden wird. In diesem Zusammenhang wird auch von „Senkoptionen“ gesprochen. Hierbei handelt es sich folglich nicht um den Einsatz einer effizienten Technologie mit begrenzter Lebensdauer. Diese Maßnahmen sind nur dann sinnvoll, wenn die Kohlenstoffbindung über einen längeren Zeitraum von mehreren Jahrzehnten erfolgt. Problematisch bei diesen Maßnahmen ist die begrenzte Flächenverfügbarkeit. Sollten Entwicklungsländer in Zukunft eigene Reduktionsverpflichtungen eingehen, steht ihnen die bereits genutzte Fläche nicht mehr zur Verfügung. Dadurch könnten sich die zukünftigen Minderungskosten in diesen Ländern erhöhen. Entwicklungsländer, die Aufforstungsmaßnahmen im Rahmen von internationalen Klimaschutzbemühungen anbieten, müssen sich deshalb überlegen, in welchem Umfang Flächen zur Verfügung gestellt werden sollen. Dies hängt u. a. davon ab, welche Erwartungen sie bezüglich der zukünftigen Emissionsreduktionsverpflichtung haben und ob bei einer unterlassenen Aufforstung diese Flächen in einigen Jahrzehnten z. B. aufgrund von Erosionsschäden unfruchtbar geworden sind. Die Höhe der Gegenwartspräferenz ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung. Je höher diese ist, desto eher ist eine Nutzung der Flächen für Aufforstungsmaßnahmen zu einem früheren Zeitpunkt im Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit sinnvoll. Ebenso muss die Bedeutung der positiven Nebeneffekte von Aufforstungsmaßnahmen, wie die Schaffung von Arbeitsplätzen oder die Bereitstellung von Nahrung, Brennholz, Viehfutter und die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit in der jeweiligen Region bei der Bewertung berücksichtigt werden.

Um Aufforstungen als Klimaschutzmaßnahmen durchführen zu können, müssen noch Unklarheiten bei der exakten Quantifizierung des ober- und unterirdisch in Form von Biomasse gebundenen Kohlenstoffs beseitigt werden. Den oben durchgeführten Berechnungen liegen Werte von ersten Erhebungen zugrunde, die in Zukunft durch weitere Untersuchungen erhärtet werden müssen.

4 Zusammenfassung

In Indien besteht ein großes Potenzial für Klimaschutzprojekte im Forstbereich. Aufgrund geringer Lohnkosten und einer großen Flächenverfügbarkeit können Aufforstungsmaßnahmen zu vergleichsweise niedrigen Kosten realisiert werden. Auch im internationalen Vergleich sind die CO₂-Bindungs- bzw. Vermeidungskosten von Aufforstungsprojekten in Indien niedrig. Sie stellen deshalb eine interessante Investitionsmöglichkeit für Industrieländer dar. Bei derartigen Projekten ist die Flächenverfügbarkeit der begrenzende Faktor. Sollten Entwicklungsländer in Zukunft eigene Emissionsreduktionsverpflichtungen eingehen, steht ihnen die bereits genutzte Fläche nicht mehr zur Verfügung. Sie müssen deshalb abwägen, ob die positiven Nebeneffekte einer heutigen Nutzung die möglichen höheren Minderungskosten in Zukunft kompensieren.

Literatur

- ARDONE, A.V. (1999): Entwicklung einzelstaatlicher und multinationaler Treibhausgasminderungsstrategien für die Bundesrepublik Deutschland mit Hilfe von optimierenden Energie- und Stoffflußmodellen, Berlin.
- BARETH, N. (1999): *Losing Woods for the Trees*. Jaipur.
- BROWN, S. (1996): *A Primer for Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forests*. FAO Forestry Paper. FAO.
- CHATTERJEE, K. (1995): *Joint Implementation: Opportunities for Indian Forestry*. In: *Development Alternatives*, June 1995, S. 12-13.
- DEVELOPMENT ALTERNATIVES (1994): *Wasteland Development*. New Delhi.
- DWIVEDI, B.N. and KAUL, O.N. (1996): *Forests as Biomass Energy Resource in India*, Hrsg.: RAMANA, V.; SRINIVAS, S., N. New Delhi.
- FICHTNER, W. (1999): *Strategische Optionen der Energieversorger zur CO₂-Minderung*, Berlin.
- GOVERNMENT OF INDIA (1995): *The State of Forest Report 1995*. Dehra Dun: Ministry of Environment and Forests.
- GOVERNMENT OF INDIA (1997): *State of Forest Report 1997*. Dehra Dun: Ministry of Environment and Forests.
- IPCC (1996): *Revised 1996 Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories - Reference Manual*. Volume 3, New York.
- IPCC (2001): *Third Assessment Report - Summary for Policymakers*. Genf.
- KADEKODI, G.R.N.H. (1997): *Macro-economic Analysis of Forestry Options on Carbon Sequestration in India*. In: *Ecological Economics* 23, Heft 3, S. 201-223.
- LAL, J.B. (1992): *Economic Value of India's Forest Stock*, Hrsg.: Agarwal; A. New Delhi.
- LAXMI, V.P.J.K. (1997): *Land Regeneration Programmes: Lessons from Successes and Failures*, Hrsg.: Parikh, J., Reddy, K.. S. New Delhi.
- PRICEWATERHOUSECOOPERS (2000): *Klima im Wandel*, Oktober 2000.
- PROGNOS (1996): *Energiereport II - Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020*. Stuttgart.
- PTI (1999): *How Tribals Turn into Hi-tech Forest Guards*. New Delhi.
- RANA, B., S. (1985): *Biomass and Net Primary Productivity in Different Forest Ecosystems Along an Altitudinal Gradient in Kumaun Himalaya*. Kumaun University.
- RAVINDRANATH, N., H. and Hall, D., O. (1995): *Biomass, Energy and Environment - A Developing Country Perspective from India*. Oxford, New York.
- RAVINDRANATH, N. H., SOMASHEKHAR, B.S. and GADGIL, M. (1997): *Carbon Flow in Indian Forests*. In: *Climatic Change* 35, S. 297-320.
- REDDY, S.B., PARIKH, J.K. and PARIKH, K.S. (1997): *Framework for Economic, Social and Natural Resource Accounting for Land Regeneration*. Ed.: J. PARIKH, K.; REDDY, B., S. New Delhi.
- SAXENA, R.A.R. (1997): *An Appropriate Socio-eco-environmental Accounting Framework Proposed for Tree Growers' Cooperatives with a Case Study*. Hrsg.: J. Parikh, K.; Reddy, B., S. New Delhi.
- SCHIFFER, H.J. (1997): *Deutscher Energiemarkt '96*. In: *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 47 (3), S. 152-159.
- SHARMA, R.B., CHANDRA, M. and SINGH, K.P. (1990): *Variations in Forest Biomass and Productivity*. Banaras Hindu University.
- SHUKLA, P.R. (1998): *Implications of Global and Local Environment Policies on Biomass Energy Demand: a Long-term Analysis fo India*. Paris.
- SINHA, B.K.P. (1996): *State Forestry Action Programme Uttar Pradesh: Department of forests, Government of Uttar Pradesh, India*.
- STATESMAN (1999): *MP Forest Area Shrinking*. Bhopal.

UNFCC (1998): The Kyoto Protocol. Paris.

VAN DEN VOORT, E. (1984): Energy supply modelling package EFOM-12c Mark I, Mathematical description, Cabay.

WIETSCHEL, M. and RENTZ, O. (1999): Transaktionskosten in der Umweltökonomie. In: Zeitschrift für Umweltpolitik und Umweltrecht, Heft 3, S. 449-463.