Rolf Meyer
Jan Börner

November 2001

TA-Projekt

Bioenergieträger und Entwicklungsländer

Endbericht

TAB Arbeitsbericht Nr. 73

TAB
Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag

Das Büro für Technikfolgen-Abschätzung beim Deutschen Bundestag (TAB) berät das Parlament und seine Ausschüsse in Fragen des gesellschaftlich-technischen Wandels. Das TAB ist eine organisatorische Einheit des Instituts für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS) des Forschungszentrums Karlsruhe und arbeitet seit 1990 auf der Grundlage eines Vertrages zwischen dem Forschungszentrum und dem Deutschen Bundestag.

Inhalt

Zusammenfassung **5**

I. Einleitung **27**

1. Problemstellung 27
2. Zielsetzung und Vorgehensweise 28
3. Themen und Aufbau des Endberichtes 29

II. Einsatz und Perspektiven regenerativer Energieträger in Entwicklungsländern **33**

1. Szenarienanalysen 33
2. Primär- und Endenergieverbrauch in Entwicklungsländern 36
3. Nutzung regenerativer Energieträger 40

III. Energetische Nutzung von Biomasse in Entwicklungsländern **43**

1. Biogene Festbrennstoffe 43
   - 1.1 Definition und technische Biomassepotenziale 43
   - 1.2 Analyse der gegenwärtigen Nutzung und Perspektiven 46
2. Ölpflanzen als Energieträger 66
   - 2.1 Verfahren der Pflanzenölproduktion 67
   - 2.2 Verfahren der energetischen Nutzung von Pflanzenölen 71
   - 2.3 Nutzung von Pflanzenöl 76
   - 2.4 Perspektiven der energetischen Nutzung von Pflanzenöl 81
3. Biogas 83
   - 3.1 Verfahren der Biogasgewinnung 84
   - 3.2 Techniken der Biogaserzeugung 86
   - 3.3 Anwendungsbereiche für Biogas 88
   - 3.4 Biogasnutzung in Entwicklungsländern 91

IV. Umsetzungsrestriktionen 97

1. Bestimmungsfaktoren für Energieeinsatz und neue Energietechnologien 97
   1.1 Bestimmungsfaktoren des Energieeinsatzes 97
   1.2 Bestimmungsfaktoren für die Verbreitung neuer Technologien 99
2. Nicht-technische Hemmnisse für Bioenergieträger 102
   2.1 Ökonomischer Kontext 102
   2.2 Politischer und institutioneller Kontext 107
   2.3 Ökologischer Kontext 111
   2.4 Soziokultureller Kontext 114
3. Technische Hemmnisse 118
4. Ansatzpunkte zum Abbau von Umsetzungs restriktionen 119

V. Auswirkungen einer verbesserten und verstärkten Nutzung von Bioenergieträgern 125

1. Umweltwirkungen 125
   1.1 Biofestbrennstoffe 126
   1.2 Pflanzenöle 135
   1.3 Biogas 139
2. Sozioökonomische Auswirkungen 141
   2.1 Entwicklungsländer 141
   2.2 Industrieländer 143

VI. Gemeinsame Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen - Clean Development Mechanism 145

1. Instrumente der internationalen Klimapolitik 145
2. Charakteristika und Problembereiche des CDM 148
   2.1 Erste Erfahrungen 148
   2.2 Nationale Instrumente in Industrieländern als Anreize für CDM 149
   2.3 Der Wettbewerb zwischen den Kyoto-Mechanismen 150
   2.4 Der Wettbewerb zwischen unterschiedlichen Projektformen 151
3. Offene Fragen des CDM 156
   3.1 Organisation des CDM auf internationaler Ebene 156

3.2 Institutionelle Ausgestaltung des CDM auf internationaler Ebene ... 158
3.3 Offene inhaltliche Fragen ... 160
3.4 Organisation des CDM auf nationaler Ebene ... 163

4. Fazit ... 165

VII. Handlungsmöglichkeiten ... 167

1. Nationale Ebene ... 167
1.1 Umwelt- und klimapolitische Handlungsmöglichkeiten ... 169
1.2 Entwicklungspolitische Handlungsmöglichkeiten ... 170
1.3 Forschungs- und technologiepolitische Handlungsmöglichkeiten ... 178
1.4 Querschnittsaufgaben ... 180

2. Internationale Ebene ... 181
2.1 Ausgestaltung des CDM ... 181
2.2 Energiepolitik der Entwicklungsländer ... 183

Literatur ... 187

1. In Auftrag gegebene Gutachten ... 187

2. Weitere Literatur ... 187

Anhang ... 189

1. Verzeichnis der verwendeten Einheiten ... 189

2. Tabellenverzeichnis ... 190

3. Abbildungsverzeichnis ... 191

4. Abkürzungsverzeichnis ... 192

TAB

Zusammenfassung

Das TA-Projekt "Bioenergieträger und Entwicklungsländer" geht auf Vorschläge der Ausschüsse für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung und für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung zurück. Zielsetzung des im Oktober 1999 begonnenen Projektes ist es, die Chancen und Probleme einer verstärkten Nutzung biogener Energieträger in Entwicklungsländern zu untersuchen sowie die Gestaltungsmöglichkeiten der Entwicklungs-, Klimaschutz-, Forschungs- und Technologiepolitik in diesem Themenbereich herauszuarbeiten.

Einsatz und Perspektiven regenerativer Energien in Entwicklungsländern

Der aktuelle Stand und die Perspektiven der Nutzung erneuerbarer Energien werden anhand eines Vergleichs verschiedener Szenarienanalysen beschrieben. Solche Analysen werden auf der Basis von Annahmen und statistisch ermittelten Trends ökonomischer Indikatoren erstellt und müssen dementsprechend interpretiert werden. **Gegenwärtig** werden weltweit ca. 9,25 Gtoe aus fossilen und erneuerbaren Energieträgern verbraucht, davon 3,8 Gtoe in den Entwicklungsländern. **Bis zum Jahre 2050 erwartet man weltweit mindestens eine Verdopplung und höchstens eine Vervierfachung der Verbrauchsmenge.** Dabei wird der Energieverbrauch in den Entwicklungsländern stärker zunehmen als in den Industriestaaten. Der Anteil regenerativer Energieträger am Energieträgermix wird sich dem World Energy Council zufolge voraussichtlich von 1,09 auf 3,23 Gtoe erhöhen, was dann nahezu einem Drittel des Gesamtprimärenergieverbrauchs der Entwicklungsländer entspräche.

Innerhalb der Gruppe der erneuerbaren Energien wird der Biomasse zunächst eine größere Bedeutung zugesprochen als der Solarenergie oder der Wind- und Wasserkraft. Alle Szenarienanalysen zeigen, dass es sich um eine "robuste" Entwicklung handelt und in diesem Bereich erhebliche Marktpotenziale für Energieerzeugungs- und -umwandlungsanlagen erschlossen werden können. Moderate Wachstumsraten kennzeichnen die Entwicklung bis zum Jahr 2020. Danach gehen die Szenarienanalysen von einer zunehmend beschleunigten Ausweitung der Nutzung regenerativer Energien aus, so dass dieser Markt ein mindestens so großes Volumen haben wird wie der von Anlagen, die mit fossiler Energie betrieben werden.

Nutzung von Bioenergieträgern in Entwicklungsländern

Biofestbrennstoffe

In den Entwicklungsländern werden **Biofestbrennstoffe** vor allem in Form von Holz, Nebenprodukten aus der landwirtschaftlichen Produktion (Ernterückstände) und Tierdung genutzt. Dabei ist Holz der mit Abstand bedeutendste biogene Energieträger. Teilt man die Entwicklungsländer in drei Regionen (Afrika, Lateinamerika einschl. Karibik, Asien) auf, stellt man fest, dass Biomasse in sehr unterschiedlicher Form und Menge genutzt wird. Der Biomasseanteil am Energieträgermix liegt in Lateinamerika dreimal und in Afrika zweimal so hoch wie in Asien. In den allermeisten afrikanischen Ländern südlich der Sahara beträgt der Anteil der Biomasse sogar zwischen 70 und 90 %. Davon wiederum wird der größte Teil (bis zu 90 %) von Haushalten zum Kochen (in Form von Holz, Holzkohle und Ernteresten) verwendet.

Unter den Biomassefraktionen dominiert Holz (bzw. Holzkohle) in allen drei Regionen. Ernterückstände werden vor allem in Asien energetisch genutzt, wobei besonders in Lateinamerika von einem hohen ungenutzten Potenzial auszugehen ist. In vielen Entwicklungsländern und besonders in Brasilien gewinnt die energetische Nutzung von Bagasse aus der Zuckerrohrverarbeitung an Bedeutung. Auch Tierdung wird v.a. in den Teilen Asiens genutzt, in denen höherwertige Brennstoffe entweder nicht oder nur unzureichend vorhanden sind.

Betrachtet man die einzelnen Wirtschaftssektoren in den drei Regionen, wird deutlich, dass ein Großteil der Biomasse in **privaten Haushalten zum Kochen und Heizen** verwendet wird. Die gewerbliche Nutzung von Biomasse ist jedoch nicht unbedeutend, und viele landwirtschaftliche Betriebe, Brauereien sowie Ziegelbrennereien u.ä. sind auf Biomasse als Primärenergiequelle angewiesen.

Herde, Brenner und Öfen sind die gängigen Konversionstechniken zur Umwandlung von Primär- zu Nutzenergie in den Entwicklungsländern, und ein wichtiger Indikator für die Nutzung von Biomasse ist die Effizienz dieser Anlagen. Dabei lässt sich beobachten, dass entsprechend der wirtschaftlichen Entwicklung die Nutzungsgrade dieser Technologien in Lateinamerika durchschnittlich am höchsten (bis zu 35 %) und in Afrika am niedrigsten (bis zu 21 %) sind. In der Vergangenheit wurde vielfach versucht, den durchschnittlichen Nutzungsgrad der Anlagen durch die gezielte Verbreitung verbesserter Herde und Öfen anzuheben. Diese Strategie war aber nur bedingt erfolgreich, da die neuen Technologien oft nicht kulturell angepasst waren oder technische

Mängel aufwiesen. Ausnahmen stellen China für die Verbreitung verbesserter Herde auf Haushaltsebene und Brasilien für die fast flächendeckende Verbesserung der Nutzungsgrade in der Holzkohleherstellung dar.

Der Einsatz von Biofestbrennstoffen muss sowohl heute als auch in Zukunft in Konkurrenz zur Nutzung fossiler Energieträger gesehen werden. In den meisten Entwicklungsländern mit Ausnahme einiger afrikanischer Staaten (z.B. Simbabwe) dominiert der Anteil fossiler Energieträger am Gesamtenergieträgermix. In allen drei Regionen wird in den nächsten Jahren ein moderates wirtschaftliches Wachstum und infolgedessen auch ein Anstieg des Energieverbrauchs erwartet. Besonders in Asien und Afrika erhöht sich dieser Verbrauch zusätzlich durch die schnell wachsende Bevölkerung. In diesem Zusammenhang liegt der **Vorteil der Biofestbrennstoffe** darin, dass sie **Energie weitgehend ohne die zusätzliche Emission von Kohlenstoffdioxid** und anderen klimawirksamen Gasen bereitstellen. Schon heute werden große Mengen Kohlenstoffdioxid durch den Einsatz von Bioenergieträgern vermieden.

Weltweit stehen ca. 104 EJ/Jahr an Energie aus Biofestbrennstoffen zur Verfügung. Zurzeit wird aber nur ein Drittel dieser Menge energetisch genutzt. Dabei ist zu bedenken, dass Biofestbrennstoffe nicht immer dort verfügbar sind, wo sie benötigt werden. So gibt es in Asien kaum ungenutztes Biomassepotenzial, und vielerorts treten sogar ökologische Schäden durch Übernutzung der Wälder auf. Allenfalls in Afrika gibt es noch Regionen, in denen Biomasse im Übermaß vorhanden ist. Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch, dass ein zunehmender Teil der zur Energienutzung verwendeten Festbrennstoffe aus landwirtschaftlichen Flächen stammt, wobei allerdings zukünftig die Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion verstärkt zu beachten sein wird. Im Sinne einer nachhaltigen energetischen Nutzung des Biomassepotenzials sollten zwei unterschiedliche Ziele verfolgt werden. Zum einen sollte v.a. regional für Nachhaltigkeit in der Bereitstellung von Biofestbrennstoffen gesorgt werden, d.h. es darf nicht mehr Biomasse verbraucht werden als nachwächst, und Wälder müssen ggf. entsprechend bewirtschaftet werden. Zum anderen sollte die Effizienz in der Energiekonversion gesteigert werden, um die Verbrauchsmenge zu reduzieren. Entwicklungspolitisch interessant werden könnte weiterhin die Umwandlung von Biofestbrennstoffen in Strom oder Gas.

Ölpflanzen

Ölpflanzen und insbesondere Ölpalmen sind die zweite Kategorie von Bioenergieträgern, die im Rahmen des TA-Projekts untersucht wurde. Neben ihrer Bedeutung als Nahrungsmittelfette und in der oleochemischen Industrie hat v.a. die energetische Nutzung von Pflanzenölen an Bedeutung gewonnnen und ansatzweise zur Substitution von fossilen Energieträgern geführt. Weltweit konnte die Produktion von Pflanzenölen in den letzten 30 Jahren um fast 250 % gesteigert werden.

Die Purgiernuss stellt eine Ölpflanze für die ariden Zonen dar, die beispielsweise in der Form von Hecken neben dem Erosionsschutz auch für die Kraftstoffgewinnung genutzt werden kann.

Als produktivste Ölpflanze der Tropen werden Ölpalmen v.a. in West- und Äquatorialafrika, Südostasien und Mittel- bzw. Südamerika angebaut und zeichnen sich durch vergleichsweise hohe Erträge bei niedrigem Düngeraufwand aus. Sowohl in der Produktion als auch in der Verarbeitung, also der Extraktion von Palm- und Palmkernöl, hat sich eine eher industrielle Produktionsform durchgesetzt. Die kleinbäuerliche Produktion ist jedoch trotz des geringeren Ertragsniveaus wirtschaftlich relevant und wird als förderungswürdig erachtet, da sie geringere Umweltbelastungen verursacht.

Sowohl die industrielle als auch die kleinbäuerliche Produktion kann hinsichtlich der energetischen Effizienz durch die Nutzung von Neben- und Sekundärprodukten (z.B. Frucht- und Steinschalen und Ölmühlenabwässer) erheblich optimiert werden.

Ein Potenzial zur Minderung von Emissionen durch die energetische Nutzung von Pflanzenölen wird v.a. in der **Substitution von flüssigen Energieträgern im Transportsektor** gesehen. Zu diesem Zweck kann Pflanzenöl entweder direkt oder in veränderter Form, z.B. durch Konversion in Mineralölraffinerien oder Veresterung, als Kraftstoff, nutzbar gemacht werden.

Eine Ausweitung der Pflanzenölproduktion hängt von einer Vielzahl verschiedener Faktoren ab. Ökonomisch betrachtet konkurriert der Preis für Pflanzenöl mit dem Ölpreis, und da Kraftstoffe fossilen Ursprungs vielerorts subventioniert werden, ist Pflanzenöl bisher nur in Einzelfällen konkurrenzfähig. Ein Konkurrenzverhältnis besteht auch zwischen der energetischen Nutzung von Pflanzenöl und dessen Funktion als Nahrungsmittel. Eine Preissteigerung infolge einer politisch induzierten, erhöhten Nachfrage nach Pflanzenöl für die energetische Nutzung würde die ohnehin schon prekäre Ernährungssituation v.a. in pflanzenölimportierenden Ländern (z.B. China und Indien) verschärfen.

Über die Nahrungsmittelproduktion hinaus steht die energetische Verwendung von Pflanzenölen auch in Konkurrenz zur chemisch-technischen Nutzung.

Schließlich sind einer Erhöhung der Pflanzenölproduktion durch den Mangel an geeigneten Flächen Grenzen gesetzt. Ökologisch vertretbar ist nur eine Ausdehnung des Anbaus auf degradierten Flächen (wie z.B. Savannen) oder die Umwidmung von Flächen, die ohnehin schon landwirtschaftlich genutzt werden. Ferner ist eine Steigerung des Ertragsniveaus durch Verfahrensoptimierung und Züchtung verbesserter Sorten denkbar. Langfristig stellt sich in einigen Ländern zusätzlich die Frage nach der Verfügbarkeit von landwirtschaftlichen Arbeitskräften. **Verglichen mit den Biofestbrennstoffen stehen der energetischen Nutzung von Pflanzenölen ungleich mehr Probleme im Weg.** Das Potenzial zur Emissionsminderung liegt zudem weit niedriger als im Falle der Biofestbrennstoffe oder der Biogastechnologie.

Biogas

Die Vorteile der Biogastechnologie liegen in ihrem doppelt positiven Beitrag zur Reduzierung der Klimagasemissionen. In einem Fermenter werden organische Abfälle und Exkremente unter Sauerstoffabschluss vergärt; es entsteht ein Gasgemisch mit 60-70 % Methangehalt. Dabei werden zum einen die klimawirksamen Emissionen beim natürlichen Verfall dieser Materialien vermieden und zum anderen fossile Brennstoffe durch die Nutzung des Gases substituiert. Biogas kann ebenso wie Erdgas zum Heizen, Kochen sowie zum Betreiben von Motoren bzw. Blockheizkraftwerken genutzt werden. Besonders in Asien aber auch in Lateinamerika und in einigen Gebieten Westafrikas wird diese Technologie erfolgreich eingesetzt. Ihrer Verbreitung sind aber durch klimatische Bedingungen und die Verfügbarkeit von Gärsubstraten Grenzen gesetzt. Der Kontakt mit Fäkalien ist zudem in einigen Kulturen mit einem schlechten Image verbunden.

In China und Indien ist die Biogastechnologie besonders im kleinbäuerlichen Bereich verbreitet. Zusammengenommen gibt es in diesen beiden Ländern ca. 8 Mio. Biogasanlagen. In Indien konnten im Jahre 1996 6 Mio. Tonnen Brennholz durch Biogas ersetzt werden. In allen Entwicklungsländern muss die Biogastechnologie jedoch technologisch und verfahrenstechnisch weiter optimiert werden. Oftmals führen technische Mängel, unzureichende Wartung und mangelnde Kompetenz der Betreiber zu Ausfällen. In den beiden oben genannten Ländern gehört die Biogastechnologie heute zum technologischen Standard. In Zukunft wird jedoch ein erhöhter Bedarf an Verfahrenslösungen

für die Behandlung von organischen Rest- und Abfallstoffen sowie Abwässern aus der Nahrungs- und Biorohstoffindustrie erwartet. Die geeigneten Technologien dafür sind jedoch weitgehend in Industrieländern entwickelt worden und bisher noch nicht in allen Entwicklungsländern angepasst und im Einsatz, so dass hier in Zukunft ein Potenzial für technische Zusammenarbeit ergeben könnte.

Umsetzungsrestriktionen

Der **Förderung von Bioenergieträgern** im Allgemeinen und **der Umsetzung von Projekten in der Entwicklungszusammenarbeit** im Speziellen stehen eine Vielzahl von technischen und nicht-technischen Hemmnissen im Weg. Diese ergeben sich teils aus den gegenwärtigen und zukünftigen Veränderungen im Energiebereich und teils aus den sehr heterogenen ökonomischen, ökologischen und sozialen Bedingungen in den Entwicklungsländern. In der Vergangenheit traten **technische Hemmnisse** vor allem dann auf, wenn versucht wurde, Technologien ohne Rücksicht auf klimatische Bedingungen, Produktionstechniken oder mangelnde Infrastruktur in Entwicklungsländern einzuführen. **Nicht-technische Hemmnisse** hingegen sind vielfach komplexer. Man unterscheidet ökonomische, ökologische, soziokulturelle sowie politisch und institutionelle Bereiche mit deren jeweiligen Bedingungen sich eine Strategie, z.B. zur Förderung von Bioenergie, auseinandersetzen muss. Die meisten Vorschläge zum Abbau von nicht-technischen Hemmnissen beziehen sich auf den Umgang mit den ökonomischen und institutionellen Rahmenbedingungen des Energiesektors in den jeweiligen Ländern. Entscheidend sind die oft durch staatlichen Eingriff veränderten Preise insbesondere fossiler Energieträger und die politischen und institutionellen Regelungen für Energieanbieter. Weitere Möglichkeiten bieten sich durch stärkere Berücksichtigung der soziokulturellen Gegebenheiten eines Landes bzw. einer Zielregion und eine bessere Ausbildung von Fachpersonal und Anwender(innen).

Bioenergieträger dürfen in diesem Zusammenhang nicht als eine homogene Gruppe betrachtet werden, da sich die optimalen Einsatzbedingungen für Biofestbrennstoffe, Pflanzenöl und Biogas unter Einbeziehung von soziokulturellen Kriterien z.T. sehr stark unterscheiden. Da optimale Lösungen von Energieproblemen zumeist den gleichzeitigen Einsatz mehrerer Technologien erfordern, erscheint es nicht sinnvoll einseitige Förderungsstrategien für Bioenergieträger zu verfolgen.

Auswirkungen einer verbesserten und verstärkten Nutzung von Bioenergie

Ökologische Folgen

Einer der entscheidenden Gründe für die Förderung von Bioenergieträgern ist die Vermeidung von Klimagasemissionen, so dass die positiven ökologischen Auswirkungen einer verbesserten und verstärkten Nutzung von Bioenergie im Vordergrund stehen. Besonders im Falle Asiens und Lateinamerikas kann in Zukunft ein großer Beitrag zur Reduzierung von Kohlenstoffdioxid (CO_2), Lachgas (N_2O) und Methan (CH_4) geleistet werden. Durch den Einsatz von **Biofestbrennstoffen** werden schon heute ca. 1.300 Mio. Tonnen CO_2 vermieden. Im optimalen Fall, also bei Ausnutzung des gesamten technischen Potenzials und einer nachhaltigen Bewirtschaftung der entsprechenden Brennstoffressourcen, wären ca. **3.580 Mio. Tonnen CO_2** pro Jahr durch die Nutzung von Biofestbrennstoffen einzusparen. Da die Klimawirksamkeit von Methan und Lachgas um ein Vielfaches höher ist als die von Kohlenstoffdioxid, müssen die Emissionsfaktoren dieser beiden Gase bei der Entwicklung von verbesserten Technologien mit berücksichtigt werden.

Im **Ölpflanzenanbau** werden Emissionen direkt durch die landwirtschaftliche Aktivität und die dafür benötigten Betriebsmittel und indirekt durch die Freisetzung von Lachgas aus stickstoffhaltigen Düngemitteln verursacht. In der Weiterverarbeitung des Pflanzenöls entstehen je nach Verfahren unterschiedlich hohe Emissionen, und abhängig vom Umfang der energetischen Nutzung von Nebenprodukten fallen die entsprechenden ökologischen Bilanzen dieser Verfahren aus. Grundsätzlich ist festzustellen, dass das Potenzial von Pflanzenöl zur Minderung der Klimagasemissionen mit weltweit **40 Mio. Tonnen CO_2** pro Jahr erheblich niedriger liegt als das der Biofestbrennstoffe. Zudem hängt eine positive Emissionsbilanz von Palm- und Palmkernöl, aber auch von anderen Pflanzenölen, in der energetischen Nutzung in hohem Maße von der Gestaltung des Verarbeitungsprozesses und der Standortwahl ab, weshalb diese so optimal wie möglich gestaltet bzw. getroffen werden sollten. Bisher wird Pflanzenöl nur in sehr beschränktem Maße energetisch genutzt, so dass kaum Erfahrungen über den großflächigen Einsatz vorliegen.

Das Ziel der **Biogasnutzung** in Entwicklungsländern ist es, einen mangels Energieinfrastruktur oder Energieträgern nicht gedeckten Energiebedarf zu befriedigen oder traditionelle Brennstoffe und gesundheitsschädigende Energieumwandlungstechniken zu ersetzen. Vor allem in Asien wird die Biogastechnologie diesen Anforderungen durchaus gerecht. Die Biogastechnologie bringt

noch weitere Vorteile wie die Verminderung von Hygieneproblemen und Geruchsemissionen sowie die bessere Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen mit sich. Während diese Umweltaspekte in den Entwicklungsländern bislang eher wenig förderrelevantes Gewicht besitzen, genießen sie bei Anwendern in Industriestaaten einen mindestens ebenso großen Stellenwert wie die Substitution zugekaufter fossiler Energie. Problematisch ist noch immer die Handhabung der relativ komplexen Technologie, insbesondere, wenn sie nicht ausreichend anwenderfreundlich ausgestaltet ist. In größeren kommunalen Anlagen oder in Kombination mit kommerzieller Masttierhaltung betriebenen Einheiten kann ein reibungsarmer Betrieb besser gewährleistet werden als in einer Vielzahl von Anlagen auf Haushaltsebene. Der Erfolg einer Strategie zur Förderung der Biogastechnologie unter Umweltschutzgesichtspunkten steht und fällt also mit dem Grad der Technologieanpassung an soziokulturelle Gegebenheiten.

Sozioökonomische Folgen

Die sozioökonomischen Auswirkungen der Nutzung von Bioenergieträgern sind in Industrie- und Entwicklungsländern gleichermaßen komplex. Die sich aus einer verstärkten Biomassenutzung in Entwicklungsländern ergebenden Auswirkungen auf die Ökonomie in Industrieländern sind dabei besonders schwierig abzuschätzen.

Von einer qualitativen Verbesserung der Energieversorgung (z.B. durch verbesserte Herde oder durch die Verstromung von Biomasse) für arme Haushalte wird eine Verbesserung der Lebensqualität und der Einkommensmöglichkeiten in den Entwicklungsländern erwartet. Der Zugang zu modernen Energieträgern ist für diese Bevölkerungsschichten besonders problematisch, da sie nicht nur über weniger Kaufkraft verfügen, sondern meist in schwerer erschließbaren Gegenden leben (auf dem Land oder in ungeplanten Siedlungen), in denen der Zugang zu modernen Energieträgern entsprechend teurer und oft auch kompliziert ist.

Hier ergeben sich durch eine Vielzahl neuer Energiekonversionstechnologien neue Potenziale, die auch eine dezentrale Versorgung mit modernen Energieträgern wirtschaftlich zunehmend erschwinglich machen. Erhält der Privatsektor genügend Anreize und Sicherheiten, in solche Technologien zu investieren, besteht die Chance, gerade auch in entlegenen Gebieten der Entwicklungsländer eine deutliche Verbesserung der Energieversorgung zu erreichen. Entscheidend hierfür ist, dass **die politische und institutionelle Ausgestaltung der Rahmenbedingungen im Energiesektor** eine solche Entwicklung aktiv unterstützt.

Die verstärkte Nutzung von Bioenergieträgern in Entwicklungsländern kann sich direkt oder indirekt auf Industrieländer auswirken. Ein **direkter Nutzen** ergäbe sich aus einem wachsenden Markt für moderne Energiekonversionstechnologien im Bereich von Biofestbrennstoffen und Biogas. **Indirekte Auswirkungen** hätte langfristig eine Linderung der u.a. durch Energiemangel bedingten Armutssituation in vielen Entwicklungsländern. Ein steigender Lebensstandard und politische Stabilität beispielsweise beeinflussen in der Regel den internationalen Handel und das Investitionsklima positiv.

Gemeinsame Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen

Unter den im Kyoto-Protokoll vorgesehenen Instrumenten für den internationalen Klimaschutz spielt vor allem der Clean Development Mechanism (CDM) für die Förderung von Bioenergieträgern in Entwicklungsländern eine Rolle. Dieser erlaubt den Industrieländern die Anrechnung der Emissionsverringerungen aus Projekten in Entwicklungsländern und resultiert aus der Tatsache, dass die Verminderung von Emissionen in vielen Entwicklungsländern kostengünstiger zu bewerkstelligen ist als in den Industrieländern selbst.

Der CDM kann nicht isoliert von einem System des internationalen Handels mit Emissionsrechten betrachtet werden, sondern stellt vielmehr einen in diesen integrierten Bestandteil dar. Deshalb hängt die erfolgreiche Einführung dieses Instruments wesentlich vom Verlauf der internationalen Verhandlungen zum Klimaschutz ab. Ökonomisch betrachtet ist mit dem CDM im Rahmen eines internationalen Handels mit Emissionsrechten ein effizientes Mittel zur Erreichung von Emissionsreduktionen gegeben, das nicht zuletzt auch von der Industrie in den entwickelten Ländern positiv beurteilt wird. **Ob der CDM aber auch, wie von vielen Entwicklungsländern gefordert, zu positiven Entwicklungen in den Gastgeberländern führt, hängt von seiner institutionellen Ausgestaltung ab**. Letztere ist bis heute Gegenstand der politischen Verhandlungen, und obwohl schon heute CDM-Pilotprojekte durchgeführt werden, sind noch viele Fragen (z.B. die Vertragsgestaltung, Monitoring und Sanktionsmaßnahmen sowie die Art der zugelassenen Projekte) zu klären. Mit dem Bonner Abkommen vom Juli 2001 sind einige der bislang offenen Fragen gelöst worden.

Handlungsmöglichkeiten

Aus dem geschilderten Sachstand kann eine Reihe von Handlungsmöglichkeiten abgeleitet werden. Dabei wird zwischen nationalen und internationalen Handlungsmöglichkeiten unterschieden.

Nationale Ebene

Auf der nationalen Ebene werden verschiedene Ressortbereiche (Umwelt- und Klimaschutzpolitik, Entwicklungspolitik, Forschungs- und Technologiepolitik) sowie Querschnittsaufgaben behandelt.

Umwelt- und klimapolitische Handlungsmöglichkeiten

Im umwelt- und klimapolitischen Bereich geht es vor allem um die Kompatibilität von nationalen und internationalen Maßnahmen, wobei Rücksicht auf den weiteren Verlauf der internationalen Verhandlungen zum Klimaschutz genommen werden muss. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind jedoch folgende Maßnahmen denkbar:

- **Schaffung eines günstigen nationalen umwelt- bzw. klimapolitischen Rahmens für den Clean Development Mechanism (CDM) und den internationalen Handel mit Emissionsrechten:** Hierzu stehen verschiedene klimapolitische Instrumente zur Verfügung. Ein **nationales Zertifikatsystem** hat den Vorteil, dass das heimische Reduktionsziel direkt an die einzelnen Wirtschaftssubjekte weitergegeben würde. Eine **Emissionssteuer** wiederum spiegelt die externen Kosten der Treibhausgasemissionen in einer realistischen Weise wider. Certified Emission Reductions (CER) lassen sich aber nur über Umwege auf eine **nationale Energiesteuer** anrechnen, weshalb eine solche nur bedingt mit den Kyoto-Mechanismen vereinbar ist. Eine Anrechnung von Auslandsprojekten auf **ordnungspolitische Auflagen** ist in der Regel nicht möglich. Anders verhält es sich jedoch mit der **Selbstverpflichtung der Industrie**, solange sie auf absoluten Emissionszielen beruhen. Zur Klärung der zahlreichen offenen Fragen in diesem Zusammenhang sollte außerdem der Diskussionsprozess innerhalb der **nationalen Emissionshandelsgruppe** des Bundesumweltministeriums intensiviert werden.
- **Umsetzung nationaler umwelt- bzw. klimapolitischen Ziele als Voraussetzung für Technologieentwicklung:** Nur nationale klimapolitische

Maßnahmen schaffen die Notwendigkeit zur Energieeinsparung und Nutzung erneuerbarer Energien in den Industriestaaten selbst und damit **Anreize für Investitionen** in Technologien für eine langfristig ressourcenschonende Entwicklung. Für die Sicherung von Anreizen zur Innovation sollte nur ein Teil des Reduktionszieles durch die Nutzung der Kyoto-Mechanismen erreichbar sein. Aus Effizienzgründen wäre hierbei ein **System langfristig steigender Emissionssteuern und sinkender Gutschriften aus Auslandsprojekten** anstelle einer fixen **Obergrenze** interessant.

Entwicklungspolitische Handlungsmöglichkeiten

Die tiefgreifenden Veränderungen im Energiesektor der Entwicklungsländer stellen hohe Anforderungen an die Gestaltung von entsprechenden politischen Rahmenbedingungen, können aber gleichzeitig auch als Chance für die Bekämpfung von Armut und Umweltzerstörung begriffen werden. Ein wichtiger entwicklungspolitischer Ansatzpunkt liegt in der Unterstützung der nationalen Energiepolitik. Auch das CDM-Konzept kann hierzu einen entscheidenden Beitrag leisten, darf aber nicht als einzige Möglichkeit der bilateralen Zusammenarbeit gesehen werden. Die Empfehlungen für die Entwicklungspolitik beziehen sich daher nur teilweise auf die Kyoto-Mechanismen.

- **Unterstützung beim Aufbau von CDM-Sekretariaten und bei der Durchführung von CDM-Projekten**
  - **Unterstützung bei der Einrichtung von CDM-Sekretariaten in Entwicklungsländern:** CDM-Sekretariate dienen einerseits zur Beurteilung von Projekten aus der Sicht der Gastgeberländer und andererseits als Anlaufstelle für Investoren aus Industrieländern. Da nicht alle Entwicklungsländer ein solches Sekretariat aus eigener Kraft aufbauen können, sind entsprechende Unterstützungsmaßnahmen eine wichtige Grundlage für das Zustandekommen von CDM-Projekten.
  - **Frühzeitige Zusammenarbeit mit CDM-Sekretariaten in Entwicklungsländern und Etablierung erster Projekte:** Einige afrikanische Staaten, aber auch Länder des karibischen und pazifischen Raumes haben schon jetzt CDM-Sekretariate etabliert. Hier bildet sich also schon ein Ansatzpunkt für erste Investitionen in die Nutzung von Bioenergieträgern heraus.
  - **Netzwerkbildung und Ausschreibungen zum CDM:** Das CDM-Konzept besitzt zurzeit im deutschen Industriesektor einen recht unterschiedlichen

Bekanntheitsgrad. Die Bundesregierung könnte über öffentliche Ausschreibungen Privatinvestoren für die Durchführung von Bioenergieprojekten in Entwicklungsländern sensibilisieren und gewinnen. So könnte das BMZ oder GTZ in Zukunft ein Anlaufpunkt für Investoren werden, die durch die umweltpolitischen Rahmenbedingungen zu Investitionen in Projekte des CDM oder der Joint Implementation neigen. Die Koordination einer solchen Entwicklung ist jedoch nur durch die Schaffung entsprechender Informationskanäle und Netzwerke zu gewährleisten.

- **Konzeptionelle Ausrichtung von Fördermaßnahmen im Bioenergiebereich**
  - **Verstärkte Nutzerorientierung:** Ausgangspunkt für die Technologiewahl sollte die konkrete Problemstellung aus der Sicht der Anwender und Anwenderinnen sein. Darauf aufbauend kann dann unter allen möglichen technischen Lösungen die effizienteste ausgesucht werden. Dieser Vorschlag ist nicht neu, jedoch hat sich auch in der jüngeren Vergangenheit immer wieder gezeigt, dass nur kulturell angepasste Technologien erfolgreich verbreitet werden können.
  - **Berücksichtigung von Systembetrachtungen des Energiesektors:** Energieträger sind in hohem Maße austauschbar und Preisveränderungen führen leicht zur Verschiebung des Gesamtgefüges. Eine Systembetrachtung bedeutet, dass alle Optionen bei der Lösung eines Energieproblems einbezogen werden und Rückwirkungen auf andere Energieträger berücksichtigt werden müssen. Die institutionellen Rahmenbedingungen sollten soweit Planungssicherheit gewährleisten, dass eine mittel- bis langfristige, aber flexible Planung von Unternehmen und Haushalten möglich wird.
  - **Ausrichtung auf Projekte mit Multiplikatorfunktion:** Angesichts des enormen Gesamtbedarfs an umweltfreundlicher Energie können einzelne Projekte nur eine katalysierende Funktion haben. Erreicht werden sollte ein sich selbst tragender Diffusions- und Innovationsprozess, der eine an den jeweiligen Bedürfnissen und Präferenzen ausgerichtete Technologie voraussetzt, wie sie nur durch eine Technologieentwicklung und -anpassung vor Ort unter Beteiligung der Anwender erreicht werden kann.
- **Allgemeine Förderungsansätze im Bioenergiebereich**
  - **Informationszugang:** Eine entscheidende Restriktion für den Einsatz neuer Technologien im Energiebereich ist der Mangel an Informationen bei den potenziellen Nutzern bzw. Unternehmen, die im Energiebereich investieren könnten. Institutionen, die den Informationsaustausch fördern wollen, sind in vielen Bereichen vorhanden. Diese könnten stärker als

bisher anregen, dass eine nutzerorientierte, nachhaltige Energieversorgung auf die Agenda gesetzt wird und entsprechende Studien und Untersuchungen durchgeführt werden. Es fehlen insbesondere vergleichende Studien zur Nachfrage nach Energie und zu geeigneten Ansätzen, mit denen Nutzer in den Planungsprozess mit einbezogen werden könnten.

– **Technologieentwicklung und -anpassung:** Es gibt eine Reihe von Vorschlägen für die internationale Förderung der Technologieentwicklung. Entsprechend der Internationalen Atomagentur wird beispielsweise eine Internationale Agentur für Erneuerbare Energien (IRENA) zur Förderung des nicht-kommerziellen Technologietransfers gefordert. Eine weitere Möglichkeit bestünde in der Einrichtung von sog. Regional Centers of Exellence für eine regional angepasste Technologieentwicklung, auf der dann die lokale Beratung und Zusammenarbeit mit potenziellen Nutzern aufbauen könnten.
– **Ausbildung:** Forschungszentren können zur Ausbildung von Forschern und Entwicklern beitragen. Vorrangig dürfte vor allem aber sein, die Ausbildung der Berater und der Bevölkerung im Hinblick auf die Bioenergie zu verbessern. Entsprechende Curricula können international entwickelt und verbreitet und in den einzelnen Ländern jeweils angepasst werden. Ebenfalls international gefördert werden könnte die Integration von Inhalten einer nachhaltigen Energieversorgung und der Möglichkeiten zur Steigerung der Effizienz bei den Nutzern in die Grundschulbildung.

- **Schwerpunktsetzung bei der Förderung des Einsatzes von Bioenergieträgern in der Entwicklungs- bzw. technischen Zusammenarbeit**
  – **Herdverbreitungsprogramme:** Herdverbesserungsprogramme auch im Rahmen von CDM-Projekten sollten insbesondere dort durchgeführt werden, wo Brennmaterial auch aus Sicht der Nutzer(innen) knapp ist. Auch die Verbreitung von verbesserten Einfachtechnologien (wie z.B. holzsparende Herde) stellt an die Beteiligten hohe Anforderungen. Bei der Optimierung des Verbrennungsprozesses sollten alle anwendungsrelevanten Kriterien, wie Reduzierung der Gesundheitsbelastung und Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit gleichermaßen berücksichtigt werden. Da die Reduzierung klimarelevanter Emissionen aus Sicht der Anwender(innen) in den seltensten Fällen eine Rolle spielt, sollte sie sozusagen die Begleiterscheinung von Verbesserungen der obengenannten Eigenschaften sein. Entsprechende Programme sollten alle Ebenen

(z.B. Regierung, Handwerksverbände, Gemeinden, Händler, Nutzer) und verschiedene Sektoren (z.B. Energie, Forst, Landwirtschaft) einbeziehen.

– **Gewerblich genutzte Biomasseverbrennungsanlagen:** Im gewerbetreibenden bzw. industriellen Sektor könnten Maßnahmen und Programme zur Effizienzsteigerung auch als CDM-Projekte durchgeführt werden. Auch hier ist eine angepasste Technologie und die Berücksichtigung der örtlichen Rahmenbedingungen von zentraler Bedeutung. Längerfristig könnte die Nutzung fester Biomasse zur Wärme- und Stromerzeugung u.a. aus werkseigenen Nebenprodukten (z.B. Sägewerke und Trocknungsbetriebe) eine interessante Option sein. Selbst wenn die technischen Probleme gelöst sind, beschränken allerdings klimatische und strukturelle Gegebenheiten die Möglichkeiten, so dass die Koppelung von Strom- und Wärmeproduktion kein Allheilmittel darstellen wird.
– **Anlage von Energiepflanzenplantagen:** Diese Maßnahme hat vornehmlich zum Ziel, die Ressourcen natürlicher Waldbestände auf lange Sicht zu schonen bzw. Neuzuwächse zu gestatten und den Anteil nichtnachhaltiger Biomassenutzung aus Wäldern sukzessive zu verringern. Zu beachten ist insbesondere, dass die Energiepflanzenplantagen nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung treten. Die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen zur Anpflanzung von energieliefernden Pflanzen kommt vor allem auf Grenzstandorten sowie als Aufforstung degradierter Flächen in Frage. In vielen Fällen dürfte ein Anbau in Mischkulturen gegenüber Monokulturen vorzuziehen sein. Die Biomasse aus Plantagen kann die Grundlage für die Verwertung in nahe gelegenen Trocknungs- und anderen kleingewerblichen Anlagen sowie zur Vermarktung bilden. Für solche Plantagen, die neben der energetischen Nutzung der Biomasse als Senken für CO_2 dienen, ist es bisher noch fraglich, ob sie unter CDM akzeptiert werden.
– **Substitution von Holzkohle durch genormte Biofestbrennstoffe:** Neben einer Verbesserung der Effizienz in der Holzkohlebereitung wäre mittel- und langfristig auch der Einsatz genormter Biofestbrennstoffe (z.B. Pellets für die Kochenergiebereitstellung in städtischen Haushalten oder als Brennstoff für kleingewerbliche Anlagen) denkbar. Damit könnte die Anwendung von Holzkohle z.T. verdrängt und deren hohe Karbonisierungsverluste (von bis zu 70 %) vermieden werden. Voraussetzung wäre allerdings, dass die derzeit in der Regel hohen Kosten durch den Sammel-, Transport- und Verarbeitungsaufwand gesenkt und die Anwendungseigenschaften hinsichtlich Rauchentwicklung und

Funkenbildung bei städtischer Nutzung verbessert werden können. Diese Maßnahmen könnten unter CDM Akzeptanz finden und zusätzlich vielen Menschen in den Bereichen Herstellung und Vertrieb eine berufliche Zukunft bieten.

- **Schaffung nachhaltiger Waldmanagementsysteme:** Verbesserungen im Waldmanagement sind äußerst wichtig, da in vielen Ländern die Bevölkerung aufgrund der Besitzverhältnisse nur wenig Anreize für eine nachhaltige Nutzung der Holzressourcen hat. Oftmals sind als Voraussetzung geänderte Rahmenbedingungen (z.B. Teilprivatisierungen) notwendig, damit Nutzer und Gemeinden selbst Verantwortung für ihre Wälder und deren Bewirtschaftung übernehmen können und somit motiviert werden, mit ihren Holzressourcen schonend umzugehen und die Versorgung mit Brennholz nachhaltiger zu gestalten. Zurzeit ist noch ungewiss, inwieweit solche Maßnahmen im Rahmen des CDM anerkannt werden.
- **Biogasanlagen für die Nahrungs- und Biorohstoffindustrie:** Vor dem Hintergrund des hohen technischen Entwicklungsstandes der Biogastechnologie in Deutschland stellt der Bedarf an großtechnischen Verfahrenslösungen zur Behandlung stark organisch belasteter Abwässer und biogener Abfälle aus der Nahrungs- und Biorohstoffindustrie vieler asiatischer Staaten ein Potenzial für zukünftige Investitionen im Rahmen des CDM dar. Technologietransfer sollte vorrangig angestrebt werden und ein Export nur dann erfolgen, wenn die betreffenden Anlagen nicht auch vor Ort hergestellt werden können.
- **Biogasanlagen für Haushalte und Gemeinden:** In vielen Entwicklungsländern sind die Potenziale für die Biogasproduktion bei weitem nicht ausgeschöpft. Im Kleinanlagenbereich, d.h. bei kleinen Biogasreaktoren bzw. den Techniken zur Nutzung des Biogases (Gasöfen, Gaslampen), kommt es darauf an, dass diese von lokalen oder regionalen Unternehmen mit vor Ort verfügbaren Materialien errichtet bzw. hergestellt werden. Projekte sind somit jeweils auf die örtlichen bzw. regionalen Gegebenheiten abzustimmen. Diese Art von Projekten dürfte im Rahmen des CDM sehr vielversprechend sein.

Forschungs- und technologiepolitische Handlungsmöglichkeiten

Bei den forschungs- und technologiepolitischen Handlungsoptionen geht es hier um verbesserte Nutzungsmöglichkeiten im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit, also nicht um Verbesserungen bei der Forschung und Entwicklung zu Bioenergieträgern in Deutschland.

- **Forschungsschwerpunkt zum Handel mit Emissionsrechten und zur Ausgestaltung des CDM:** Der internationale Handel mit Emissionsrechten wird ein weiterer Schritt zur Öffnung der Märkte und damit zur Globalisierung sein. Die Folgen dieser Entwicklung können nur dann befriedigend abgeschätzt werden, wenn wissenschaftlich fundierte Kenntnisse in ausreichendem Maß gesammelt und aufbereitet werden. Empirische Forschung wie z.B. die Analyse der ersten Erfahrungen aus CDM-Projekten und die Auseinandersetzung mit den Erfahrungen anderer Länder (z.B. das SO_2 Allowance Trading Program der USA) mit dem Emissionsrechtehandel wären als Basis für die Umsetzung auf nationaler Ebene wichtig.
- **Forschungsschwerpunkt zur transfergeeigneten Technologie:** In Deutschland wird Forschung und Entwicklung zu Bioenergieträgern hauptsächlich durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe gefördert. Die produktions- und verwendungsorientierten, anwendungsbezogenen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben, die mit Fördermitteln des BMVEL durchgeführt werden, zielen auf Anwendungen in Deutschland. Wenn ein verstärkter Technologietransfer in Entwicklungsländer gewünscht wird, sollten entsprechende Schwerpunkte oder Förderkriterien in dieses Programm aufgenommen werden. Bei **Biofestbrennstoffen** sollte dies dann vor allem darauf zielen, Anknüpfungspunkte für die Weiterentwicklung angepasster Technologien speziell für den gewerblichen Sektor zu liefern. Bei **Biogas** gewinnen vor allem großtechnische Verfahrenslösungen in den asiatischen Entwicklungsländern an Bedeutung.

Querschnittsaufgaben

Insbesondere durch den CDM entsteht eine Reihe von Querschnittsaufgaben, die eine Zusammenarbeit zwischen den betroffenen Ministerien erfordern. Dies gilt vor allem für folgende Bereiche:

- **Klimapolitik**: Wenn die Chancen des CDM für einen verstärkten Ausbau regenerativer Energien und hier insbesondere von Bioenergieträgern in

Entwicklungsländern sowie für eine kostengünstige Erfüllung von Reduktionspflichten der deutschen Unternehmen genutzt werden sollen, müsste auch die nationale Klimapolitik dafür günstige Voraussetzungen schaffen, was ein kooperatives Zusammenwirken der Entwicklungs- und Umweltpolitik erfordern würde. Eine enge Abstimmung wäre ebenso zwischen der deutschen und der europäischen Politik notwendig.

- **Gewinnung von Investoren für CDM-Projekte**: Um Firmen für die Umsetzung von Bioenergieprojekten in Entwicklungsländern zu gewinnen, müssen diese bezüglich der Vor- und Nachteile von CDM informiert und sensibilisiert werden. Daher ist die Suche nach geeigneten Unternehmen für Investitionen in Bioenergietechnologien eng mit Bildungs- und Informationsprogrammen für den privatwirtschaftlichen Sektor verbunden. Hier ist eine Zusammenarbeit von BMWi, BMU und BMZ erforderlich.
- **Technologietransfer in Entwicklungsländer**: Hier wären geeignete Unternehmen bzw. Forschungsgruppen, die an der Entwicklung von Technologien für Bioenergieträger in Deutschland arbeiten, zu identifizieren, für die Problemstellungen in Entwicklungsländern zu sensibilisieren und mit entsprechenden Partnern in diesen Ländern zusammen zu bringen. Dies erfordert eine Zusammenarbeit zwischen BMVEL und BMZ bzw. ihren nachgeordneten Institutionen. Für die konkrete Umsetzungsarbeit in Entwicklungsländern sollte angestrebt werden, die Kompetenz und Erfahrungen aus der bisherigen Entwicklungszusammenarbeit zu nutzen.
- **Forschung und Entwicklung zu Bioenergieträgern**: Wenn eine stärkere Berücksichtigung der Nutzungsmöglichkeiten von Bioenergietechnologien in Entwicklungsländern bei der deutschen Forschungsförderung angestrebt wird, erfordert auch dies eine ressortübergreifende Zusammenarbeit.

Internationale Ebene

Auf internationaler Ebene gibt es zwei zentrale Problembereiche: die noch offenen Ausgestaltungsfragen des CDM sowie die Umgestaltung der nationalen Energiepolitik in Entwicklungsländern.

Ausgestaltung des CDM

Auf internationaler Ebene sollten die offenen Fragen des CDM in einer Weise geklärt werden, die eine möglichst breite Nutzung erlaubt und gleichzeitig die Möglichkeiten des Missbrauchs reduziert. Die Bundesregierung sollte dem-

entsprechend in den internationalen Verhandlungen an folgenden Punkten zur Ausgestaltung des CDM mitwirken:

- Die **institutionelle Ausgestaltung des CDM** sollte möglichst vielfältige Anwendungsmöglichkeiten bieten. Am ehesten erreicht man dies, wenn verschiedene Optionen, also sowohl bilaterale Verträge als auch multilaterale Fonds und unilateral angebotene CDM-Projekte, zugelassen werden. Dies käme den Interessen unterschiedlicher Investoren und Projektanbieter entgegen.
- Die **Zusammensetzung** und die **Aufgaben** des **CDM-Aufsichtsrates** sind noch zu bestimmen. Er sollte eine möglichst große Breite von beteiligten Akteuren repräsentieren. Als Mitglieder kämen Vertreter von Regierungen, Unternehmen, Umwelt- und Entwicklungs-NGOs aus verschiedenen Regionen der Welt in Frage. Der Aufsichtsrat sollte insbesondere für die Regeln zur Anwendung von Referenzszenarien, für die Regeln zur Erstellung von Monitoringprotokollen, für die Zuteilung von Certified Emission Reductions (CERs) und für die Entscheidung von Streitfällen zuständig sein.
- Die **Ausgestaltung des Zertifizierungsprozesses** ist festzulegen. Die Zertifizierer sollten belegen müssen, dass sie von den Projektbeteiligten unabhängig sind. Nach der Überprüfung des Referenzfalls ("Validierung") vor Beginn des Projekts sollten die Zertifizierer die Ergebnisse des Projekts in Abständen, die mit den Projektbeteiligten vereinbart werden, überprüfen. Emissionsgutschriften sollten erst nach einer Zertifizierung entstehen. Der CDM-Aufsichtsrat sollte Mindeststandards für Zertifizierer festlegen und die Zertifizierer akkreditieren.
- Die **Festlegung des Referenzfalles**, der für die Berechnung der Emissionsverringerung entscheidend ist, stellt eine grundlegende Determinante für Erfolg oder Scheitern des CDM dar. Es ist wichtig, dass einerseits Referenzfälle auf transparente Weise errechnet werden und andererseits die Kosten und das Betrugspotenzial so gering wie möglich gehalten werden.
- Viele Entwicklungsländer möchten einen Anteil der **Emissionsgutschriften** aus CDM-Projekten. Um diese verwerten zu können, müssen sie frei handelbar sein. Eine Aufteilung der Gutschriften würde die Angst der Entwicklungsländer reduzieren, dass CDM-Projekte die billigsten Optionen zur Emissionsverringerung abschöpfen, ohne dem Gastgeberland ein adäquates Einkommen zu ermöglichen. Wenn das Gastgeberland später ein Emissionsziel erreichen müsste, blieben ihm nur teure Optionen übrig. Um dies zu vermeiden, wären Verträge denkbar, die dem Gastgeberland mit der Zeit

einen wachsenden Anteil der Gutschriften überschreiben. Für die Gastgeberländer besteht allerdings durch ihre Forderung nach einer Aufteilung der Emissionsgutschriften die Gefahr von Wettbewerbsnachteilen gegenüber Projekten der Joint Implementation.

- Die **Anpassungs- und Verwaltungssteuer** des CDM stellt eine Belastung dar. Diese sollte auf die anderen Mechanismen ausgedehnt werden, um Wettbewerbsverzerrungen zu vermeiden.
- Die Frage, wer für die **Aus- und Weiterbildung von Mitarbeitern nationaler CDM-Institutionen** aufkommt, verdient ebenso Beachtung. In der Activities-Implemented-Jointly-Pilotphase wurde klar, dass mangelnde Ausbildung ein erhebliches Hindernis für die Genehmigung und Umsetzung von Projekten ist. Hier bedarf es koordinierter Nationalprogramme. Das Weltbank-Programm für nationale CDM-Strategiestudien ist dafür ein guter Anfang. Allerdings besteht eine realistische Gefahr, dass Entwicklungshilfe dafür umgewidmet wird. Es könnte also sinnvoll sein, die "Verwaltungsabgabe" auch hierfür einzusetzen.
- Es ist zu befürchten, dass für Kleinprojekte der Aufwand einer Beantragung so hoch sein wird, dass eine Förderung nur in Ausnahmefällen erfolgt. Um die Implementierung von differenzierten, lokal angepassten **Kleinprojekten** zu ermöglichen, sollten für sie **Erleichterungen** eingeführt werden. Dieser Vorschlag könnte bedeuten, dass prinzipiell alle Projekte, die bis 20 oder 30 MW mit regenerativen Energien bereitstellen, als zusätzlich im Sinne des CDM bewertet werden, so dass sie auch ohne vorherige Überprüfung durch Dritte direkt eingereicht werden könnten und dass mehrere Kleinprojekte zusammengefasst und als gemeinsamer Vorschlag beantragt werden könnten, solange die Gesamtgröße 20-30 MW nicht übersteigt.
- Für viele Entwicklungsländer wird es notwendig sein, dass sie eine **Unterstützung zur Einrichtung von CDM-Sekretariaten** erhalten. Durch eine solche Unterstützung könnte die praktische Umsetzung von CDM-Projekten vorbereitet werden. CDM-Sekretariate sollen eine Erstbewertung von Projektvorschlägen hinsichtlich ihrer Eignung unter CDM vornehmen. Investoren aus Industrienationen sollen sie eine kompetente Anlaufstelle im Gastgeberland bieten und beim projektbegleitenden Monitoring sowie einer abschließenden Beurteilung helfen.

Energiepolitik der Entwicklungsländer

Unabhängig von Zustandekommen eines bindenden Vertrages auf der Grundlage des Kyoto-Protokolls können Entwicklungsländer durch eine Umgestaltung ihrer nationalen Energiepolitik entscheidende Impulse zur verstärkten und effizienteren Nutzung von Bioenergieträgern geben.

- **Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit regenerativer Energieträger:** Durch einen **Abbau von Subventionen** zugunsten fossiler Energieträger sollten Preisverzerrungen abgebaut und die Benachteiligung insbesondere auch moderner Bioenergietechnologien reduziert werden. Umweltpolitische Maßnahmen, die sich in Industrieländern bewährt haben, können auch in Entwicklungsländern in angepasster Form erfolgreich sein. Energiepreise sollten nicht staatlich niedrig gehalten werden, sondern mindestens Kostendeckung gewährleisten. Nur auf diesem Weg lassen sich zum einen Anreize zur Einsparung von Energie an die Nutzer weitergeben und zum anderen die installierten Kapazitäten in Stand halten.
- **Ausdehnung des Energieangebots:** Eine Ausdehnung des Energieangebotes kann erreicht werden, indem **private Anbieter von Energie Zugang zu den bestehenden Netzen erhalten**. Wichtig ist hier, dass Investitionen in Kraftwerke, gleich welcher Art, mit hohen spezifischen Kosten verbunden sind. Solche Investitionen werden also nur erfolgen, wenn ein Minimum an **Absatzsicherheit** besteht. Maßnahmen, die Anreize zu privater Investition bieten, sind z.B. Abnahmeverträge über mehrere Jahre oder kompetitiv ausgeschriebene Konzessionen für bestimmte Regionen, die ebenfalls für einige Jahre abgesichert sind.
- **Mindestquoten oder erhöhte Abnahmepreise für regenerative Energien:** Die Wettbewerbsfähigkeit regenerativer Energien kann darüber hinaus explizit gefördert werden, indem eine Mindestquote an Strom aus regenerativen Energien vorgeschrieben wird. Das Instrument einer Quote hat den Vorteil, dass die regenerativen Energieträger untereinander konkurrieren und der technische Fortschritt gefördert wird. In dem Maße, wie diese Technologien kostengünstiger angeboten werden, kann durch eine Erhöhung der Quote auch der Anteil regenerativer Energieträger erhöht werden. Eine Alternative ist die Einführung von garantierten, erhöhten Abnahmepreisen für Strom aus regenerativen Energieträgern, die ebenfalls einen starken Anreiz zum Ausbau der regenerativen Energiebereitstellung darstellen.

- **Subventionierung von Erschließungskosten:** Alle zuvor genannten Maßnahmen können in gleicher Weise für noch nicht an ein Versorgungsnetz angeschlossene Regionen umgesetzt werden. Die Kosten werden in diesen Regionen zunächst höher liegen als in den bereits erschlossenen Gebieten. Dies kann Subventionen erforderlich machen. Der Nutzen dieser Subventionen kann maximiert werden, indem sie für die Erschließungskosten verwendet werden und möglichst viele Anbieter um die Subvention konkurrieren. Außerdem sollten die Abnehmer sowohl am Entscheidungsprozess, insbesondere der Technologiewahl, als auch an der Finanzierung der Maßnahme beteiligt werden.
- **Ausbau der Kapitalmärkte und Finanzierungsmöglichkeiten:** Neben der Förderung der Kapitalmärkte für Unternehmer kann der Staat entweder selbst Finanzierungsmöglichkeiten für die Endverbraucher schaffen oder Anreize kreieren, die es anderen Institutionen ermöglichen, Kredite zur Verbesserung der Energieversorgung anzubieten.
- **Verbesserte Abstimmung von Energiepolitik und Forst- bzw. Landwirtschaftspolitik:** Bioenergieträger speziell können von einer verstärkten Abstimmung der Energiepolitik mit der Forst- bzw. Landwirtschaftspolitik profitieren. Fragen der Energienutzung sollten deshalb gezielt in die landwirtschaftliche Forschung und Beratung mit einbezogen werden. Staatlicherseits unterstützt werden kann auch die Erfassung der bereits existierenden Potenziale für eine optimale Nutzung von Nebenprodukten für die Energiebereitstellung und die gezielte Schaffung bzw. Förderung von Märkten für Biomasse. Eine der wichtigsten Voraussetzung für die Erhöhung des Angebots an Bioenergieträgern, insbesondere aus nachhaltiger Produktion, ist die klare Definition und Absicherung von Nutzungsrechten.

TAB

I. Einleitung

Auf Beschluss der Berichterstatter für TA vom 12.02.1998 hatte das TAB vorbereitende Untersuchungen zum Thema "Anbau von Ölpflanzen zur Reduktion von CO_2 und der Entwicklung lokaler Wertschöpfung und entsprechender Wirtschaftskreisläufe in der 3. Welt" durchgeführt.

Diese **vorbereitenden Untersuchungen** hatten die Zielsetzung, einen ersten Überblick über den Sachstand zu geben und die Möglichkeiten zur Durchführung eines TA-Projektes zu prüfen. Hierzu hat das TAB zwei Gutachten vergeben, wobei mit dem Thema "Perspektiven einer energetischen Nutzung organischer Ernte- und Produktionsrückstände in Entwicklungsländern" eine Ergänzung der Fragestellung vorgenommen wurde.

In engem Zusammenhang mit den Inhalten dieser Untersuchungen steht das Thema "Der Einfluss einer verstärkten Förderung bzw. eines verstärkten Einsatzes von regenerativen Energien in Entwicklungsländern auf die Wirtschaft und die Arbeitsmarktsituation in Deutschland", das der **Ausschuss für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung** 1999 vorgeschlagen hatte.

Anknüpfend an den Vorschlag aus dem Berichterstatterkreis für TA und unter Berücksichtigung des Themas aus dem Ausschuss für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung wurde nach Vorlage eines Untersuchungskonzeptes durch das TAB und der Beschlussfassung des Ausschusses für Bildung, Forschung und Technikfolgenabschätzung die Bearbeitung des **TA-Projektes "Bioenergieträger und Entwicklungsländer"** im Oktober 1999 begonnen.

1. Problemstellung

Die Situation in Entwicklungsländern ist in der Regel gekennzeichnet durch wenig entwickelte Volkswirtschaften und einen geringen Technisierungsgrad. Dazu kommt ein erheblicher Mangel an Energie. Der Energiebedarf der Entwicklungsländer wird sich in den nächsten 30 Jahren bei entsprechendem wirtschaftlichen Wachstum voraussichtlich verdoppeln und einen entsprechenden Mehrverbrauch an fossilen Energieträgern nach sich ziehen. Ein verstärkter Energieeinsatz ist zwar einerseits wünschenswert, weil er die Basis ist für höheres Wirtschaftswachstum und steigenden Wohlstand. Zum anderen besteht jedoch die Gefahr, dass es hierdurch zu einem starken Anstieg der Konzentration

an klimarelevanten Gasen in der Atmosphäre kommt. Ein verstärkter Einsatz regenerativer Energieträger könnte dazu beitragen, diesen Anstieg zu verringern, aber auch in gewissem Umfang positive Effekte für die ökonomischen und sozialen Strukturen bewirken.

Von besonderem Interesse sind die biogenen Festbrennstoffe, weil hier erhebliche, kurz- bis mittelfristig nutzbare Potenziale zur CO_2-Reduktion vorhanden sind und neben der Ausweitung der Nutzung und der Einführung neuer Energietechnologien auch die Möglichkeiten der Effizienzsteigerung voraussichtlich eine wichtige Rolle spielen werden. Neben den land- und forstwirtschaftlichen sowie technischen Potenzialen ist insbesondere nach den politischen Potenzialen einer gemeinsamen Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen im Rahmen des Clean Development Mechanism zu fragen, d.h. wie dieser neue Mechanismus und seine Entwicklungsmöglichkeiten für Bioenergieträger im Rahmen der Klima- und Entwicklungspolitik genutzt werden können.

2. Zielsetzung und Vorgehensweise

Zielsetzung des TA-Projektes "Bioenergieträger und Entwicklungsländer" ist es, die Chancen und Probleme einer verstärkten Nutzung biogener Energieträger in Entwicklungsländern zu untersuchen sowie die Gestaltungsmöglichkeiten der Entwicklungs-, Klimaschutz-, Forschungs- und Technologiepolitik in diesem Themenbereich herauszuarbeiten.

Folgende **Gutachten** wurden zur Bearbeitung der Themenstellungen dieses Projektes vergeben:

- **Einsatz und Perspektiven regenerativer Energien in Entwicklungsländern** (Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie [Dr. Sonia Valdivia; Dipl.-Ing. Dirk Wolters]),
- **Entwicklungspotenziale, Fördermöglichkeiten, Barrieren und Folgen der energetischen Nutzung land- und forstwirtschaftlicher Biofestbrennstoffe** (Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung [IER], Universität Stuttgart [Dr. Martin Kaltschmitt, Ausilio Bauen, Andreas Heinz, Dipl.-Ing. Simone Ullrich]),
- **Nutzung von Ölpflanzen als Energieträger** (Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie der Tropen, Universität Hohenheim [Prof. Dr. Joachim Sauerborn, Dipl.-Ing. agr. Jörn Gemmer, Dr. N. Steinmüller]),
- **Biogasnutzung in Entwicklungsländern (**Dr. Christine Rösch, Karlsruhe),

– **Clean Development Mechanism: Ziele, Struktur, Nutzung und Entwicklungspotenziale der gemeinsamen Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen** (HWWA-Institut für Wirtschaftsforschung, Hamburg [Dr. Axel Michaelowa, Dipl.-Sozialökonom Michael Dutschke]),
– **Nichttechnische Hemmnisse und Umsetzungsrestriktionen bei einer verstärkten und verbesserten Nutzung von Bioenergieträgern in Entwicklungsländern** (Zentrum für Entwicklungsforschung (ZEF), Bonn [Heidi Wittmer, Dr. Thomas Berger]).

Für die Bearbeitung dieser Themen und die Qualität der Arbeit sei den Gutachtern an dieser Stelle herzlich gedankt.

Ein Entwurf des Endberichtes wurde den Gutachtern zur Kommentierung vorgelegt. Außerdem wurde der Entwurf des Endberichtes von S. Kilburg und R. Wagner vom Centralen Agrar-Rohstoff-Marketing und Entwicklungs-Netzwerk (C.A.R.M.E.N. e.V.) sowie von T. Herberg und J. Baur von der Deutschen Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) kommentiert. Die **Verantwortung für Auswahl und Interpretation der Informationen aus den Gutachten** liegt aber ausschließlich **bei den zuständigen Mitarbeitern des TAB**.

3. Themen und Aufbau des Endberichtes

Das Thema Bioenergieträger in Entwicklungsländern hat sowohl naturwissenschaftliche als auch wirtschafts- bzw. sozialwissenschaftliche und nicht zuletzt politische Aspekte. Bei der Vergabe der Gutachten für das TA-Projekt wurde deshalb versucht, diese drei Themenbereiche gleichermaßen einzubeziehen. Die Vielfalt und Breite des Themas zwingt dazu, in mehrfacher Hinsicht **Schwerpunkte** zu setzen.

Der Bericht beginnt mit einer Übersicht über den **Einsatz und die Perspektiven regenerativer Energieträger in Entwicklungsländern (Kap. II)**. Auf der Basis von Szenarioanalysen werden hier Aussagen über die Entwicklung des Energieverbrauchs und der Energiebereitstellung in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts gemacht. Zusätzlich werden Hinweise für die Bewertung und Interpretation von Szenarioanalysen gegeben.

Darauf aufbauend wird in **Kapitel III** die **energetische Nutzung von Biomasse in Entwicklungsländern** im Einzelnen untersucht. Der Schwerpunkt liegt hier bei den Biofestbrennstoffen, da diese das größte Potenzial zur Minderung von Treibausgasen besitzen und zudem in nahezu allen Entwicklungsländern

einen bedeutenden Beitrag zur Energieversorgung leisten. Den zweiten Untersuchungsgegenstand bilden die Pflanzenöle gefolgt von der Biogastechnologie als drittes Unterkapitel. In allen drei Unterkapiteln werden zunächst die technologischen Besonderheiten und dann die technischen Potenziale, Perspektiven und mögliche Strategien behandelt.

Das **Kapitel IV** beschäftigt sich mit den **Umsetzungsrestriktionen** bei der Förderung von Bioenergieträgern in Entwicklungsländern. Auf der Grundlage von Erfahrungen aus der Entwicklungszusammenarbeit und den gegenwärtigen Veränderungen im Energiesektor werden mögliche Strategien für den Umgang mit technischen und nicht-technischen Hemmnissen des Einsatzes von biogener Energie diskutiert.

Mögliche **Auswirkungen einer verbesserten und verstärkten Nutzung von Bioenergieträgern** werden in **Kapitel V** skizziert. Der Schwerpunkt liegt hier bei den ökologischen und sozioökonomischen Auswirkungen in den Entwicklungsländern. Rückwirkungen auf die Industrieländer können nur sehr allgemein beschrieben werden.

Als vielversprechendes Instrument zur Förderung von Bioenergie in Entwicklungsländern wird der **Clean Development Mechanism** in **Kapitel VI** untersucht. Dessen institutionelle Ausgestaltung und die vielen offenen Fragen, die in den weiteren Verhandlungen zum internationalen Klimaschutz geklärt werden müssen, finden in besonderem Maße Beachtung.

Abschließend werden in **Kapitel VII Handlungsmöglichkeiten** aus den Ergebnissen des Berichts abgeleitet. Entsprechend der Themenstellung liegen nicht alle diese Optionen im nationalen Bereich, weshalb hier auch Handlungsmöglichkeiten auf internationaler Ebene beschrieben werden. Um den Bezug zu den Unterthemen des Berichtes herzustellen, wird den einzelnen Handlungsoptionen jeweils eine kurze Einführung in die Problemstellung mit Verweis auf die entsprechenden Kapitel des Berichtes vorangestellt.

Der vorliegende Bericht basiert fast ausschließlich auf den vom TAB vergebenen Gutachten. Das Gutachten des **Wuppertal Instituts für Klima, Umwelt und Energie** (Valdivia/Wolters 2000) stellt die Grundlage für das Kapitel II dar. Die Ausführungen in Kapitel III stützen sich im Wesentlichen auf die Gutachten des **Instituts für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung** der Universität Stuttgart (Kaltschmitt et al. 1999) (Ullrich/Kaltschmitt 2001), des **Instituts für Pflanzenproduktion und Agrarökologie in den Tropen und Subtropen** der Universität Hohenheim (Sauerborn et al. 2000) und die Arbeiten von **Dr. Christine Rösch**. Allen diesen Gutachten liegen umfangreiche Literaturrecherchen und z.T. Fallstudien und Modellrechnungen zugrunde, wodurch

die jeweiligen Themengebiete in ihrer Vielfalt weitestgehend erschlossen wurden. Das Kapitel IV basiert ebenso wie Kapitel V auf mehreren Gutachten. Zusätzlich zu den hier schon genannten stammen wesentliche Beiträge zum Kapitel IV aus dem Gutachten des **Zentrums für Entwicklungsforschung** (ZEF) (Wittmer/Berger 2000). Das Gutachten des **HWWA-Instituts für Wirtschaftsforschung** (Michaelowa/Dutschke 2000) hatte ausschließlich den Clean Development Mechanism zum Thema und diente dementsprechend als Basis für Kapitel VI. Bei den Handlungsmöglichkeiten in Kapitel VII sind zahlreiche Anregungen aus allen Gutachten eingeflossen.

TAB

II. Einsatz und Perspektiven regenerativer Energieträger in Entwicklungsländern

Dieses Kapitel soll einen Überblick über den Einsatz und die Zukunftsperspektiven regenerativer Energieträger verschaffen und dazu beitragen, die vielfältigen Entwicklungsmöglichkeiten besser abschätzen zu können. Regenerative Energien werden weltweit in sehr unterschiedlichem Umfang und, aufgrund spezieller ökonomischer und ökologischer Rahmenbedingungen, regional sehr unterschiedlich produziert und genutzt. Die Produktion von Ölpalmen beispielsweise ist nur in tropischen Regionen möglich, während das Produkt (Palm- bzw. Palmkernöl) in vielen Bereichen vor allem in den Industrieländern der nördlichen Hemisphäre Verwendung findet.

Die Entwicklungsländer spielen in diesem Zusammenhang aus mehreren Gründen eine wichtige Rolle. Zum einen bietet die geographische Lage eines Großteils der betroffenen Staaten vorteilhafte klimatische Bedingungen für die Produktion und Nutzung zahlreicher regenerativer Energieträger. Und zum anderen muss bei steigenden Bevölkerungszahlen in Verbindung mit Wirtschaftswachstum mit einem erhöhten Energiebedarf dieser Länder gerechnet werden.

Die möglichen Perspektiven regenerativer Energieträger werden auf der Basis vorliegender Szenarienuntersuchungen dargestellt (Kap. II u. III). Zuvor werden einige Besonderheiten dieser Methode erläutert, um das Verständnis und die Interpretation der Ergebnisse zu erleichtern, und die Bandbreite der erwarteten zukünftigen Entwicklung zu verdeutlichen.

1. Szenarienanalysen

Szenarienanalysen bauen auf Wenn-Dann-Zusammenhängen auf. Mit ihnen sollen verschiedene Zukünfte möglichst konsistent beschrieben werden. Das Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie hat in einer vergleichenden Untersuchung 18 globale und entwicklungsländerspezifische Szenarien ausgewertet. Dabei wurde in einer umfassenden weltweiten Recherche nach geeigneten Ausarbeitungen gesucht und, beim Auftreten von Informationslücken, direkter Kontakt zu den Entwicklern der Szenarien aufgenommen. Szenarien und vor allem die dahinter liegenden Modelle sind unterschiedlich aufgebaut, haben abweichende Zielsetzungen, besitzen verschiedene technische und räumliche Bilanzgrenzen

und weisen letztlich unterschiedliche Qualität in der Darstellung auf. Dies hat zur Folge, dass nur wenige Szenarien bzw. deren Ergebnisse tatsächlich miteinander verglichen werden können (Valdivia/Wolters 2000, S. 8).

Mit dem Ziel, eine gleiche und gemeinsame Informationsbasis über die entscheidenden beeinflussenden Parameter zu erstellen, wurde von den Gutachtern des Wuppertal Instituts ein einheitliches Analyseraster für die vergleichende Szenarienbetrachtung erarbeitet. Wichtige Unterscheidungen bei der Szenarienanalyse ergeben sich aus der Betrachtung der folgenden Kriterien dieses Rasters:

- **Szenariotyp,**
- Ziele der Szenariountersuchung,
- **Modelltyp,**
- Modellumfang,
- **untersuchte Regionen und Sektoren,**
- Betrachtungszeitraum,
- **Verlauf der Treibergrößen,**
- Annahmen und Rahmenbedingungen.

Szenariotypen

Deskriptive Szenarien haben zum Ziel, verschiedene mögliche Entwicklungen unter verschiedenen oder gleichen Rahmenbedingungen zu beschreiben. Daraus können Schlussfolgerungen für staatliches Handeln oder auch Unternehmenspolitik gezogen werden. Lovins und Hennicke (1999) beschreiben ein berühmtes Beispiel für den Erfolg einer szenariengestützten Unternehmensstrategie. Im Falle der Firma Shell resultierte aus einer Szenarioanalyse der relevanten Märkte in den 70er Jahren die Maßnahme, einen Großteil der firmeneigenen Tankerflotte zu verkaufen. Bei Ausbruch der ersten Erdölkrise war Shell daher in der zu seinen Konkurrenten vergleichsweise guten Lage, Tankerkapazitäten nicht ungenutzt liegen lassen zu müssen und hat damit hohe Kosten gespart (Valdivia/Wolters 2000, S. 9).

Ein spezieller Typ des deskriptiven Szenarios ist die **Prognose**. Bei einer solchen wird die Entwicklung beschrieben, wie sie unter heute vorhersehbaren Rahmenbedingungen wahrscheinlich ablaufen wird. Dabei ist zu beachten, dass es sich nicht um die wahrscheinlichste Entwicklung handelt, sondern nur um die wahrscheinlichste unter derzeitig gültigen bzw. den der Analyse zugrundeliegenden Rahmenbedingungen. **Tatsächliche Entwicklungen weichen in der Realität zumeist deutlich von der prognostizierten Entwicklung ab.**

Dem Aufbau eines **normativen Szenarios** hingegen liegen Zielvorstellungen zugrunde, wie sie beispielsweise bei internationalen Verhandlungen beschlossen werden. Im Energiebereich werden beispielsweise häufig Zielvorstellungen wie eine CO_2-Verminderung um x % bis zu einem Zieljahr modelliert. Ein ökologisches Hauptziel wie dieses wird in der Praxis häufig in Verbindung mit einem ökonomischen Nebenziel definiert. Damit könnte dann z.B. unter den technischen Optionen zur CO_2-Minderung die kostengünstigste ermittelt werden. Aufgrund dieses Vorgehens können die Ergebnisse normativer Untersuchungen erheblich von denen deskriptiver abweichen. Normative Szenarien spiegeln die Tatsache wider, dass die Zukunft gestaltbar und nicht vorgegeben ist.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass alle klimaschutzorientierten Szenarien normative und alle Prognosen deskriptive Szenarien sind. Erst in der gemeinsamen Betrachtung von deskriptiven und normativen Szenarien lassen sich unternehmerische und politische Handlungsspielräume umfassend erkennen (Valdivia/Wolters 2000, S. 9 f.).

Modelltyp, Treibergrößen, Regionen und Sektoren

Szenarien lassen sich auf verschiedene Weisen, also mit unterschiedlichen Modellen erstellen. Wie in vielen anderen Bereichen existiert auch hier bisher keine Methode, die allen Anforderungen gerecht werden könnte. Je nach Anwendungsfall und Zielorientierung müssen die Methode, der Modelltyp und die Art der Expertenbeteiligung ausgewählt werden. Die Art der verwendeten Modelle wiederum führt zur Unterscheidung zwischen qualitativen und quantitativen Szenarien. Die im Folgenden präsentierten Ergebnisse stammen ausschließlich aus der Analyse von quantitativen Szenarien, weshalb hier nicht weiter auf qualitative Szenarien eingegangen wird.

In quantitativen Szenarien werden mit einem mathematischen Modell, in der Regel rechnergestützt, quantitative Aussagen zu bestimmten Entwicklungen gemacht. Dabei sollte beachtet werden, dass ein komplexes Modell nicht zwingend bessere Ergebnisse liefert. Die Aussagekraft eines Szenarios hängt von der jeweiligen Fragestellung und dem in Abhängigkeit davon verwendeten **Modelltyp** ab. Für die Betrachtung volkswirtschaftlicher Zusammenhänge bedient man sich zumeist der so genannten **Top-down-Modelle**. Diese erlauben, vereinfacht ausgedrückt, den Blick "von oben". Mit Hilfe typischer ökonometrischer Modelle oder Input/Output-Analysen wird der Untersuchungszeitraum als Ganzes betrachtet. Die Entwicklung von Wirtschaftssektoren und deren Energieverbräuche werden aus ökonometrischen Daten und Zeitreihen

abgeleitet. Da Top-down-Modelle für technologieorientierte Untersuchungen zu unscharf sind, bevorzugt man für solche Vorhaben **Bottom-up-Modelle**. Diese erlauben es, Sektoren, Unternehmen aber auch ganze Wirtschaftssysteme "von unten" zu betrachten und bilden daher die Realität technologieorientiert und von der Nachfrage kommend ab (Valdivia/Wolters 2000, S. 10 f.).

In der Szenariotechnik werden in der Regel zwei Zeitreihen als **Treibergrößen** bezeichnet: Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum. Beide Größen werden extern vorgegeben, entwickeln sich also nicht aus dem Modell heraus, und da sie z.B. entscheidend für den Energieverbrauch sind, werden sie mit dem Zusatz "Treiber" versehen.

Die Anzahl der in den Szenarien **untersuchten Regionen** reicht von der Betrachtung der Welt (eine Region) bis hin zu einer differenzierten Betrachtung von 13 nach wirtschaftlichen und geographischen Kriterien ausgewählten Regionen (z.B. Industrie- und Entwicklungsländer, Reformstaaten). Ähnlich verhält es sich bei den **untersuchten Sektoren**. Einige Szenarien betrachten bis zu fünf Sektoren, was die Aussagekraft aufgrund der unterschiedlichen Struktur der Einzelsektoren in der Regel deutlich verbessert (Valdivia/Wolters 2000, S. 12 ff.).

2. Primär- und Endenergieverbrauch in Entwicklungsländern

Bei der nun folgenden Darstellung ausgewählter Ergebnisse der Szenarienanalysen ist zu beachten, dass die oben aufgeführten unterschiedlichen Ansätze der einzelnen Untersuchungen, verschiedene Bilanzierungsmethoden und Unsicherheiten bei der Datenerhebung zu entsprechenden Spannweiten bei den Ergebnissen führen.

Aktueller Stand

Der **End- oder Nutzenergieverbrauch** beschreibt die Menge Energie, die nach der Umwandlung der in den Energieträgern (z.B. Kohle oder Biomasse) enthaltenen **Primärenergie** verbraucht wird. Daher schwankt das Verhältnis zwischen Primär- und Endenergieverbrauch u.a. in Abhängigkeit vom Wirkungsgrad der Technologie, die bei der Energieumwandlung verwendet wird. Der folgenden Tabelle ist der aktuelle Endenergieverbrauch in Entwicklungsländern

zu entnehmen. Im Jahre 1995 betrug der Weltendenergiebedarf 6,2 Gtoe[1], woran die Industrieländer einen Anteil von 2,8 Gtoe und die Reformstaaten einen Anteil von 0,8 Gtoe hatten.

Tab. 1: Endenergieverbrauch in der Gruppe der Entwicklungsländer für 1995

Energieträger	*Energieverbrauch (Gtoe)*
Kohle	0,5
Erdöl	0,8
Strom	0,2
Biomasse	0,9
andere	0,2
gesamt	2,6

Quelle: Valdivia/Wolters 2000, S. 87

Demgegenüber steht ein Weltprimärenergieverbrauch von 9,25 Gtoe im selben Jahr, von denen, wie aus Tabelle 2 zu entnehmen ist, zwischen 3,64 und 4,14 Gtoe auf die Entwicklungsländer entfallen.

Tab. 2: Primärenergieverbrauch in der Gruppe der Entwicklungsländer für 1995 (in Gtoe)

	WEC-Bilanzmethode*		*IEA*-Bilanzmethode*	
Energieträger	*WEC 1990*	*WI*1995*	*IEA 1995*	*WI 1995*
Kohle	0,82	1,14	1,00	1,14
Erdöl	0,85	0,99	1,09	0,99
Erdgas	0,26	0,30	0,36	0,30
Uran	0,03	0,03	0,04	0,03
Erneuerbare	1,09	1,68	0,97	1,28
gesamt	3,10	4,14	3,64	3,74

* WEC = World Energy Council; IEA = Internationale Energie Agentur; WI = Wuppertal Institut

Quelle: Valdivia/Wolters 2000, S. 87

1 Gtoe (= Gigatonne oil equivalent), entspricht 41.868 EJ (= Exajoule). 1 EJ = 1018 J (= joule).

Aus Tabelle 3 schließlich lässt sich der Primärenergieverbrauch einzelner Entwicklungsregionen entnehmen.

Tab. 3: Beitrag einzelner Entwicklungsregionen zum Primärenergieverbrauch der Entwicklungsländer für 1995 (nach IEA*-Bilanzmethode)

Region	*Energieverbrauch (in Gtoe)*
planwirtschaftliches Asien	1,38
Südasien	0,64
pazifisches Asien	0,49
Mittlerer Osten	0,26
Lateinamerika	0,69
Afrika	0,27
gesamt	3,74

* IEA = Internationale Energie Agentur

Quelle: Valdivia/Wolters 2000, S. 88, nach Wuppertal-Institut

Zukunftsperspektiven

In allen untersuchten Szenarien steigt der Verbrauch von End- und Primärenergie im Verlaufe der kommenden 50 Jahre deutlich an. Bei den **deskriptiven Szenarien** reicht die Spannweite des **Endenergieverbrauchs** der Entwicklungsländer von einer Verdopplung auf 5,3 Gtoe bis zu einer Vervierfachung auf 10,4 Gtoe. Für den entsprechenden **Primärenergieverbrauch** ergibt sich eine ähnliche Entwicklung. Dieser erhöht sich von rund 3,5 Gtoe (1995) auf 8,7 bis 14,4 im Jahr 2050, während sich die Annahmen für den weltweiten Primärenergieverbrauch zwischen 19,1 und 25,1 Gtoe bewegen. Tabelle 4 ist zu entnehmen, zu welchen Anteilen der Primärenergieverbrauch in den Entwicklungsländern von den verschiedenen Energieträgern gedeckt werden soll. Schon hier ist zu erkennen, wie sich das Verhältnis zugunsten der erneuerbaren Energieträger verändert.

Die sich hier ergebenden Spannweiten spiegeln sich auch im Endenergiebedarf der Entwicklungsländer wieder. Aus Abbildung 1 lässt sich dessen Verlauf von 1995 bis 2050 entnehmen.

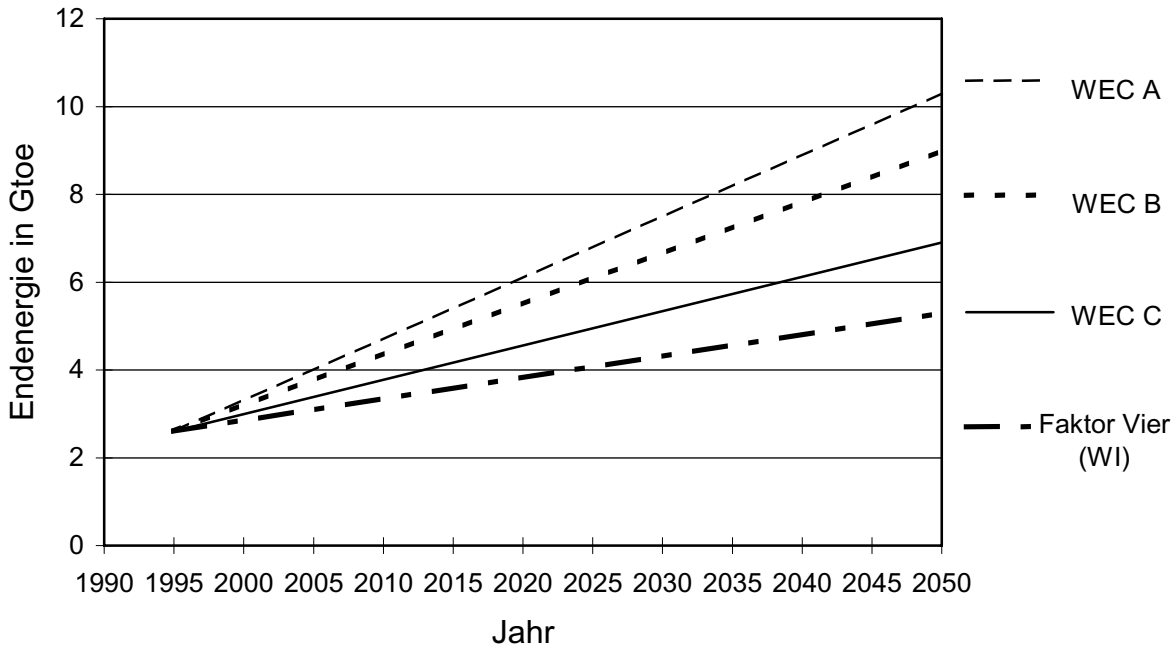
Tab. 4: Deskriptive Szenarien zum Primärenergieverbrauch bis 2050 nach Energieträgern in Entwicklungsländern (in Gtoe)

	WEC 1990	*IEA 1995*	*IEA 2020*	*WEC 2020*	*DOE[1] 2020*	*WEC B[2] 2050*
Kohle	0,82	1,00	2,20	1,78	2,18	2,82
Erdöl	0,85	1,09	2,40	1,99	2,57	2,54
Erdgas	0,26	0,36	1,20	1,08	1,55	2,14
Uran	0,03	0,04	0,12	0,16	0,09	1,05
Erneuerbare	1,09	0,97	1,47	1,64	0,48	3,32
gesamt	3,10	3,46	7,39	6,70	6,85	11,90

1) DOE = Department of Energy, USA;
2) Die Szenarien des WEC unterscheiden zwischen drei verschiedenen Entwicklungspfaden (A, B, C), wobei die Variante B das Trendszenario darstellt.

Quelle: nach Valdivia/Wolters 2000, S. 94

Abb. 1: Verlauf des Endenergiebedarfs in allen Entwicklungsländern von



1995 bis 2050

Quelle: Valdivia/Wolters 2000, S. 102

Die Untergrenze, also der niedrigste Energiebedarf (Abb. 1), wird von dem normativen Szenario "Faktor Vier" des Wuppertal Instituts mit der Zielorientierung "50 % CO_2-Emissionsminderung bis 2050" vorausgesagt. Dieser Verlauf ist den Szenarioangaben zufolge aufgrund der entsprechenden Technologieauswahl zu großen Teilen wirtschaftlich zu realisieren. Allerdings zeigt die Hemmnisforschung (Kap. IV), dass eine Reihe von motivierenden und politischen Maßnahmen flankierend notwendig sind, um auf diesen Pfad einzuschwenken.

3. Nutzung regenerativer Energieträger

In diesem Abschnitt werden die Perspektiven regenerativer Energieträger beschrieben, wie sie sich aus der oben dargestellten Entwicklung des Energieverbrauchs ergeben. Der Anteil aller erneuerbarer Energien schwankt dabei je nach Szenario zwischen 28 und 87 % am Gesamtprimärenergieverbrauch der Entwicklungsländer im Jahr 2050. Eine Erklärung hierfür ist in den unterschiedlichen Zielvorgaben der normativen Szenarien zu suchen, in denen u.a. von verschiedenen Atomausstiegsvarianten oder von der Einführung bestimmter energiesparender Technologien ausgegangen wird.

Aktueller Stand

Im Jahr 1995 verteilte sich der **Anteil erneuerbarer Energien am Primärenergieverbrauch** auf die einzelnen Energieträger entsprechend den Angaben aus Tabelle 5.

Tab. 5: Beiträge regenerativer Energien zum Primärenergieverbrauch in Entwicklungsländern für 1995 (in Gtoe)

	WEC-Bilanzmethode	*IEA-Bilanzmethode*
Biomasse	1,03	1,03
Geothermie	0,01	0,00
Wind/Solarenergie	0,00	0,00
Wasserkraft	0,64	0,25
gesamt	1,68	1,28

Quelle: Valdivia/Wolters 2000, S. 88, nach Wuppertal-Institut

Zukunftsperspektiven

Da vonseiten der Primärenergie auf mehr Untersuchungen zurückgegriffen werden kann, entfällt in diesem Abschnitt eine Endenergiebetrachtung. Die Perspektiven aller erneuerbarer Energien können der folgenden Tabelle 6 entnommen werden.

Danach werden in Entwicklungsländern der **Wasser- und Windenergie und der Geothermie** weniger große Anteile eingeräumt als anderen Energieträgern. Beide Werte bewegen sich in jedem Szenario unterhalb der 10 %-Grenze. Bei Wind ist diese Aussage jedoch zu relativieren, da nicht immer eindeutig geklärt werden konnte, welche Anteile sich hinter dem häufig aufgeführten kumulierten Wert Solar/Wind verbergen.

Tab. 6: Perspektiven erneuerbarer Energien in Entwicklungsländern für das Jahr 2050 - Ergebnisse verschiedener Szenarienberechnungen

	Energieverbrauch (Gtoe)		*Anteil am Gesamtverbrauch*	
	Höchstwert	*Niedrigstwert*	*Höchstwert*	*Niedrigstwert*
Biomasse	3,1	1,6	35 %	16 %
Geothermie	0,2	0,2	2 %	2 %
Solarstrahlung	3,1	0,4	36 %	3,4 %
Wasserkraft	0,7	0,3	8 %	4 %
Solar/Wind[1)]	5,3	1,2	62 %	10 %
Windenergie	0,8	0,4	6 %	4 %
Gesamtwerte	7,5	3,3	87 %	28 %

1) Einige Szenarien weisen Solar- und Windenergie kumuliert, andere getrennt auf. Aus diesem Grund enthält die Tabelle diese Bereiche sowohl einzeln als auch getrennt.

Quelle: Valdivia/Wolters 2000, S. 104

Die Einschätzung der **Solarenergie** ist großen Schwankungen unterworfen. Dies liegt vor allem an Kostenannahmen, die in deskriptiven Szenarien hoch angesetzt sind, in normativen aber von einer deutlichen Verbesserung aufgrund flankierender Maßnahmen ausgehen. Bei einer regional differenzierten Betrachtung treten weitere Schwankungen auf, die auf divergierende geographische Verhältnisse zurückgehen. So ist eine Biomasse- oder Wasserkraftnutzung in trockenen Gebieten kaum möglich, wohingegen Solarenergie dort prädestiniert ist.

Die Einschätzung über die Bedeutung der **Biomasse** ist ebenfalls Schwankungen, in diesem Fall aber auf einem hohen Niveau, unterworfen. Im Gegensatz zur heutigen Situation wird im Jahr 2050 davon ausgegangen, dass Biomasse dann ausschließlich kommerziell genutzt wird. Deshalb kann unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen davon ausgegangen werden, dass für die Entwicklung und Vermarktung von Anlagen zur Nutzung biogener Energieträger gute Zukunftsaussichten bestehen.

Insgesamt werden bei **allen regenerativen Energien** somit **enorme Steigerungsraten** erwartet. Alle Szenarioanalysen zeigen, dass es sich um eine "robuste" Entwicklung handelt und in diesem Bereich erhebliche Marktpotenziale für Energieerzeugungs- und -umwandlungsanlagen erschlossen werden können. Moderate Wachstumsraten kennzeichnen die Entwicklung bis zum Jahr 2020, in der es zunächst wichtig sein wird, Marktpositionen zu besetzen. Danach gehen die Szenarienanalysen von einer zunehmend beschleunigten Ausweitung der Nutzung regenerativer Energien aus, so dass dieser Markt ein mindestens so großes Volumen haben wird wie der von Anlagen, die mit fossiler Energie betrieben werden. Das Volumen des Marktes von Kernkraftanlagen wird dabei deutlich übertroffen.

III. Energetische Nutzung von Biomasse in Entwicklungsländern

In diesem Kapitel werden verschiedene Formen der energetischen Nutzung von Biomasse behandelt. Den biogenen Festbrennstoffen räumen Experten besonders in Entwicklungsländern ein großes Potenzial ein, weshalb hier ein Schwerpunkt gesetzt wird (Kap. III.1). Die darauf folgenden Kapitel gehen dann auf die Bereiche Pflanzenöle und Biogas ein (Kap. III.2 u. III.3).

1. Biogene Festbrennstoffe

1.1 Definition und technische Biomassepotenziale

Unter **biogenen Festbrennstoffen** (hier synonym auch Biomasse) versteht man Brennstoffe organischer Herkunft, die zum Zeitpunkt ihrer energetischen Nutzung in fester Form vorliegen. Diese Definition umfasst Holz und halmgutartige Materialien, aber auch Energiepflanzen und Tierdung. In Entwicklungsländern werden biogene Festbrennstoffe heute vielfach genutzt, um in Haushalt und Kleingewerbe Nutzenergie bereitzustellen. Die gegenwärtige Nutzung beschränkt sich jedoch auf ein knappes Drittel des Gesamtpotenzials, welches in den Entwicklungsländern auf etwa 104 EJ/Jahr (Tab. 7) geschätzt wird. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass die Nutzung dieses Potenzials u.a. von dessen regionaler Verfügbarkeit abhängt, weshalb hier vertieft auf einzelne Regionen und Länder eingegangen wird (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 69).

Der Begriff **technisches Potenzial** beschreibt den zeit- und ortsabhängigen, hauptsächlich aus technischer Sicht möglichen Beitrag eines Energieträgers zur Deckung der Energienachfrage (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 69). Im Folgenden werden die einzelnen Fraktionen näher erläutert (Tab. 7).

Tab. 7: Jährlich technisch nutzbare Potenziale biogener Festbrennstoffe (in EJ/a) in ausgewählten Ländern und Kontinenten

Kontinente/ Länder	*holz-haltige Bio-masse*	*Ernte-rück-stände*	*Dung*	*Energie-pflanzen*	*Gesamt-potenzial*	*Anteil an Entwick-lungs-länder gesamt*	*derzeitige Biomasse-nutzung*
Asien[1]	7,40	9,70	2,60	0,20	19,90	19,10	23,20
Indien	0,90	2,60	1,10	0,00	4,60	4,40	7,90
Afrika[2]	5,30	0,80	1,10	13,90	21,40	20,60	8,30
Simbabwe	0,04	0,02	0,03	1,20	1,30	1,20	0,20
Latein-amerika	6,50	1,90	1,90	12,60	22,90	22,00	2,60
Brasilien	2,50	1,00	0,90	6,40	10,80	10,40	1,20
Entwick-lungsländer gesamt	41,60	17,20	7,60	37,40	103,80	100,00	40,00

1) Asien und Naher Osten; 2) ohne Südafrika

Quelle: Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 70

Technisches Potenzial holzartiger Biomassefraktionen: Dieses Potenzial wird u.a. auf der Basis verfügbarer Einschlagzahlen bzw. der vorhandenen Waldflächen und mittlerer, regional sehr unterschiedlicher Holzzuwächse ermittelt. Von den daraus ableitbaren weltweit rund 41,6 EJ/Jahr an Holzmasse resultiert etwas mehr als die Hälfte aus dem theoretisch energetisch nutzbaren Holzzuwachs, ca. 17 bzw. 13 % aus den beim Einschlag bzw. der industriellen Weiterverarbeitung anfallenden Produktionsrückständen und rund 7 bzw. 8 % aus dem jährlich anfallenden Altholz und sonstigen Holz. Die größten energetisch nutzbaren Holzpotenziale befinden sich in Nordamerika und resultieren insbesondere aus dem bisher ungenutzten Holzzuwachs (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 69).

Technisches Potenzial landwirtschaftlicher Rückstände und Nebenprodukte: Bei dieser Fraktion handelt es sich um halmgutartige biogene Festbrennstoffe wie z.B. das bei der Getreideproduktion anfallende Stroh (Halmgut) oder die bei der Verarbeitung von Reis anfallenden Reisspelzen. Ein Nebenprodukt der Zuckerherstellung aus Zuckerrohr ist energetisch nutzbare Biomasse in

Form von Bagasse, deren Einsatz als Energieträger v.a. in Brasilien weitverbreitet ist. Für diese Kategorie errechnet sich ein weltweites Potenzial an biogenen Festbrennstoffen von rund 17,2 EJ/Jahr. Dabei liegen die größten Potenziale in Asien und deutlich geringere in den Bereichen der lateinamerikanischen und karibischen Länder. Die Biomassefraktionen Stroh, Reisspelzen und Bagasse sind am weitesten verbreitet (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 69).

Technisches Potenzial an Dung: Der bei der Nutztierhaltung anfallende Dung ist in getrocknetem Zustand als Festbrennstoff nutzbar. Wird vereinfachend unterstellt, dass rund die Hälfte der weltweit bei der Rinder- und Schweinehaltung anfallenden Exkremente als Festbrennstoff nutzbar wären, errechnet sich ein technisches Brennstoffpotenzial von rund 7,6 EJ/Jahr. Davon stammen rund 93 % aus Rinder- und etwa 7 % aus Schweineexkrementen. Die mit Abstand größten Potenziale sind dabei wiederum in Asien gegeben. Alternativ zur Nutzung als Festbrennstoff kann Tierdung auch durch eine anaerobe Fermentation in Biogas umgewandelt werden (Kap. III.3). Unter ähnlich vereinfachenden Annahmen errechnet sich ausgehend von dem weltweiten Bestand an Rindern und Schweinen ein entsprechendes Biogaspotenzial von etwa 2,6 EJ/Jahr. Auch hier sind in Asien mit rund 0,9 EJ/Jahr die weltweit größten Potenziale vorhanden (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 70).

Technisches Potenzial an Energiepflanzen: Wesentliche Bestimmungsgröße für die technischen Potenziale der Energiepflanzen sind die für den Anbau verfügbaren Flächen; hier schwanken die Angaben zwischen 350 und 950 Mio. Hektar weltweit. Näherungsweise könnten in den Industrieländern durchschnittlich 7 % (48 Mio. ha) der genutzten Ackerfläche für den Anbau von Energiepflanzen verwendet werden. Für die Entwicklungsländer liegen die dafür theoretisch verfügbaren und geeigneten Flächen deutlich höher. Würde auf diesen Flächen ein Mix der an den jeweiligen Standorten einsetzbaren Pflanzen zur Biomasseproduktion angebaut, errechnet sich ein technisches Energiepotenzial von ca. 37,4 EJ/Jahr. Davon wäre mit 13,9 EJ/Jahr auf 150 Mio. Hektar das größte Potenzial in Afrika gegeben. Wegen fehlender nutzbarer Flächen sind die Möglichkeiten für den Energiepflanzenanbau in Asien eher gering (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 70).

Vorab ist festzustellen, dass aufgrund des vorhandenen und unausgeschöpften technischen Potenzials eine weitergehende Nutzung von Biomasse vor allem in Afrika und Lateinamerika möglich ist. Hinzu kommt, dass die Biomasse in nahezu allen Entwicklungsländern bisher sehr ineffizient genutzt wird, worauf im Folgenden eingegangen wird.

1.2 Analyse der gegenwärtigen Nutzung und Perspektiven

Die unterschiedliche Nutzbarkeit der technischen Biomassepotenziale wird von einer Reihe unterschiedlicher Faktoren bestimmt. Dazu gehören klimatische Bedingungen, fortschreitende Landdegradierung und insbesondere die Verfügbarkeit am Ort der Nachfrage in den ländlichen und städtischen Siedlungszentren.

Oftmals ist allerdings für die Nichtnutzbarkeit der vorhandenen Potenziale ein Verteilungsproblem verantwortlich. In Regionen wie z.B. dem Kongobecken gibt es wegen fehlender Infrastruktur praktisch kaum eine Biomassenachfrage und dementsprechend auch keine Nutzung des vorhandenen, großen Potenzials. Um es dennoch zu nutzen, müsste die Biomasse zu den Zentren der Nachfrage transportiert werden, was aus Kostengründen und dem Mangel an Verkehrsinfrastruktur sowie aufgrund politischer Probleme zunächst unrealistisch erscheint (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 71).

In Afrika, Asien und Lateinamerika befinden sich die meisten gemeinhin als Entwicklungsländer bezeichneten Staaten. Darum soll anschließend ein kurzer Überblick über den derzeitigen Stand der Nutzung von biogenen Festbrennstoffen in diesen Erdteilen gegeben werden (Tab. 8).

Der Großteil der in **Afrika** genutzten biogenen Brennstoffe stammt aus natürlich gewachsenen Wäldern und dient zur Versorgung der Haushalte mit Nutzenergie sowie in geringfügigem Umfang auch zur Holzkohleproduktion. Zusammengenommen werden durch den Einsatz von Biomasse rund 2.207 PJ/Jahr Nutzenergie aus fossilen Energieträgern ersetzt. Im Vergleich zu Asien liegt der Anteil von Biomasse am Energieträgermix in Afrika mit rund 21 % mehr als doppelt und im Vergleich zu Lateinamerika und der Karibik sogar dreimal so hoch (Kaltschmitt et al. 1999, S. 33).

Auch in **Asien** wird Biomasse hauptsächlich in den Haushalten genutzt und nur zu ca. 6 % in der Industrie. Im Gegensatz zu Afrika kommt hier aber eine bedeutende Menge landwirtschaftlicher Nebenprodukte und Rückstände zum Einsatz. Die mit Abstand größten Biomasseverbraucher sind China, Indien und Indonesien. Man schätzt, dass die Nutzenergie aus Biomasse zurzeit zwischen 6.533 und 8.501 PJ/Jahr beträgt, die sonst mit Hilfe fossiler Energieträger bereitgestellt werden müssten (Kaltschmitt et al. 1999, S. 37).

In **Lateinamerika und der Karibik** verteilt sich die Energie aus biogenen Festbrennstoffen in nahezu gleichen Teilen auf Haushalte und Industrie. Die Statistiken werden hier in starkem Maße von Brasilien, dem mit Abstand größten Land dieser Region, beeinflusst. Ohne die Nutzung von Biomasse müssten

zwischen 375 und 688 PJ/Jahr Nutzenergie aus fossilen Energieträgern bereitgestellt werden.

Tab. 8: Biomasseverbrauch in Afrika, Asien und Lateinamerika 1998 (in PJ/a)

	Holz	*Holzkohle*	*Ernterückstände*	*Summe*
Afrika				
Haushalte	6.649	1167	136	7.952
Industrie	731	23	37	791
Summe	7.380	1190	173	8.743
Asien				
Haushalte	12.878	782	6.203	19.863
Industrie	237	0	1.025	1.262
Summe	13.115	782	7.228	21.125
Lateinamerika (inkl. Karibik)				
Haushalte	1.237	151	29	1.417
Industrie	320	394	662	1.376
Summe	1.557	545	691	2.793

Quelle: Kaltschmitt et al. 1999, S. 33, 36 u. 40

In der nun folgenden Analyse werden die Beispiele dreier Länder in Asien, Afrika und Lateinamerika vorgestellt, um die oben angedeutete Bandbreite der Bestimmungsfaktoren für die Biomassenutzung zu verdeutlichen. Dabei konzentriert sich die Betrachtung hier vornehmlich auf demographische und geographische sowie technische Faktoren. Umsetzungsrestriktionen nicht-technischer Art werden in Kapitel IV näher untersucht.

1.2.1 Indien

Mit über einer Milliarde Einwohnern und einer Gesamtfläche von 3.288 Mio. km^2 ist Indien eines der bevölkerungsreichsten und größten Länder der Erde. Etwa 80 % der Bevölkerung lebt in ländlichen Gebieten, von denen viele noch keinen Zugang zum öffentlichen Stromnetz haben. Bei einem Wachstum von etwa 2 % könnte sich die Bevölkerung bis 2030 nahezu verdoppeln. Zusätzlich ist durch die wirtschaftliche Entwicklung und die Erschließung ländlicher Regionen mit einem steigenden Pro-Kopf-Energieverbrauch in den nächsten Jahren zu rechnen. Für den gesamten kommerziellen Energieverbrauch erwartet man deshalb bis zum Jahr 2010 eine Steigerungsrate von 6-7 % pro Jahr (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 14).

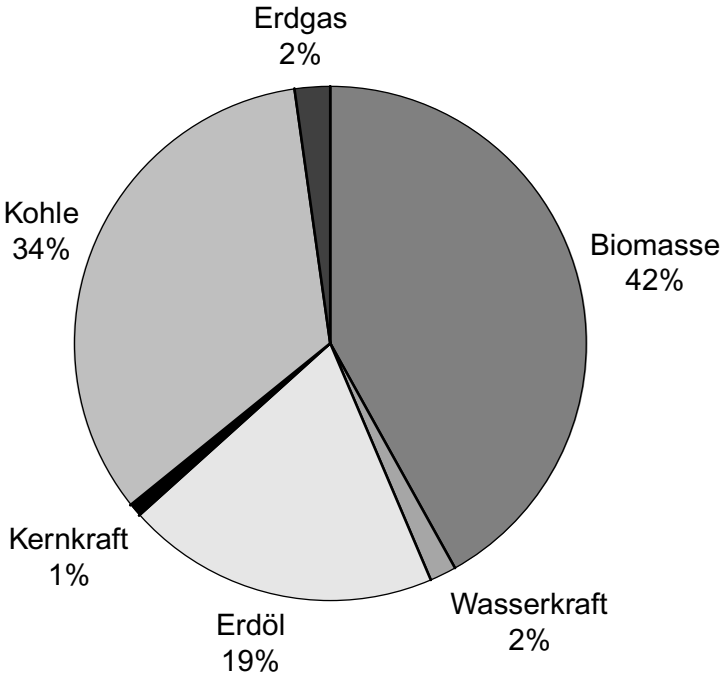
Brennstoffeinsatz

Innerhalb der erneuerbaren Energien nimmt die Biomasse mit einem Anteil von 42 % am Gesamt-Primärenergieverbrauch des Landes eine zentrale Stellung ein (Abb. 2). Dies gilt insbesondere deshalb, weil in großen Teilen ländlicher Gebiete wegen fehlendem Zugang zu höherwertigen Energieträgern sowie geringem Haushaltsbudget zwangsläufig auf Biomasse zur Deckung der Nachfrage zurückgegriffen werden muss (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 17).

Der primärenergetische **Gesamtverbrauch an biogenen Festbrennstoffen** in Indien wird von der Internationalen Energie Agentur für das Jahr 1998 mit 7.915 PJ ausgewiesen, was etwa einem Drittel der in Asien genutzten Biomasseenergie entspricht. Bei einem durchschnittlichen Heizwert von 15 MJ/kg errechnet sich ein landesweiter Biomasseverbrauch von 530 Mio. t/Jahr. Etwa 65 % dieser Menge entfällt auf den Verbrauch von Brennholz mit einem Energiegehalt von insgesamt 5,1 EJ/Jahr, die verbleibenden 35 % in gleichen Teilen auf die Nutzung von Dung und Ernterückständen (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 18).

Da der jährliche Zuwachs indischer Wälder nur etwa 0,3 EJ/Jahr bereitstellt, übertrifft die Entnahme von Holz den Zuwachs bei Weitem. Die Verknappung von Brennholz zwingt weite Teile der Bevölkerung, Dung in zunehmendem Maße zur Bereitstellung von Nutzenergie zu verwenden, welcher damit für den Düngereinsatz auf landwirtschaftlichen Nutzflächen verloren geht. Gleichzeitig zeigt diese Praktik auch die prekäre Armutssituation, mit der viele der vorwiegend ländlichen Haushalte konfrontiert sind (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 19).

Abb. 2: Prozentuale Anteile verschiedener Energieträger am Gesamt-Primärenergieverbrauch Indiens im Jahr 1999



Quelle: Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 16

Die **regionale Nutzung** biogener Festbrennstoffe unterscheidet sich erheblich. Einen besonders hohen Pro-Kopf-Verbrauch weist die Region Orrissa in den östlichen Plateau- und Hügelgebieten auf. Hierbei ist zu beachten, dass ein hoher Pro-Kopf-Verbrauch nicht zwingend einen hohen Gesamtverbrauch in der entsprechenden Region mit sich bringt. In der Region Uttar Pradesh z.B. ist der Gesamtverbrauch an Biomasse am höchsten, doch wegen der hohen Bevölkerungsdichte in diesem Bundesstaat liegt der Pro-Kopf-Verbrauch im Vergleich zu anderen Regionen mit 6,16 GJ/Jahr eher im mittleren Bereich.

Obwohl Daten für den Biomasseverbrauch überwiegend für ländliche Gebiete vorliegen, kann man auch in Ballungsgebieten - insbesondere in den Slums der Stadtrandgebiete - von einer erheblichen Brennholznutzung ausgehen. Für die Stadtbewohner von Neu Dehli wurde ein Brennholzverbrauch von 0,29 GJ pro Kopf und Jahr ermittelt, während die Landbevölkerung in dieser Region einen durchschnittlichen Pro-Kopf-Brennholzverbrauch von ca. 2 GJ pro Kopf und Jahr hat (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 21).

Die Nutzung von Ernterückständen beträgt in den urbanen Gebieten schätzungsweise 20 % von jener der umliegenden ländlichen Gebiete. Ebenso verhält es sich mit der Nutzung tierischer Abfälle (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 21).

Die Nutzung der jeweiligen Biomasseart hängt in starkem Maße vom Zugang zu den entsprechenden Ressourcen wie Wäldern, landwirtschaftlichen Produktionsflächen und anderen energetisch verwertbaren Rückständen, z.B. aus der Tierhaltung, ab. Die Biomasseproduktion wiederum - und damit die Verfügbarkeit dieser Ressourcen - wird besonders vom Klima, Morphologie, Sonneneinstrahlung, Nährstoffverfügbarkeit und Bodenbeschaffenheit beeinflusst. So lassen sich bei der Nutzung von Dung in Indien erhebliche Unterschiede feststellen. Auf den Ebenen der Westküste sowie auf den östlichen Plateauebenen ist Dung fast ohne Bedeutung, da hier genügend Brennholz vorhanden ist, um den Bedarf der Haushalte zu decken. Im oberen Bereich des Ganges jedoch wird der geringe Anteil an verfügbarem Brennholz durch einen hohen Dungverbrauch kompensiert, welcher auf Landesebene mit 1,92 kg pro Kopf und Tag der höchste ist (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 22).

Die **sektorale Biomassenutzung** kann der Tabelle 9 entnommen werden. Die vorliegenden Daten charakterisieren den Pro-Kopf-Verbrauch auf der Grundlage mittlerer Schätzwerte. Biomasse kommt demnach zu etwa 85 % im Haushaltssektor und zu rund 15 % im Industrie- bzw. Kleingewerbesektor zum Einsatz.

Tab. 9: Sektoraler Verbrauch biogener Festbrennstoffe in Indien 1995 (in Mio. t/a)

	häuslicher Sektor		*Industriesektor*		*gesamt*	*pro Kopf*
	Land	*Stadt*	*Land*	*Stadt*		
Brennholz	252	30	6	10	298	5,29
Ernte-rückstände	99	0	0	57	156	2,68
Dungfladen	109	5	0	0	114	1,85
gesamt	460	35	6	67	568	9,82

Quelle: Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 24

Biomasse kann direkt genutzt werden (z.B. als Brennholz) oder nach Aufbereitung (in Form von Briketts, Pellets, Holzkohle oder Biogas) mit höherem Heizwert. Die direkte Nutzung beschränkt sich auf die Anwendung des nur

sehr einfach aufbereiteten Biofestbrennstoffs (z.B. Hackgut) zum Kochen, Wasserwärmen und ggf. für die Raumbeheizung in städtischen und ländlichen **Haushalten** (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 23).

Aber auch in öffentlichen und sonstigen Einrichtungen - zu denen Schulen, Weiterbildungseinrichtungen, Gesundheitszentren, religiöse Einrichtungen, kleinere Hotels und Gefängnisse gehören - gibt es eine große Bandbreite des Einsatzes biogener Festbrennstoffe als Primärenergiequelle.

Einen hohen Holzanteil im **industriellen Bereich** verbrauchen Zementfabriken und größere Ziegeleien. Ernterückstände werden zu einem Großteil in der ländlichen Industrie genutzt, wie im Falle der Zuckerrohrbagasse, die in Zuckermühlen als Energielieferant eingesetzt wird. Zum Kleingewerbe in Indien zählen v.a. Topfbrennereien, Tabak- und Teeblättertrocknungsbetriebe, Räuchereien, kleinere Ziegelbrennereien, in denen der Biomasseeinsatz aber zugunsten von Kohle beständig abnimmt.

Bestandsaufnahme der Konversionstechniken

Die bereitgestellte Biomasse wird besonders in den ländlichen Haushalten in Millionen **traditioneller Kochherde** verbrannt. Da diese Anlagen durch eine extrem niedrige Effizienz bzw. Brennstoffausnutzung geprägt sind, liegen die Energieverluste bei der Umwandlung der Brutto- bzw. Primärenergie in die Netto- bzw. Nutzenergie sehr hoch. Die Wirkungsgrade dieser tragbaren oder eingebauten Biomasseherde bewegen sich zwischen 5 und 10 % bei holzgefeuerten Herden, deutlich unter 10 % bei Hülsen- und Spelzenherden und um die 10 % bei Kuhdungherden. In Ausnahmefällen können Wirkungsgrade bis zu 15 % erreicht werden (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 24).

Wie aus Tabelle 10 hervorgeht, können mit **verbesserten Brennholzherden** wesentlich höhere Wirkungsgrade realisiert werden. Die technischen Verbesserungen beruhen vorwiegend auf verminderten Wärmeverlusten durch Maßnahmen wie windgeschütztes Design, Ausnutzung der Topfwandungen zur Wärmeübertragung und der geeigneten Isolation der Herde. Hinsichtlich des Wirkungsgrades liegen die Mindestgrenzen für den Bau verbesserter Herde in Indien bei 20 % für feststehende und 25 % für tragbare Modelle. Dabei muss beachtet werden, dass der Wirkungsgrad einer Feuerungsanlage u.a. vom Brennstoff abhängt. So erreichen die Anlagen bei Brennholznutzung in der Regel den höchsten und bei Dung den niedrigsten Wirkungsgrad.

Tab. 10: Exemplarisch ausgewählte verbesserte Herdtypen in Indien im Hausgebrauch

Herdtyp	*Wirkungsgrad in %*
Drei-Steine-Holzbrennofen, offen (Junagadh)	30-37
Drei-Steine-Holzbrennofen, offen (ASTRA)	20-40
Reisspelzenofen	18
rauchloser Holzkohleofen (CMERI)	50-55

Quelle: nach Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 25

Diese Messungen zeigen, dass es praktisch möglich ist, durch die Einsparung von Transformationsverlusten eine Steigerung der Effizienz von Biomassebrennöfen in Haushalten um das Zwei- bis Dreifache zu ermöglichen. Entsprechend hoch sind dabei die zu erwartenden Einsparungen an Brennholz und landwirtschaftlichen Rückständen. Derzeit gibt es mehr als 80 Modelle festeinbaubarer oder tragbarer verbesserter Herde (sog. Chulhas), die ursprünglich für Haushalte entwickelt wurden, aber auch in gemeinnützigen Einrichtungen und kleineren Betrieben zum Einsatz kommen (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 25).

Herde für Kleingewerbe und Industrie (sog. Bhattis) werden v.a. in der Gewürztrocknung eingesetzt, wobei die Behandlung von Kardamom dominiert. Bei der Ernte besitzen die rötlichen Schoten einen Feuchtgehalt von 70-80 %, der auf etwa 10 % gesenkt werden muss, um das Produkt haltbar zu machen und in den Handel zu bringen. Bhattis bestehen aus einer großen, in Steinwände eingeschlossene Verbrennungskammer, worüber die Schoten 25 bis 30 cm tief in ein Maschennetz gepackt werden. Bei Installation neuer Öfen werden gewöhnlich die Bäume in unmittelbarer Umgebung gefällt und dienen als Brennmaterial.

Traditionelle Trocknungsöfen haben einen sehr geringen Wirkungsgrad von 5 bis 10 % und benötigen für die Trocknung von 1 kg Kardamom zwischen 0,8 und 2,3 kg Brennholz. Nicht nur dieser hohe Brennholzverbrauch stellt einen Nachteil dieser Öfen dar, sondern auch die schlechte Kontrollierbarkeit des Feuerungsprozesses, wodurch die Schoten stellenweise verkohlen können und sich der Gehalt flüchtiger Öle reduziert. Ferner wirkt der starke Qualm frisch geschlagenen Holzes mindernd auf den Geschmackswert, was die Abnahme auf dem Markt und die Existenz der von diesem Gewerbe lebenden Bauern gefährdet.

Eine kontinuierliche Verbesserung der Technologie des Bhatti ist damit im Interesse der Kardamom-Bauern, welche damit qualitativ höherwertige Produkte vertreiben und ihre wirtschaftliche Situation stabilisieren können. Gegenwärtig werden deshalb Alternativen entwickelt, die auf dem Prinzip der Vorvergasung des Brennstoffes beruhen. Diese Technologie kann in bestehende Bhattis integriert werden und würde hohe Mengen an Brennholz einsparen, da der Vergasungsprozess eine effizientere Nutzung des Brennstoffes und eine kontrollierbare Wärmeentwicklung gestattet. Derartig modifizierte Anlagen wurden 1998 von 15 Kardamom anbauenden Kleinunternehmern erfolgreich getestet, und für den Bundesstaat Sikkim wurde errechnet, dass jährlich bis zu 12.000 t Brennholz eingespart werden könnten, wenn diese Technologie von allen Kardamombauern angewandt würde (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 29).

Technisches Verbesserungspotenzial

Veröffentlichungen des Ministeriums für Nicht-Konventionelle Energieressourcen zufolge wurden bis 1999 ca. 30 Mio. **verbesserte Kochherde** installiert (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 27). Mit 200 Mio. Haushalten im ganzen Land liegt das technische Potenzial aber bei etwa dem Sechs- bis Siebenfachen. Tabelle 11 zeigt für die einzelnen Bundesstaaten die Anzahl der eingeführten neuen Herde und stellt sie dem vorhandenen Potenzial gegenüber.

Der tatsächliche Gebrauch dieser Herde liegt jedoch in der Praxis wegen teilweise mangelnder Akzeptanz (besonders in den Anfangsjahren ihrer Verbreitung), begrenzter Lebensdauer sowie durch fehlende Wartung und Kontinuität der Herdverteilungsprogramme bei weitem niedriger. Optimistische Schätzungen gehen von einer Rate der Funktionstüchtigkeit aller bisher installierten Herde von 35 % aus (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 28). Dies würde bedeuten, dass nur etwa 5-7 % aller auf Brennholz und andere feste Biomasse angewiesenen Haushalte mit verbesserten Herden kochen.

Unter den verbesserten Herdmodellen besitzt der tragbare Chulha eine besondere Bedeutung. Wegen der reduzierten Abgasentwicklung und der aufgrund des erhöhten Wirkungsgrades bedeutenden Brennstoffeinsparung schneidet er unter allen Technologien am besten ab. Er ist zudem robuster gebaut und zeigt eine bessere Funktionsrate als andere Modelle (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 28).

Die Brennholzeinsparung verbesserter Herde beträgt im Schnitt 400 kg/Jahr, was unter Annahme eines Heizwertes von 17 MJ/kg einer Nutzenergie von 6,8 GJ/Jahr entspricht. Unter Voraussetzung einer 35 %-igen Funktionstüchtigkeit der 30 Mio. installierten Chulhas ergibt sich aktuell eine landesweite

Brennholzeinsparung von rund 4,2 Mio. t/Jahr bzw. 71,4 PJ/Jahr (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 28).

Tab. 11: Gesamtzahl der Installation verbesserter Herde im Vergleich zum technisch möglichen Potenzial für einzelne Bundesstaaten und für Indien insgesamt (bis 31.03.1999)

	geschätztes Potenzial verbesserter Herde (in 1.000 Stück)	*Installation verbesserter Herde (in 1.000 Stück)*	*Deckung des Potenzials (in %)*
Andhra Pradesh	97.080	3.291	3
Assam	3.600	531	15
Bihar	12.383	1.140	9
Himachal Pradesh	853	655	77
Jammu/Kaschmir	1.175	365	31
Karnataka	6.076	1.447	24
Madhya Pradesh	10.158	2.876	28
Maharashtra	965	2.221	23
Manipur/Meghalaya	518	81	16
Nagaland	201	19	9
Orissa/Punjab	7.993	2.725	34
Sikkim	73	63	86
Tamil Nadu	8.016	2.559	32
Tripura	465	47	10
Uttar Pradesh	18.745	3.522	19
West Bengalen	9.872	2.585	26
Chandigarh	66	19	29
Daman/Diu	10	1	10
Delhi	906	266	29
...	...	...	...
Indien gesamt	196.389	30.184	15

Quelle: nach Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 26

Wegen der wenigen verfügbaren Informationen über die Nutzung von Biomasse im **Industrie- und Gewerbesektor** gestalten sich Aussagen zum technischen Verbesserungspotenzial der Anlagen sehr schwierig. Bekannt ist aus der Branche der Ziegelbrennereien beispielsweise, dass landesweit ungefähr 115.000 kleine Herstellerbetriebe existieren, welche feste Biomasse als Energiequelle für die Trocknung einsetzen. Besonders hier und bei Anlagen im Landwirtschaftssektor sowie Bäckereien und städtischen Garküchen liegt das hohe technische Verbesserungspotenzial in der Modernisierung veralteter Technologien (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 29).

Perspektiven des Brennstoffverbrauchs

Die für die indische Volkswirtschaft gesicherten Reserven an Kohle sind mit einem Anteil von 7,9 % weltweit als relativ gut zu bezeichnen. An Erdöl und Erdgas dagegen hat Indien kaum nennenswerte Vorräte, wodurch es in der Situation ist, eine zunehmende Abhängigkeit von Importen dieser Energieträger gegen Investitionen in die Nutzung anderer, hauptsächlich regenerativer Energieträger abzuwägen. Zudem ist bei wachsender Bevölkerung und steigendem Lebensstandart zukünftig mit einer höheren Inlandsenergienachfrage zu rechnen, wodurch sich die fossilen Brennstoffressourcen weiter verknappen. Diese politische und ökonomische Herausforderung verdeutlicht das Beispiel vieler Haushalte im städtischen Bereich. Hier haben höherwertige Brennstoffe wie Kohle, Kerosin oder Flüssiggas aufgrund der besseren Einkommensstruktur die energetische Biomassenutzung bereits teilweise verdrängt. Auch viele Industriebetriebe auf dem Land stellen von Brennholz auf Kohle um.

Trotzdem rechnet man, bezogen auf die energetische Nutzung von Biomasse, mit einem steigenden Brennstoffbedarf. Dieser wird die oben beschriebene Diskrepanz zwischen Entnahme und Nachwuchs der Biomasse aus Wäldern weiter erhöhen, weshalb der forstlichen Nutzung degradierter Waldflächen und desertifizierter Landstriche zukünftig eine große Bedeutung zukommt. Man schätzt, dass mindestens 20 Mio. ha dieser Flächen bepflanzt werden müssten, um die akute Brennstoffknappheit in einigen Regionen einzudämmen (Ullrich/ Kaltschmitt 2001, S. 19).

Die Perspektiven der zukünftigen biogenen Festbrennstoffnutzung liegen also in Indien - und damit in diesem Fall exemplarisch für den asiatischen Kontinent - lediglich in der effizienteren Ausnutzung der biogenen Festbrennstoffe sowie in ihrer nachhaltigen Bereitstellung. Ungenutztes Potenzial in Form von Ressourcen ist dagegen kaum oder gar nicht vorhanden.

1.2.2 Simbabwe

In vielen afrikanischen Ländern fehlen energiewirtschaftliche Rahmenprogramme oder strategische Planungen, vorhandene werden oft nicht umgesetzt. Als Fallbeispiel wurde Simbabwe ausgewählt, da solche Rahmenprogramme hier bereits ansatzweise existieren und genügend verwertbares Datenmaterial zur Verfügung steht. Zudem kann davon ausgegangen werden, dass Simbabwe zumindest für einen Teil der afrikanischen Länder charakteristisch ist. Als kleines Binnenland im subtropischen Teil Afrikas gelegen, umfasst es ein Territorium von etwa 391.000 km^2. Im Jahr 1998 hatte es 11,6 Mio. Einwohner, deren Zahl sich im Durchschnitt um 2 % pro Jahr erhöht. Nach groben Schätzungen leben etwa drei Viertel der Bevölkerung in ländlich geprägten Gebieten. Wie in nahezu allen Entwicklungsländern ist in Simbabwe ein zunehmender Trend zur Urbanisierung erkennbar (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 32).

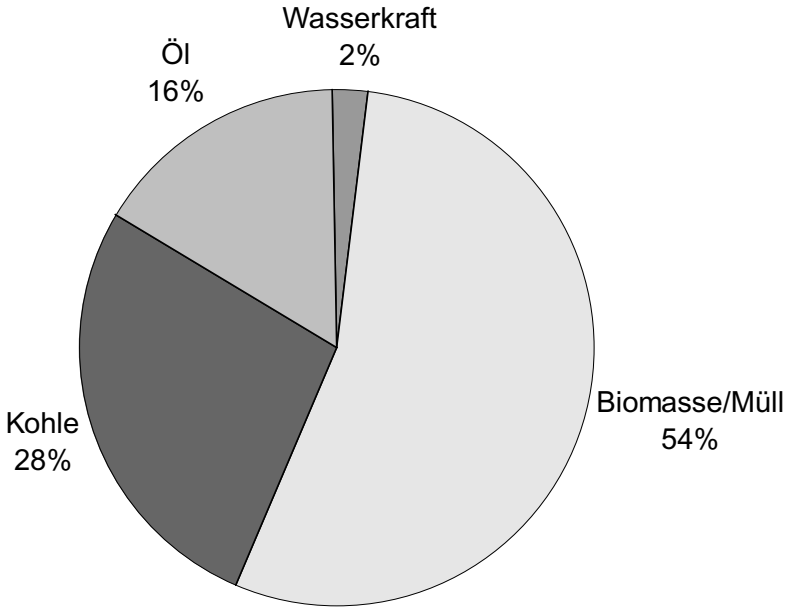
Brennstoffeinsatz

Da als Energiequelle für große Teile der Bevölkerung nur Brennholz in Frage kommt, leiden die am dichtesten besiedelten Gegenden im Osten des Landes bereits unter einer drastischen Verknappung der Waldressourcen. Bezogen auf die gesamte Landesfläche, von der mehr als die Hälfte mit ursprünglichen Wäldern bewachsen ist, wird der Waldzustand jedoch als relativ gut bewertet. So ist der Holzverbrauch in den dünnbesiedelten Teilen entsprechend gering und das lokale Defizit östlicher Regionen wird damit ausgeglichen (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 32 f.).

Aus Abbildung 3 geht hervor, dass Biomasse (hier sind Brennholz und Ernterückstände gemeint) und Müll mit über 50 % den Hauptanteil am Primärenergieverbrauch in Simbabwe ausmachen.

Der gesamte Primärenergieverbrauch belief sich 1997 auf 420 PJ/Jahr. Pro Kopf ergibt dies einen Verbrauch von 36,4 GJ/Jahr, was im Vergleich zu anderen afrikanischen Staaten recht hoch ist. Auf die Biomassefraktion bezogen wurden im selben Jahr 66 % Holz aus dem Zuwachs der Forstflächen, 32 % Ernterückstände und der verbleibende Teil in Form von Dung energetisch genutzt.

Abb. 3: Prozentualer Anteil verschiedener Energieträger am Primärenergieverbrauch in Simbabwe 1997



Quelle: Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 33

Bei Betrachtung der **regionalen Biomassenutzung** fällt auf, dass sich diese in ländlichen Haushalten deutlich anders gestaltet als in **städtischen Haushalten**. Letztere nutzen - soweit verfügbar und erschwinglich - Elektrizität zur Deckung des Energiebedarfs. Obwohl Biofestbrennstoffe in den Städten kommerziell gehandelt werden, sind die nachgefragten, hochwertigen Brennhölzer oftmals aus logistischen Gründen nicht ausreichend verfügbar. Die Angaben über den Pro-Kopf-Biomasseverbrauch in den Städten sind z.T. widersprüchlich und werden trotz der Nutzung von Elektrizität relativ hoch eingeschätzt. Nach einer Untersuchung der Kochgewohnheiten im städtischen Raum Dombotombo (Tab. 12) in der Region Ost-Mashonaland nutzen 77 % der Bevölkerung Brennholz, 2 % Ernterückstände und 21 % Kerosin (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 39).

Tab. 12: Pro-Kopf-Verbrauch an Biofestbrennstoffen in ausgewählten Dörfern bzw. städtischen Ansiedlungen in den Regionen Mashonaland und Manicaland in Simbabwe (in GJ/Kopf und Jahr)

ausgewählte ländliche Gebiete	*Einwohner/ Dorf*	*Brennholz*	*Ernte-rückstände*	*Dung*	*gesamt*
Chihota	309	11,17	6,92	2,51	20,60
Murewe	409	13,71	6,83	0,41	20,95
Honde	543	27,57	8,07	0	35,64
Svosve	791	21,28	6,07	0	27,35
Dombotombo	916	10,18	0,19	0	10,37

Quelle: Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 40

Die **ländlichen Haushalte** sind nahezu vollständig auf Brennholz und andere Biomasse als Energieträger angewiesen. Hier ist der Verbrauch aber eher von der Verfügbarkeit in der unmittelbaren Umgebung als von der Einkommensstruktur abhängig. In Gebieten mit zunehmender Verknappung an Brennholzressourcen (z.B. die Provinzen Mashona- und Matebeland) wird bereits vermehrt auf Ernterückstände wie Maisspindeln und Spelzen zurückgegriffen. Kuhdung dagegen wird als Brennstoff wegen seiner schlechten Brenneigenschaften und der als äußerst unangenehm empfundenen Abgasentwicklung grundsätzlich abgelehnt und kommt nur bei extremen Engpässen zum Einsatz (Ullrich/ Kaltschmitt 2001, S. 40).

Die Bedeutung von Brennholz spiegelt sich auch in der **sektoralen Biomassenutzung** wieder. So wird Holz in 92 % der ländlichen und städtischen Haushalte genutzt. Nur 6,5 % der insgesamt genutzten Biomasse in Simbabwe entfallen auf Anwendungen, die dem Landwirtschaftssektor zuzuordnen sind. Größtenteils wird die Biomasse hier für die Trocknung der Erzeugnisse wie z.B. Tabakblätter eingesetzt. Ziegelbrennereien und Brauereien verwenden zudem vermehrt Holzhackschnitzel und andere Biomasse zur Stromerzeugung (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 41). Wegen der hohen Preise für Brennholz in den Städten stellt sich für arme Gewerbetreibende zunehmend das Problem der Finanzierbarkeit.

Bestandsaufnahme der Konversionstechniken

Die verfügbaren Daten können die vorhandenen Anlagen zur Energieumwandlung nur in geringem Umfang beschreiben. Die hier aufgeführten Informationen basieren daher auf vereinzelten Erhebungen über ausgewählte Regionen und Anlagen, wobei unterstellt wird, dass diese landestypischen Charakter besitzen.

Eine Form des **traditionellen Haushaltsherdes** ist der sog. Drei-Steine-Herd. Dieser spielt neben dem Kochen, dem Trocknen von Feldfrüchten und ggf. dem Heizen auch eine wichtige soziale und kulturelle Rolle. Vor allem letzteres ist ein Kriterium, an dem die Einführung verbesserter Herde unter Umständen scheitern kann. Der "Drei-Steine-Herd" besteht aus nicht mehr als einer mit drei oder vier Steinen umrandeten Vertiefung im Boden. Darum liegen die Wirkungsgrade im Allgemeinen nicht viel höher als bei 10 %. Zieht man die An- und Abfahrverluste bei der Verbrennung mit in Betracht, muss dieser Wert deutlich nach unten korrigiert werden. Die Vorteile dieses Herdes liegen zweifelsohne in seiner einfachen Bauart und vielfältigen Einsatzmöglichkeit.

Der Metallrostherd ist im Gegensatz zum Drei-Steine-Herd tragbar und wird meist in städtischen Haushalten verwendet. Da der Herd aber keine Ummantelung besitzt, liegt der Wirkungsgrad im selben Bereich wie bei den Drei-Steine-Herden. Ein weiterer Nachteil beider Herdformen liegt in der starken Abgasentwicklung, wodurch die Nutzer(innen) - vorwiegend Mütter und Kinder - hohen gesundheitlichen Risiken ausgesetzt sind.

Verbesserte Haushaltsherde erfahren in Simbabwe bisher nicht solch eine Verbreitung wie in anderen afrikanischen Ländern (z.B. Kenia). Eine Auswahl dieser Herdtypen mit entsprechenden Wirkungsgraden findet sich in Tabelle 13.

Tab. 13: Exemplarisch ausgewählte traditionelle und verbesserte Herdtypen im Hausgebrauch in Simbabwe

Herdtyp	*Wirkungsgrad (%)*
Drei-Steine-Holzbrennofen	17,3
niedriger offener Rostofen	21,7
hoher offener Rostofen	9,1
Metallofen (Jairos Jiri)	19,2
Ziegelsteinofen für Holz (Seke)	6,2
Ziegelsteinofen für Holz (Hlekweni)	11,2
Metallofen für Holzkohle (Jiko)	17,1

Quelle: Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 44

Einige dieser Herdtypen sollen in entsprechenden Projekten zukünftig landesweit eingeführt werden (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 44).

Im **Kleingewerbe** werden eine Reihe verschiedener Biomasseherde und -öfen eingesetzt. Da eine industrielle Nutzung von Biomasse in Simbabwe erst am Anfang steht, befindet sich die eingesetzte Technik in der Regel noch im Entwicklungsstadium.

Es existieren etwa 1.200 tragbare Abfallverbrennungsöfen, die vor allem für landwirtschaftliche Betriebe mit hohem Anfall von Nebenprodukten aus Baumwolle- oder Zuckerrohrproduktion konstruiert wurden. Die Baumwoll- und Zuckerfirmen kaufen diese, durch importierte Bauteile recht teuren Öfen und verteilen sie an ihre verarbeitenden Betriebe weiter (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 47).

Ziegelbrennereiöfen nehmen aufgrund der steigenden Aktivität in diesem Sektor an Bedeutung zu. Insgesamt gibt es landesweit schätzungsweise 13.000 kleine Anlagen im ländlichen Bereich, die als äußerst ineffizient bezeichnet werden. Jedoch liegt der Brennholzbedarf dieser Betriebe in Simbabwe nur bei durchschnittlich 30 t Brennholz pro Jahr und Betrieb, was summiert über alle Betriebe weniger als 0,5 % des landesweiten Brennholzverbrauchs ausmacht.

Technisches Verbesserungspotenzial

Das technische Verbesserungspotenzial liegt in Simbabwe in erster Linie im Bereich des **Haushaltssektors**. Betrachtet man die schätzungsweise 1,8 Mio. Haushalte, welche auf die Nutzung von biogenen Festbrennstoffen angewiesen sind, ergibt sich bei einer durchschnittlichen Haushaltsgröße von sechs Personen eine Durchdringung mit verbesserten Herden von knapp 1 %. Diese Herde besitzen eine beschränkte Lebensdauer, die von Modell zu Modell sehr unterschiedlich ist, weshalb die Nutzer(innen) mit regelmäßigen Neuanschaffungen und Reparaturen konfrontiert werden.

Damit besteht weiterhin ein großes Potenzial, die technische Entwicklung und den Vertrieb solcher Herde voranzubringen. Dabei muss das Hauptziel eine weitere Reduzierung der Wärmeverluste sein. Prinzipien, wie z.B. das Versenken der Töpfe in den Herd und der Gebrauch von Isolierummantelungen, sind gegenwärtig eher ungebräuchlich, sollten aber in Zukunft verstärkt zur Anwendung kommen.

Weiterer Entwicklungsbedarf besteht für Herde, die speziell für die traditionellen, häuslichen Tätigkeiten wie Bierbrauen und Trocknung landwirtschaftlicher Produkte geeignet sind. Es wäre in diesem Zusammenhang sinnvoll,

größere Herde für den gemeinschaftlichen Gebrauch in den Dörfern zu entwickeln. Diese würden den Brennstoff rationeller ausnutzen und gleichzeitig ein Zentrum im sozialen Leben der Menschen bilden (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 46).

Ein Ansatzpunkt für technische Verbesserungen im **Kleingewerbe und Industriebereich** liegt in der Zusammenfassung mehrerer kleiner Produktionseinheiten zu größeren Anlagen. Dieser und andere Vorschläge wie der Gebrauch von Windschutzschilden und bauliche Veränderungen an den herkömmlichen Anlagen zielen ebenfalls auf eine Effizienzsteigerung der Brennstoffnutzung ab.

Trotz der regionalen Übernutzung der Wälder gibt es ein in mehrfacher Hinsicht ungenutztes Potenzial an Brennstoffen in Simbabwe. Durch die Holzverarbeitung in Sägemühlen beispielsweise fallen jährlich ca. 900.000 m^3 Holzhackschnitzel von Weich- und Hartholz (Kiefer und Eukalyptus) aus Plantagen an, die bisher nicht in vollem Umfang energetisch genutzt werden. Das Konzept der Nutzung von forstwirtschaftlich kultiviertem Holz ist relativ neu, weshalb Aufforstungsplantagen zur energetischen Brennholznutzung derzeit nicht mehr als 0,02 % der Landesfläche einnehmen. Eigentums- und Verfügungsrechte über die großen Forste des Landes sind nicht in genügendem Maße geklärt, worin ein Grund für das Scheitern der durch die Regierung initiierten Aufforstungsprogramme gesehen wird. Es wird geschätzt, dass etwa 80-90 % des in den vorwiegend staatlichen Holz- und Flechtwerkplantagen angebauten Holzes durch Fehlnutzung oder Veralterung verschwendet wird.

Perspektiven des Brennstoffeinsatzes

Für Simbabwe wird erwartet, dass sich der Energiemix aus Kohle, Holz und Elektrizität in Zukunft wenig ändern wird. Das Wachstum der Bevölkerung würde danach eine steigende Nachfrage bei allen Energieträgern bewirken. Demgegenüber steht die Selbstverpflichtung der Regierung, bis zum Jahr 2020 allen Menschen den Zugang zu "modernen Brennstoffen" zu ermöglichen. Gegenwärtig steht der Bevölkerung weniger als 20 % des gesamten Stroms zur Verfügung, davon entfallen nur 5 % auf die ländlichen Haushalte. Historisch bedingt existiert auf dem Land ein regional sehr differenziertes Muster der Energienutzung. Die Implementierung von energieeffizienten und umweltfreundlichen Programmen ist nur eine der Maßnahmen, die von der Abteilung für Energieressourcen und der nationalen Wirtschaftsplanungskommission als nationale Energierichtlinie verabschiedet wurde (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 37).

Die in der Landwirtschaft anfallenden Rückstände stellen ein bisher ungenutztes Biomassepotenzial dar, das den Energiebedarf kleinerer Betriebe zukünftig decken könnte. Erste Ansätze zur Gewinnung von Ethanol aus Zuckerrohr bestehen bereits. Aufgrund der Abhängigkeit der Zuckerrohrproduktion von klimatischen Einflüssen könnte dies jedoch zu Engpässen führen.

Insgesamt gesehen liegen die Perspektiven der biogenen Festbrennstoffnutzung in Simbabwe sowohl in der Optimierung der Konversionstechniken als auch in der Organisation der Bereitstellung von biogenen Brennstoffen mit dem Ziel, die vorhandenen Ressourcen nachhaltig zu nutzen.

1.2.3 Brasilien

Weil in Brasilien eine vergleichsweise gute Dokumentation im Energiebereich existiert, dient es hier als Fallbeispiel für die Region Lateinamerika und Karibik. Dabei muss beachtet werden, dass Brasilien eher den Charakter eines Schwellenlandes besitzt, was den direkten Vergleich mit den anderen, meist ärmeren Ländern der Region nicht immer erlaubt. Dennoch kann das Land durch seine Größe und die Vielschichtigkeit der wirtschaftlichen, sozialen und energiepolitischen Probleme exemplarisch für die Situation weiter Teile in Lateinamerika stehen (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 51). Zudem nimmt Brasilien innerhalb des Kontinents eine Vorreiterrolle ein, was die Technologie für regenerative Energien anbetrifft.

Auf einer Fläche von rund 8,5 Mio. km^2 leben in Brasilien knapp 172 Mio. Menschen, davon 80 % in Städten und 20 % in ländlichen Gebieten. Das Bevölkerungswachstum ist mit ca. 1,4 % im Vergleich zu den anderen hier betrachteten Ländern eher gering (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 52).

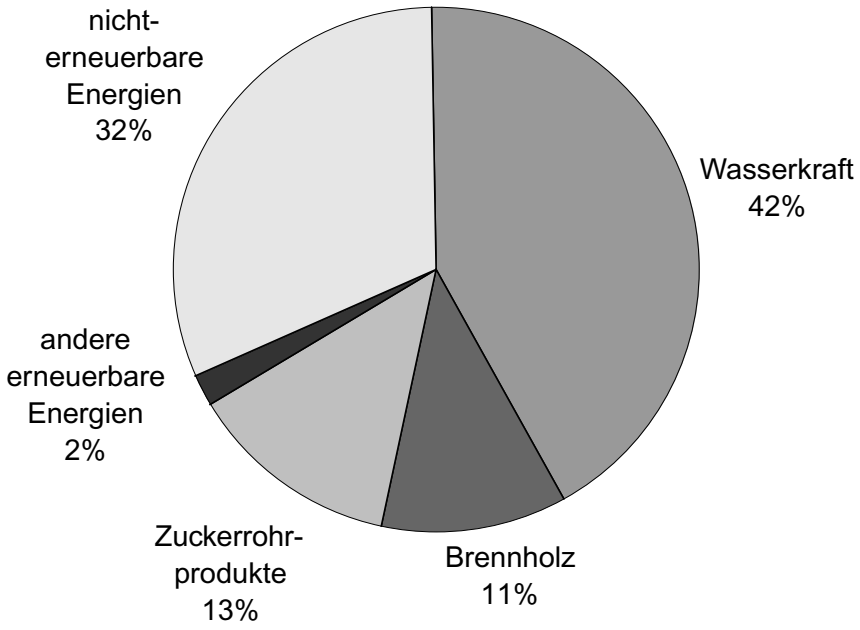
Brennstoffeinsatz

Biomasse trägt in Brasilien nach Angaben des Ministeriums für Bergbau und Energie durchschnittlich 23,5 % zum gesamten Energieträgermix bei. Abbildung 4 verschafft einen Überblick über die Anteile erneuerbarer und nicht-erneuerbarer Energien an der Gesamtenergieproduktion des Landes. Die Abbildung lässt den Anteil fossiler Energien kleiner erscheinen, da die produktionsorientierte Darstellung den hohen Importanteil nicht berücksichtigt. Die beiden bedeutendsten Biomassefraktionen sind demnach Brennholz und Bagasse.

Die **regionale Biomassenutzung** ist vor allem durch die stark variierende Bevölkerungsdichte und wirtschaftliche Entwicklung innerhalb des Landes bestimmt. So nutzt der bevölkerungsreiche Südosten den Hauptteil der Gesamtenergie und auch einen höheren Anteil an fossilen Energieträgern, wogegen in den nördlichen Regionen mit fehlender Infrastruktur und hohem indigenen Bevölkerungsanteil Biomasse als traditioneller Brennstoff dominiert.

Die **sektorale Biomassenutzung** ist insbesondere vom Industriesektor beeinflusst, der nahezu für die Hälfte des Verbrauchs verantwortlich ist. Hauptverbraucher sind Nahrungsmittel-, Energie-, Wohn- und Transportsektor. Letzterer ist durch den hohen Anteil an ethanolbetriebenen Kraftfahrzeugen ein wichtiger Faktor geworden. Der Haushaltssektor hingegen spielt bei der Nutzung von Biomasse eine eher untergeordnete Rolle (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 61).

Abb. 4: Anteil regenerativer Energien im Vergleich zu nicht erneuerbarer Energie an der Primärenergieproduktion Brasiliens für 1998



Quelle: Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 57

Bestandsaufnahme der Konversionstechniken

In den wirtschaftlich wenig entwickelten Regionen Lateinamerikas und der Karibik, d.h. vor allem auf dem Land, wird ein Großteil der in den **Haushalten** eingesetzten Biomasse in Drei-Steine-Herden verbrannt. Im Vergleich zu den Regionen Asien und Afrika wird hier jedoch ein höherer durchschnittlicher Wirkungsgrad von 15 % bei Holz und Holzkohle sowie von 10 % bei Ernterückständen angenommen (Kaltschmitt et al. 1999, S. 39).

Eine Untersuchung im brasilianischen Bundesstaat Ceará im Nordosten des Landes ergab, dass 49,3 % der ca. 1,3 Mio. Haushalte Gasherde, 3 % Holzkohleherde und 13,7 % einfache Brennholzherde benutzen. In vielen Haushalten befinden sich aber auch mehrere Herdformen im Gebrauch. Eine ähnliche Verteilung wird auch für die übrigen ländlichen Bundesstaaten vermutet. In Tabelle 14 sind verschiedene Wirkungsgrade von Konversionsanlagen in Haushalten aufgeführt.

Tab. 14: Wirkungsgrade exemplarisch ausgewählter traditioneller und verbesserter Herdtypen in Brasilien im Hausgebrauch

Herdtyp	*Wirkungsgrad (in %)*
Drei-Steine-Herd (1 Topf)	11
Winiarski Rocket Stove, teilweise ummantelt	23
Lorena Herd (1 Topf)	5
Lorena Herd (5 Töpfe)	10
Estufa Justa Herd (1 Topf)	5
Estufa Justa Herd (5 Töpfe)	20
vertiefter Estufa Justa Herd mit 3 Töpfen	35

Quelle: Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 64

Die Wirkungsgrade im **Industriesektor** liegen bedeutend höher als im Haushaltsbereich. Das gilt weniger für die als äußerst umweltschädlich einzustufenden Öfen zur Tabaktrocknung, dafür aber um so mehr für die Ziegelstein-Holzkohlemeiler und die Kraft-Wärmekopplungsanlagen der Papier- und Zellstoffindustrie. In diesem Industriezweig sollen in Zukunft vermehrt sog. Gas-Turbinen-Systeme, die sich zur Vergasung von verschiedenen Biomassefraktionen und Prozessrückständen eignen, zur Anwendung kommen. Zurzeit wird diese

Technologie in 12 der landesweit größten Destillen zur Ethanolherstellung verwendet (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 68).

Technisches Verbesserungspotenzial

Im **Haushaltsbereich** kann insbesondere durch höhere Wirkungsgrade, d.h. verbesserte Technologie, sowohl biogener als auch fossiler Brennstoff eingespart werden. Selbst bei den verbesserten Herdmodellen sind weit höhere Wirkungsgrade möglich. Beispielsweise könnte durch eine Anpassung der Herdplatten an die Größe der Töpfe der Wirkungsgrad verdoppelt werden (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 65).

Flächendeckenden Herdverteilungsprogrammen wird eher in den ärmeren Regionen Südamerikas (z.B. Bolivien und Peru) bzw. Mittelamerikas Erfolgspotenzial eingeräumt, da die dortige Bevölkerung in wesentlich höherem Maße von biogenen Festbrennstoffen abhängig ist als in Brasilien und zudem unter lokaler Holzknappheit leidet. Als möglicher Ansatzpunkt für die Verbesserung der vorhandenen Anlagen im brasilianischen Haushaltssektor werden jedoch v.a. ländliche und Stadtrandgebiete genannt (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 65).

Ähnlich gestaltet sich die Situation im **Industriebereich**, wo sich die Wirkungsgrade zwar verbesserten, im Vergleich zu den technologischen Möglichkeiten jedoch nach wie vor gerade in landwirtschaftlichen Trocknungsanlagen und Holzkohlemeilern als extrem ineffizient zu bezeichnen sind. Würde man die Vielzahl kleiner Anlagen in diesen Bereichen zu größeren Einheiten zusammenfassen, ließen sich die eingesetzten Brennstoffe sehr viel effizienter nutzen. Dies birgt jedoch Schwierigkeiten in der Umsetzung in sich, da Tabak die Einkommensquelle vieler kleinerer, weitverstreuter Haushalte ist. Zudem entstehen durch die großindustrielle Holzkohleherstellung lokal erhebliche Umweltprobleme durch die Rauchgasentwicklung (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 67).

Dennoch ist im Rahmen einer erweiterten Holzkohleproduktion eine Ausdehnung der Kiefer- und Eukalyptusplantagen auf 8.000 ha geplant, um dem Rückgang der Wälder entgegenzuwirken. Hierin wird ein weiteres Potenzial zur Substitution von Kohle durch Holzkohle gesehen (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 68).

Ferner schätzt man nicht nur das Potenzial an ungenutzten Ernterückständen in der Zuckerrohrherstellung als hoch ein, sondern auch bezüglich der Effizienz, mit der Anlagen zur Umwandlung von Bagasse in elektrische bzw. mechanische Energie arbeiten, gibt es derzeit noch ein großes Verbesserungspotenzial. Bagasse wird als ein möglicher Brennstoff für die gekoppelte Strom- und

Wärmeerzeugung über die Biomassevergasung betrachtet und könnte - sollte die Technik der Biomassevergasung in Zukunft großtechnisch verfügbar sein - damit ein beträchtliches Potenzial für Stromexporte aufweisen (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 68).

Perspektiven des Brennstoffeinsatzes

In allen lateinamerikanischen Staaten, und damit auch in Brasilien, steigt der Nutzenergieverbrauch jährlich zwischen 3 und 4 % an. Die Neuregelungen bzw. gesetzlichen Forderungen im Energie- und Umweltbereich des Landes legen nahe, dass sich der Verbrauch regenerativer Energien in Zukunft weiter erhöht. Dies gilt weniger für den Haushaltssektor, da vier Fünftel der erfassten Haushalte schon mit fossiler Energie versorgt werden, sondern v.a. für den Industriebereich (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 56).

Der rückläufige Trend im Holzverbrauch verspricht durch einen Aufwärtstrend in der Zuckerrohrproduktion bzw. der weiterführenden Nutzung von Ethanol ausgeglichen zu werden. Zusätzlich sollen neue, von der brasilianischen Regierung verabschiedete Umweltrichtlinien die Nutzung regenerativer Energien sowie die Einsparung von Strom fördern. Außerdem ist der allmähliche Rückgang der Subventionen für fossile Brennstoffe ein zentrales Ziel der Energiepolitik, von dem man sich eine geringere Importabhängigkeit und eine rationellere Energienutzung verspricht.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass in Brasilien vor allem die Nutzung biogener Festbrennstoffe aus der Landwirtschaft zukunftsträchtig erscheint. Da trotz der wirtschaftlichen Entwicklung des Landes ein großer Teil der Bevölkerung aufgrund ihrer Armut auf Biomasse angewiesen ist, bleibt aber auch die Verbesserung der Wirkungsgrade von Haushaltsherden zur Biomasseverbrennung bedeutungsvoll. Die nachhaltige Bereitstellung von Biomasse bleibt ein bisher ungelöstes Problem.

2. Ölpflanzen als Energieträger

Neben ihrer Bedeutung als Nahrungsmittel und in der oleochemischen Industrie hat v.a. die energetische Nutzung von Pflanzenölen an Bedeutung gewonnnen und ansatzweise zur Substitution von fossilen Energieträgern geführt. Es sollen daher in diesem Kapitel die gängigen Techniken der Produktion und Nutzung

von Pflanzenölen vorgestellt und für Entwicklungsländer das Nutzungspotenzial auf der Basis des gegenwärtigen Standes abgeschätzt werden. Dabei liegt der Schwerpunkt hier in der technisch-ökonomischen Betrachtung, während auf die Umweltwirkungen einer erweiterten Produktion von Pflanzenölen (z.B. CO_2-Reduktion, Ausdehnung landwirtschaftlicher Nutzflächen) im Kapitel V eingegangen wird.

2.1 Verfahren der Pflanzenölproduktion

Pflanzenöl stammt, anders als die anderen hier vorgestellten Energieträger, ausschließlich aus der landwirtschaftlichen Produktion und wird in den meisten Fällen auch in der Nähe des Produktionsortes extrahiert. Die hierzu verwendeten Verfahren werden im Folgenden am Beispiel der Ölpalme erläutert, da mit ihr am ehesten konkurrenzfähig Pflanzenöle in Entwicklungsländern produziert werden können. Außerdem wird kurz auf die Purgiernuss als Ölpflanze für aride Regionen eingegangen.

Die Ölpalme

Ölpalmen sind mehrjährige, der Kokospalme verwandte Nutzpflanzen und stammen aus der tropischen Region um den Golf von Guinea. Von der Pflanzung bis zur ersten Ernte vergehen bis zu fünf Jahre, und der Maximalertrag wird erst nach neun bis zehn Jahren erreicht. Ölpalmen werden v.a. in West- und Äquatorialafrika, Südostasien sowie Mittel- und Südamerika angebaut.

Der größte Teil der Ölpalmenproduktion basiert heute auf großflächigen Monokulturen, die auf 500-15.000 ha im industriellen Stil angelegt werden. Dies liegt u.a. in den Kapazitäten moderner Ölmühlen begründet, die für kontinuierliches Arbeiten das Erntegut einer solchen Fläche benötigen. Hinzu kommt, dass das Erntegut schnell verdirbt und innerhalb von 24 Stunden verarbeitet werden muss. Die Ernte erfolgt manuell und ist eine körperlich anstrengende Tätigkeit, die bis dato nicht wirtschaftlich mechanisierbar ist. Die kleinbäuerliche Ölpalmenproduktion geht in vielen Gebieten trotz Förderungsmaßnahmen zurück.

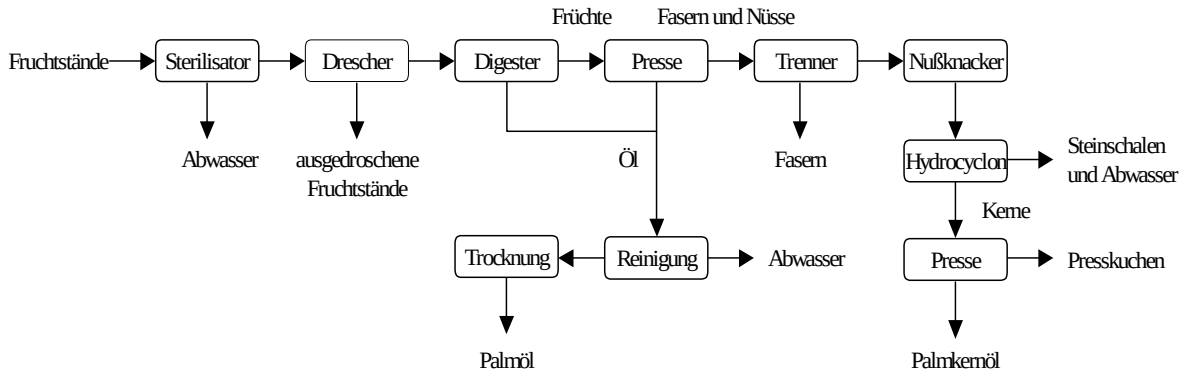
Palmöl- und Palmkernölextraktion

Im **traditionellen, manuellen Extraktionsverfahren** gewinnen Kleinbauern vor allem in Afrika Palmöl für den Eigengebrauch und den lokalen Markt. Hierbei werden die Fruchtstände der Ölpalme einem mehrtägigen Fermentationsprozess unterzogen, wonach sich die Früchte besser aus den Fruchtständen lösen lassen. Die Früchte werden dann gekocht, gestampft und mit Wasser vermischt und das Öl hinterher ausgewaschen. Danach schwimmt die ölige Phase auf der Wasseroberfläche und kann abgeschöpft und gekocht werden. Mit diesem vergleichsweise ineffizienten Verfahren lassen sich Extraktionsraten von maximal 13 % (23,8 % sind technisch möglich) erzielen, und obwohl bereits Möglichkeiten zur Optimierung existieren, ist dieses traditionelle Verfahren zurzeit noch weit verbreitet (Sauerborn et al. 2000, S. 27).

Ähnliches gilt für die Extraktion von Palmkernöl im kleinbäuerlichen Rahmen, wobei die Ölextraktionsraten hier bei gut 40 % liegen können. Die Palmkerne werden nach dem Rösten in einem Mörser zerstampft und danach für einige Stunden gekocht, während das Öl kontinuierlich abgeschöpft wird.

Die **moderne, maschinelle Palmölextraktion** findet in Fabriken mit einem Durchsatzvolumen von bis zu 120 t pro Stunde statt und liefert qualitativ hochwertigeres Öl bei einer fast doppelt so hohen Extraktionsrate wie in traditionellen Verfahren (Abb. 5). Das Palmkernöl wird meistens in zentral gelegenen Anlagen extrahiert, die zur kostengünstigen Verarbeitung ein hohes Durchsatzvolumen benötigen.

Abb. 5: Flussdiagramm der Gewinnung von Palm- und Palmkernöl



Quelle: Sauerborn et al. 2000, S. 29

Die **Primärprodukte der Ölmühlen** sind Palmöl bzw. Palmkerne, deren Öl getrennt extrahiert wird. Als Sekundärprodukte fallen leere Fruchtstände, Steinschalen, Fasern und Abwasser an, die einerseits ein ökologisches Entsorgungsproblem darstellen, andererseits aber die Möglichkeit bieten, als wertvolle Ressourcen genutzt zu werden.

Sekundärprodukte als Energieträger

Die Verbrennung von **Fruchtfasern und Steinschalen** versorgt den Verarbeitungsprozess über in Druckkesseln erzeugten Wasserdampf mit der nötigen Energie. Der Wasserdampf kann mit Hilfe von Turbinen verstromt, aber auch als direkte Wärmequelle eingesetzt werden. In der Regel fällt bei den großen Ölmühlen ein Energieüberschuss an, der zusätzlich weitere Einrichtungen der Plantagen mit Strom versorgt. Die Fruchtfasern und Steinschalen eignen sich besonders gut zur Energiebereitstellung, da sie keine zusätzlichen Transportwege erfordern, gute Schütteigenschaften aufweisen und einen geringen Wasser- und hohen Energiegehalt haben. Je Hektar lassen sich bei einem Ertrag von 20 t Fruchtständen über Fasern und Steinschalen rund 50.400 MJ pro Jahr bereitstellen. Abzüglich des Strombedarfs für die Mühle bedeutet das einen Überschuss von 654 kWh/ha bei der Verstromung durch Turbinen (Sauerborn et al. 2000, S. 30 f.).

Während der Verarbeitung des Ernteguts in der Ölmühle entstehen erhebliche Mengen **Abwasser**, die einerseits stark belastend auf Gewässer und Atmosphäre wirken und andererseits als Substrat für die Gewinnung von Biogas genutzt werden können (Kap. III.3). Der Ölmühlenklärschlamm lässt sich sowohl als organischer Dünger als auch in der Tierfütterung einsetzen. Pro Jahr könnten bei einer Effektivität von 1,8 kWh je m^3 Biogas 126 kWh je Tonne Palmöl bzw. 504 kWh je Hektar Ölpalme erzeugt werden (Sauerborn et al. 2000, S. 33).

Die in den Ölmühlen **ausgedroschenen Fruchtstände** wurden bisher in speziellen Anlagen verbrannt und die Asche auf die Felder verteilt. Gegen diese Art der Entsorgung treten in Malaysia und Indonesien vermehrt gesetzliche Umweltbestimmungen in Kraft, weshalb ausgedroschene Fruchtstände zunehmend als Mulchmaterial in Landwirtschaft und Gartenbau eingesetzt werden. Alternativ könnten sie aber auch als Energiequelle dienen und bei einem Ertrag von 20 t pro ha unter Verwendung von Dampfturbinen zusätzlich bis zu 644 kWh/ha bereitstellen (Sauerborn et al. 2000, S. 35).

Die Purgiernuss

Die Purgiernuss (Jatropha curcas) gehört zur Familie der Euphorbiaceen und ist trockenheitsresistent, d.h. sie gedeiht auch noch in Gebieten von 200 bis 300 mm Jahresniederschlägen. Sie bildet pflaumengroße Früchte mit 2 bis 3 ölhaltigen Samen. Samen, Öl und Presskuchen sind für die menschliche und tierische Ernährung ungeeignet.

Das Öl kann aufgrund der insektiziden Wirkung der in ihm enthaltenen Porbolester als natürliches Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden. Die Purgiernuss gilt außerdem als Medizinalpflanze und ihre ölhaltigen Samen werden traditionell zur lokalen Seifen- und Kosmetikherstellung verwendet. In Afrika wird die Purgiernuss hauptsächlich in Form von Hecken zur Einzäunung von Feldern und Gärten angepflanzt und dient so u.a. dem Schutz vor Wassererosion.

Die Nuss-, Samen- und Ölerträge variieren stark, je nach Herkunft und Produktionsbedingungen (Klima, Boden, Pflanzabstand, Wasserversorgung, Düngung). Auf Kap Verde wurden Hektarerträge zwischen 780 und 2.250 kg Samen geerntet (Münch/Kiefer 1986). In Indien konnten mit Bewässerung ab dem 6. Jahr Erträge von bis zu 12 t ungeschälte Samen pro Hektar und Jahr erreicht werden (Patil/Singh 1991). In Nicaragua wurden Durchschnittserträge zwischen 1,1 und 6 t Samen pro Hektar und Jahr erzielt (Thirolf 1996). Vor allem in Regionen mit ausreichend hohen Jahresniederschlägen (900 bis 1.200 mm) könnte ein Anbau ohne Berücksichtigung externer Effekte (z.B. Erosionsschutz) wirtschaftlich interessant werden (Helberg 1994).

Der Ölgehalt der Samen schwankt zwischen 28 und 37 %. Im Durchschnitt liegt er bei 33 %, bezogen auf die ungeschälten Samen (Kobilke 1989). Die Ölausbeute bei der Purgiernuss liegt zwischen 18 und 28 % (Henning 1992; Helberg 1994). Das bedeutet, dass 4 bis 5 kg Samen zur Erzeugung von einem Liter Öl benötigt werden. Nur etwa 77 % des erzeugten Pflanzenöls sind als Kraftstoff nutzbar, der Rest (23 %) kann für die Seifenproduktion verwendet werden. Der Presskuchen kann als organischer Dünger genutzt werden.

Die energetische Nutzung des Purgiernussöls wurde im Rahmen von Entwicklungshilfeprojekten untersucht, u.a. um den Erosionsschutz durch die Anpflanzung von Purgiernusshecken für die Landwirte attraktiver zu machen. In dem in Westafrika in der Sahelzone gelegenen Mali konnte dadurch die Energieversorgung und der Anbau von Lebensmitteln verbessert werden. Die Erzeugung von Purgieröl zur energetischen Nutzung (ohne Nahrungsmittelkonkurrenz) könnte auch für bestimmte Entwicklungsländer in Mittel- und Südamerika interessant werden.

2.2 Verfahren der energetischen Nutzung von Pflanzenölen

Pflanzenöle ähneln in ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften in einem gewissen Umfang dem Diesel- bzw. Heizöl und finden ihren potenziellen Einsatz als regenerative Energieträger deswegen im gleichen Bereich wie Mineralöl. Neben dem Einsatz als Treibstoff in Verbrennungsmotoren lässt sich Pflanzenöl daher auch zu Beleuchtungszwecken oder zum Kochen verwenden. Die verschiedenen Formen der Nutzung von Pflanzenöl sowie die entsprechenden Verfahren zur Herstellung bzw. Vorbehandlung werden im Folgenden kurz vorgestellt.

Pflanzenöl als Kraftstoff

Die einfachste Form der Herstellung von Pflanzenölkraftstoffen ist bei der **direkten Verwendung als Kraftstoff** in Motoren gegeben. Im Vergleich zu Alkohol oder Wasserstoff haben Pflanzenöle einen höheren Energiegehalt pro Volumeneinheit, weshalb die gleiche Arbeit mit einer geringeren Menge Treibstoff verrichtet werden kann. Sowohl chemisch als auch physikalisch sind der direkten Verwendung jedoch Grenzen gesetzt, da Pflanzenöle bezüglich der kraftstoffrelevanten Kenngrößen zum Teil erhebliche Unterschiede aufweisen. Der Schmelzpunkt liegt z.B. bei Palmöl über 35°C, was eine direkte Verwendung in kühleren Klimaten ausschließt. Raps- und Sonnenblumenöl bleiben auch bei tieferen Temperaturen flüssig und eignen sich darum für diesen Fall besser.

Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung bzw. dem Aufbau der Fettsäuren des Pflanzenöls führen in vielen Fällen nicht nur zur unvollständigen Verbrennung und entsprechenden Rückständen an den Einspritzdüsen sowie im Zylinderraum der Motoren, sondern auch wie im Falle von Leinöl zu Verharzungen im Leitungs- und Filtersystem (Sauerborn et al. 2000, S. 37 f.).

Gegenüber der einfachen Herstellungstechnik für Pflanzenölkraftstoffe sind daher die Anforderungen an die Verbrennungs- bzw. Motorentechnik hoch. Beim Einsatz in herkömmlichen Dieselmotoren sind u.a. dickere Kraftstoffleitungen, andere Einspritzdüsen und eventuell Änderungen der Motorengeometrie notwendig. Es besteht die Möglichkeit, herkömmliche Dieselmotoren an den Pflanzenölbetrieb anzupassen oder spezielle Pflanzenöl- oder Vielstoffmotoren zu verwenden. Insbesondere Vorkammerdieselmotore eignen sich aufgrund der größeren Verbrennungsraumgeometrie für den Pflanzenöleinsatz. Die in Deutschland aufgrund des verminderten Verbrauchs und der geringeren

Emissionen favorisierten Dieseldirekteinspritzer können zwar umgerüstet werden, aber längerfristige Erfahrungen bestehen damit noch nicht.

Mischung reiner pflanzlicher Öle mit Dieselkraftstoff oder Additiven

Dieses Verfahren wurde bisher nur geringfügig untersucht. Durch die sog. **Tessolmischung** (80 % Pflanzenöl, 14 % Benzin, 6 % Alkohol) können die Eigenschaften von Kraftstoffen auf pflanzlicher Basis verbessert werden. Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse über den kurzfristigen Betrieb von Schleppern mit dieser Mischung zeigen jedoch, dass auch hier Verbrennungsrückstände auftreten, die bei langfristigem Betrieb zu Schäden führen könnten.

In kleinen Mengen können raffinierte Pflanzenöle dem Dieselkraftstoff beigemengt werden, ohne technische Probleme hervorzurufen. Die philippinische Regierung erlaubt zum Beispiel, Überschüsse der Kokosölproduktion bis zu einem Anteil von 5 % dem Dieselkraftstoff beizumischen (Sauerborn et al. 2000, S. 38 f.).

Pflanzenölmethylester als Kraftstoff

Produkte der **Veresterung von pflanzlichen Ölen** oder tierischen Fetten mit Methyl- oder Ethylalkohol werden entsprechend der Norm E DIN 51606 unter der Bezeichnung FAME (Fatty Acid Methyl Ester) oder auch Biodiesel zusammengefasst. Unter Veresterung oder Alkoholyse versteht man den Austausch des im Öl gebundenen Glyzerins durch einen anderen Alkohol (meist Methanol). Als Produkte entstehen Glycerin und Pflanzenölmethylester. Für dieses Verfahren werden besondere Anforderungen an die Reinheit des verwendeten Pflanzenöls gestellt.

Da Pflanzenölmethylester (PME) grundsätzlich den Dieselmolekülen ähnelt, kann es einfacher in gängigen Dieselmotoren verbrannt werden. Da es allerdings eine lösungsvermittelnde Eigenschaft aufweist, sind alle mit dem Pflanzenölmethylester in Kontakt stehenden Materialien (insbesondere Kunststoffe) PME-beständig auszulegen.

In Deutschland überwiegt die Verwendung von Rapsölmethylester. Firmen wie Audi, BMW, DaimlerChrysler und VW haben bestimmte Motoren für diesen Zweck freigegeben. Ein Großversuch unter Beteiligung von DaimlerChrysler (zum Zeitpunkt des Vertragsabschlusses noch Daimler-Benz AG) in Malaysia hat gezeigt, dass der Ersatz von Diesel auch mit Palmölmethylester technisch realisierbar ist. Der Schwefelgehalt von Palmölmethylester liegt zudem um

60 % niedriger und damit knapp unter dem seit Oktober 1996 in Deutschland gesetzlich geforderten Grenzwert von 0,05-Gew.-% Schwefel im Dieselkraftstoff (Sauerborn et al. 2000, S. 39 ff.).

Konversion in Mineralölraffinerien

Die von der Veba Oel AG entwickelte Technik zur **Beimischung von Pflanzenöl zum Mineralöl-Raffinerieprozess** stellt eine weitere Möglichkeit zur Anpassung von Pflanzenöl an Verbrennungsmotoren dar. Das Pflanzenöl wird hierbei den typischen Konversionsverfahren der Mineralölraffinerien unterzogen und in Verbindungen überführt, die denen des Dieselkraftstoffes nach DIN 51601 vollkommen entsprechen. Besonderer Vorteil hierbei ist, dass weder spezielle Motoren entwickelt werden müssen noch Veränderungen an den vorhandenen Dieselmotoren nötig sind. Auch logistische Maßnahmen sind nicht notwendig, weil der Kraftstoff über das bestehende Verteilersystem vermarktet wird. Auch hier muss das verwendete Pflanzenöl bestimmte Einsatzqualitäten aufweisen, die jedoch im Allgemeinen von vollständig raffiniertem Pflanzenöl erfüllt werden.

Katalytisches Spalten von Pflanzenölen in Treibstoffkomponenten

Mit dieser Methode können Pflanzenöle mit Hilfe von Katalysatoren[2] in mehrere Komponenten (z.B. Benzin, Kerosin oder Diesel) aufgespalten werden. Besondere Nachteile der katalytischen Spaltung sind Konversionsverluste, die Heterogenität der Produkte und ihre vorwiegende Eignung als Benzinersatz. Da Benzinmotoren einen geringeren Wirkungsgrad als Dieselmotoren aufweisen, ist die Gesamtenergiebilanz bei der Substitution von Benzin weniger günstig. Wegen dieser Nachteile wurde die katalytische Spaltung von der "Agro-Industrial Research Division" der Europäischen Kommission als uninteressant eingestuft (Sauerborn et al. 2000, S. 49 ff.).

2 Katalysatoren dienen zur Beschleunigung von chemischen Reaktionen und sind selbst Verbindungen, die i.d.R. nach der Reaktion wieder in ihrer ursprünglichen Form vorliegen.

Anpassung von Motoren an pflanzliche Öle

Die Energiebilanz bei der direkten Verwendung von Pflanzenölen in Verbrennungsmotoren erweist sich als besonders günstig, da die energieaufwendigen Umwandlungsprozesse hierbei wegfallen. Diese Form der Nutzung erfordert jedoch einige technische Anpassungen der Motoren, damit die oben erwähnten Komplikationen den dauerhaften Betrieb der Motoren nicht behindern.

Dem Problem der höheren Viskosität des Pflanzenöls v.a. bei Kälte kann mit einem **zweiten Kraftstoffsystem**, das den Motor beim Startvorgang und in der Abschaltphase mit Diesel versorgt, begegnet werden. Weiterhin ist es möglich, Kaltstartprobleme mit einem **geringfügigen Dieselkraftstoffzusatz** zu überwinden (Sauerborn et al. 2000, S. 50 f.).

Verschiedene deutsche Firmen haben **Kammer- und direkteinspritzende Motoren** entwickelt, die sich für die Verwendung von leicht behandeltem Pflanzenöl eignen (Tab. 15).

Tab. 15: Übersicht der pflanzenöltauglichen Motoren

Motorenserie	*Zylinderzahl*	*Einspritzart*	*Leistung (kW)*
Deutz 912 W	3-6	Vorkammer (VK)	30-63
Deutz 1008	2-4	VK	9-25
Hatz E 89	1	VK	3,6-9
Elsbett 82.92.3.T	3	Direkteinspritzung (DI)	35-66
Elsbett OM 352	4-6	DI	55-100
DMS	3-6	DI	88-105
Slavia	1	DI	5,5-10
Faryman	1	DI	5
IFA	4-6	DI	40-190

Quelle: Rösch 1998, S. 37

Obwohl diese Motoren für den Betrieb mit Rapsöl konstruiert sind, geht man davon aus, dass v.a. direkteinspritzende Motoren auch mit Palmöl betrieben werden können. Außerdem besteht die Möglichkeit einer Umrüstung vorhandener Dieselmotoren.

Gegenüber anderen Konzepten, die eine Behandlung des Pflanzenöls voraussetzen, ist bei der direkten Verwendung in angepassten Motoren eine dezentrale

Gewinnung von Kraftstoff möglich. Für abgelegene Gebiete in vielen Entwicklungsländern könnte dies von Vorteil sein, da Transportkosten wegfallen und in Krisensituationen eine weitgehend autarke Energieversorgung gesichert wäre. Ferner bietet sich der Einsatz dieser Motoren in ökologisch labilen Gebieten wegen der schnellen Abbaubarkeit von Pflanzenöl an. Bei einer breiten Markteinführung von rohen Pflanzenölen als Kraftstoff müsste aber ein neues Vermarktungssystem aufgebaut werden. Die Produktionszyklen der Ölpalme und die damit verbundenen Schwankungen in der Verfügbarkeit ihrer Öle könnten außerdem zu Versorgungsengpässen und Preisänderungen führen.

Pflanzenölgeeigneten Motoren wird aufgrund des relativ kurzen Entwicklungszeitraumes ein hohes technisches Verbesserungspotenzial eingeräumt. Voraussetzung hierfür ist die Normung roher Pflanzenöle als Kraftstoff für eine gezielte Weiterentwicklung und Freigabe der Technologien durch die Hersteller (Sauerborn et al. 2000, S. 51 f.).

Insgesamt gilt, dass es eine Reihe von erprobten Verfahren zur energetischen Nutzung von Pflanzenölen gibt, deren Wirtschaftlichkeit sowohl vom Preis des Pflanzenöls selbst als auch vom Preis des vorherrschenden Energieträgers Mineralöl bestimmt wird.

Pflanzenöl als Brennstoff

Der Einsatz von Pflanzenöl in Kochern und zur Beleuchtung ist grundsätzlich möglich, jedoch mit höheren Kosten verbunden und nur für besondere Zielgruppen in Entwicklungsländern geeignet. Folgende Verfahren sind bekannt bzw. denkbar (Rösch 1998, 39 f.):

- Mischung von Pflanzenöl mit Kerosin,
- Anpassung des Kochers an den Betrieb mit Pflanzenöl,
- Entwicklung spezieller pflanzenöltauglicher Kocher.

Vor dem Hintergrund ökologischer Kriterien erscheint es in den meisten Gebieten jedoch sinnvoller, stationäre Anlagen mit festen und Fahrzeuge mit flüssigen Energieträgern zu betreiben (Kap. V).

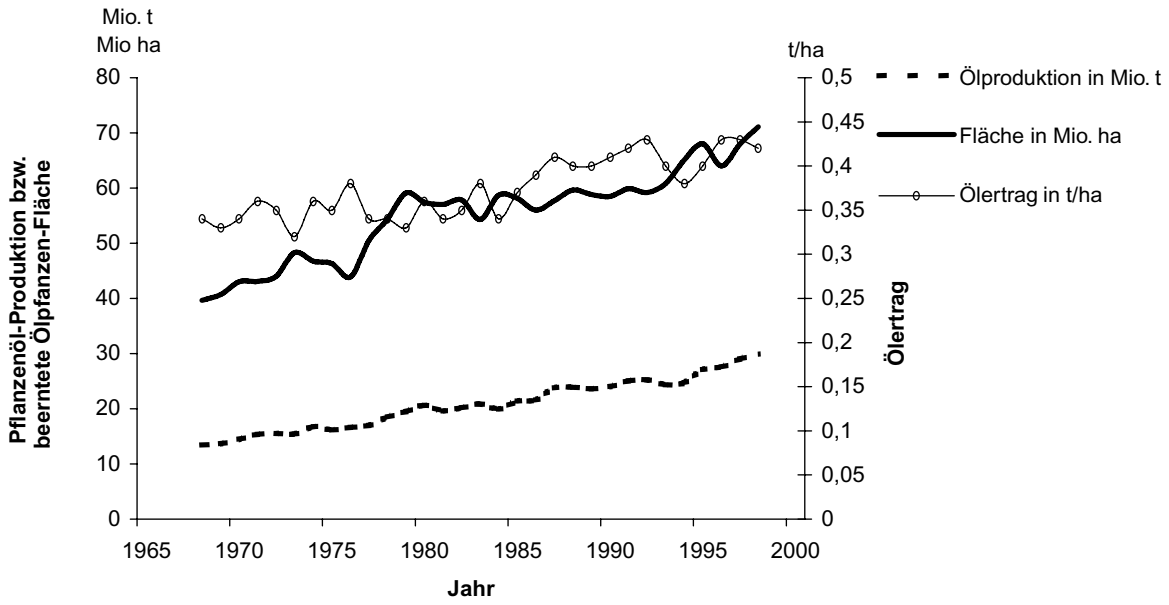
2.3 Nutzung von Pflanzenöl

Hier erfolgt zunächst eine Beschreibung des Weltmarktes für Pflanzenöle, in den sich die Nutzung von Pflanzenölen als regenerative Energieträger einordnen muss.

Ölpflanzen auf dem Weltmarkt

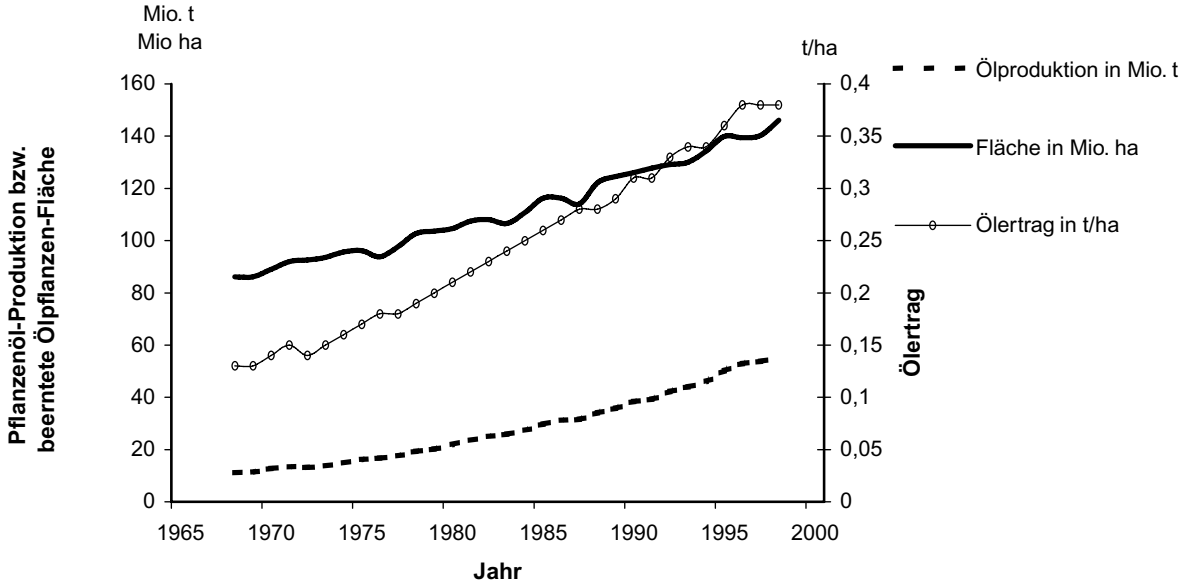
In den letzten 30 Jahren (bis 1998) stieg die **Produktion von pflanzlichem Öl weltweit** um 245 % auf 86 Mio. t. Für diese enorme Steigerung wurden die Anbauflächen um 72 % ausgedehnt, während der Ertrag pro Flächeneinheit um 80 % anstieg. Die Abbildungen 6 und 7 verdeutlichen, dass der Zuwachs hauptsächlich auf die Produktion in Entwicklungsländern zurückzuführen ist, die im genannten Zeitraum um fast 400 % anstieg (Sauerborn et al. 2000, S. 4).

Abb. 6: Produktion von Pflanzenöl in Industrieländern



Quelle: Sauerborn et al. 2000, S. 4

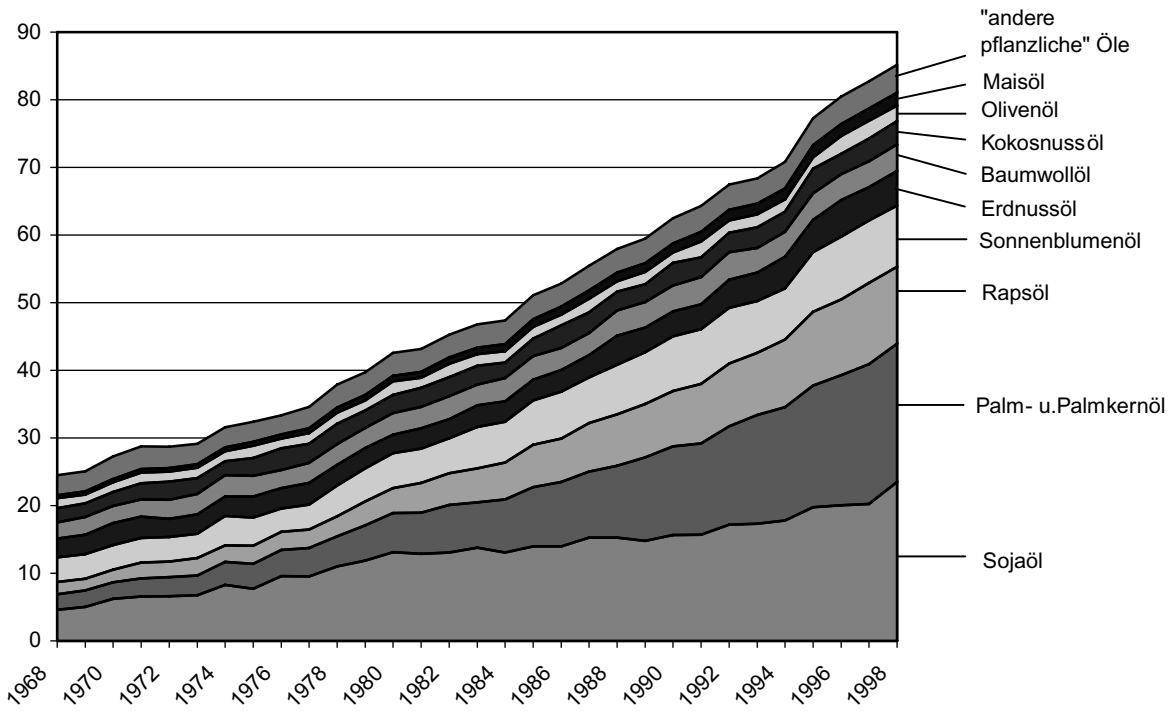
Abb. 7: Produktion von Pflanzenöl in Entwicklungsländern



Quelle: Sauerborn et al. 2000, S. 5

Die Entwicklung des Pflanzenölmarktes in den vergangenen drei Jahrzehnten ist neben der außerordentlichen Produktionssteigerung auch durch eine grundlegende Änderung in der **Bedeutung der verschiedenen Erzeugerregionen** und dem **Anteil der einzelnen Ölpflanzen** an der Weltproduktion gekennzeichnet. So haben v.a. die schnelle Ausdehnung des Ölpalmanbaus in Südostasien, die großflächigen Sojapflanzungen in Nord- und Südamerika und die intensive Produktion von Raps und Sonnenblume u.a. in Europa die Schwerpunkte der globalen Produktion deutlich verschoben. Heute liefern die drei genannten Pflanzenarten zusammengenommen mehr als die Hälfte der weltweit gehandelten Pflanzenöle (Abb. 8), wobei die Produktion von Palm- und Palmkernöl innerhalb der letzten 30 Jahre um 799 %, die von Rapsöl um 599 % und die von Sojaöl um 411 % stieg (Sauerborn et al. 2000, S. 5).

Abb. 8: Produktionssteigerung von Pflanzenölen über den Zeitraum von 1968 bis 1998

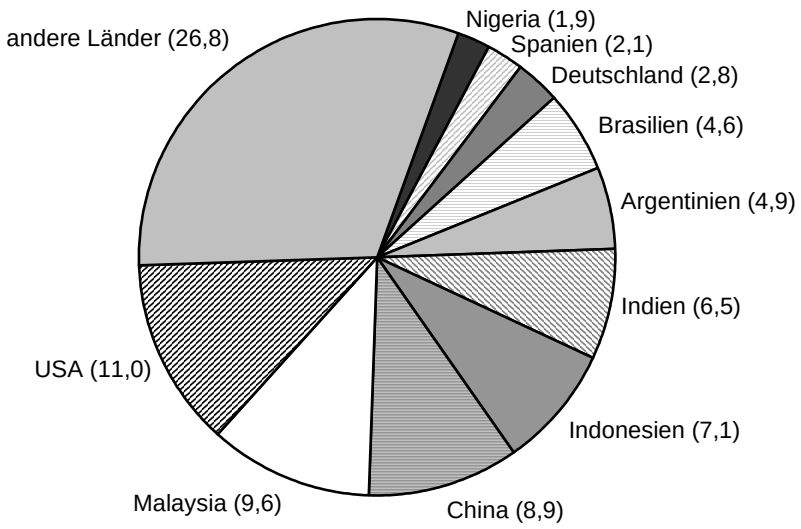


Quelle: Sauerborn et al. 2000, S. 6

Primär beruht dieser Produktionszuwachs auf der kontinuierlich zunehmenden Nachfrage der im genannten Zeitraum um 66 % gewachsenen Weltbevölkerung und dient **vorrangig der Bereitstellung von Nahrungsfetten** für Mensch und Nutztiere. Möglich wurde er durch geringe Anschaffungs- und Lohnkosten im Ölpalmanbau und die politische Förderung des Rapsanbaus in den Regionen gemäßigten Klimas (z.B. Europa). Sojaöl hingegen wird als Nebenprodukt in der Sojaproduktion gewonnen, die infolge der fast vollständigen Mechanisierbarkeit konkurrenzfähiger geworden ist.

Ein Blick auf die globale Verteilung der Pflanzenölproduktion identifiziert die USA, Malaysia, China und Indonesien als die vier größten **Produzenten** weltweit (Abb. 9).

Abb. 9: Pflanzenölproduktion im Jahr 1998 nach Ländern (in Mio. t)



Quelle: Sauerborn et al. 2000, S. 7

Vergleicht man jedoch die entsprechenden Import- und Exportstatistiken, wird deutlich, dass der Nettoölexport aus Malaysia, Argentinien und Indonesien fast drei Viertel des weltweiten Nettoexports ausmachen.

In der **oleochemischen Industrie** finden pflanzliche Fette als Bestandteil oder Ausgangsstoff in unterschiedlichsten Produkten Anwendung. In großem Umfang wird Kokos-, Soja-, Leinsamen- und Rizinusöl zur Herstellung von Waschmitteln, Seifen, Farben und Lacken, Schmierstoffen, Kunststoffen und Agrochemikalien eingesetzt. Einige Öle (z.B. Rizinus- und Purgiernussöl), die außerhalb des Nahrungsmittelbereiches eingesetzt werden, sind aufgrund der in ihnen enthaltenen Toxine und/oder Bitterstoffe nicht für die menschliche Ernährung geeignet. Dennoch erfüllt der größte Teil der in der Oleochemie verwendeten Fette die qualitativen Ansprüche an Speiseöl (Sauerborn et al. 2000, S. 9).

Ölpflanzen als Lieferant regenerativer Energie in Entwicklungsländern

Das grundlegende Kriterium bei der Auswahl von Ölpflanzen zur Gewinnung nachwachsender Energie **ist der Preis**, zu dem ein bestimmtes Öl produziert werden kann. Da pflanzliches Öl wegen der ähnlichen physikalisch-chemischen Eigenschaften ein Konkurrenzprodukt zu Mineralöl ist, wird der Mineralölpreis zum bestimmenden Faktor für die Wirtschaftlichkeit von Pflanzenöl als regenerativer Energieträger.

Der aktuelle Preis für Palmöl liegt um ca. ein Drittel höher als der Mineralölpreis, ist aber, wie bei allen Pflanzenölen, Schwankungen von bis zu 50 % unterworfen. Aus der Vergangenheit ist bekannt, dass Pflanzenöle durchaus preisgünstiger sein können, wenn entsprechende politische Rahmenbedingungen vorherrschen bzw. Preisverzerrungen durch Subventionen oder Besteuerungen wegfallen. Zudem wird es als wahrscheinlich angesehen, dass die Menschheit in Zukunft einem sinkenden Angebot an preiswertem Mineralöl gegenübersteht, was die Wirtschaftlichkeit von Pflanzenölen zusätzlich erhöhen würde (Sauerborn et al. 2000, S. 14).

Bei der **Energiebilanz** ausgewählter Ölpflanzen tritt besonders die Ölpalme mit einem Nettoenergieertrag von 81 GJ/ha hervor. Beim gegenwärtigen Produktionsstand liegt dieser Ertrag nahezu doppelt so hoch wie der von Raps- oder Sonnenblumenöl und kann zudem um das Vierfache gesteigert werden, geht man vom theoretischen Ertragspotenzial aus. Die Energieaufwendungen setzten sich in der Pflanzenölproduktion aus verschiedenen, je nach Nutzpflanze und Region variierenden Komponenten zusammen. In der Regel verbraucht die Bereitstellung und Ausbringung der Düngemittel den weitaus größten Energieanteil (Sauerborn et al. 2000, S. 16).

Für die Auswahl geeigneter Pflanzenarten als Lieferanten regenerativer Energie müssen zusätzlich zum Preis noch einige weitere Kriterien berücksichtigt werden. So ist die Produktion von Palmöl nur in tropischen und subtropischen Regionen möglich, während Raps sein volles Ertragspotenzial nur in gemäßigten Klimaten entfaltet. Beim Sonnenblumenöl wiederum spricht die hohe ernährungsphysiologische Qualität gegen einen Einsatz als Brennstoff.

Bleibt man bei der Betrachtung von Entwicklungsländern, stellt sich vor allem die Ölpalme, aufgrund ihres hohen Flächenertragspotenzials bei vergleichsweise niedrigen Produktionskosten, als geeignet für die Bereitstellung regenerativer Energie heraus (Sauerborn et al. 2000, S. 19).

2.4 Perspektiven der energetischen Nutzung von Pflanzenöl

Das Palm Oil Research Institute of Malaysia geht davon aus, dass der weltweite Verbrauch an Pflanzenölen bis zum Jahr 2020 auf über 160 Mio. Tonnen ansteigt. Dabei erfahren Soja-, Palm-, Raps- und Sonnenblumenöl eine überproportionale Produktionssteigerung (Rösch 1998, S. 15). Ein **erweiterter Anbau von Ölpflanzen** in Entwicklungsländern setzt aber voraus, dass pflanzenbaulich nutzbare Flächen in ausreichendem Maße vorhanden sind bzw. nicht für andere Produktionsverfahren benötigt werden. Gerade wenn eine Produktionserweiterung der Reduktion von CO_2-Emissionen dienen soll, beschränkt sich der Anteil in Frage kommender Flächen v.a. auf marginale Böden und Savannen, da in vielen Fällen die Urbarmachung (z.B. durch Rodung oder Trockenlegung von Feuchtgebieten) hohe Emissionen klimarelevanter Gase verursacht (Kap. V). In Malaysia wird aber auch über die Aufgabe von Kautschukplantagen zur Erweiterung des Ölpflanzenanbaus nachgedacht (Sauerborn et al. 2000, S. 63). Für den Anbau von Ölpalmen sind die potenziellen Flächen in den entsprechenden Ländern in Tabelle 16 aufgeführt.

Abgesehen von einer Flächenausdehnung könnte die Produktion auch durch eine **stärkere Ausnutzung des Ertragspotenzials** der Ölpalme erhöht werden. Die potenziell mögliche Verdoppelung des gegenwärtigen Durchschnittsertrags der malaysischen Plantagen könnten über 20 Mio. Tonnen Öl zusätzlich bereitstellen.

Dabei ist die konzentrierte Palmölproduktion nicht in jedem Fall die beste Alternative. Insbesondere in den ärmeren Entwicklungsländern fehlt die für den Betrieb zentraler Ölmühlen notwendige Infrastruktur, so dass die dezentrale Ölgewinnung mit Hand- oder Motorpressen, deren Kapazitäten zwischen 0,5 und 5 t/Tag liegen, geeigneter erscheint (Rösch 1998, S. 25). Auf der anderen Seite unterliegen Ölausbeute und Qualität in der **kleinbäuerlichen Produktion** stärkeren Schwankungen, so dass die strengen Qualitätskriterien für die Nutzung als Kraftstoff bzw. Verarbeitung in Raffinerien nicht immer erfüllt werden können. Ein von der Gesellschaft für technische Zusammenarbeit (GTZ) gefördertes Kleinbauernprojekt in Westsumatra hat aber gezeigt, dass in der kleinbäuerlichen Ölpalmenproduktion bei guter Organisation Höchsterträge erzielt werden können.

Tab. 16: Potenzielle Ölpalmanbaufläche weltweit (in Mio. ha)

Land	*für Ölpalmanbau geeignete Fläche*	*für Ölpalmanbau geeignete Fläche, abzüglich der aktuellen Flächen für Reis, Kautschuk, Infrastruktur und Naturschutz*
Brasilien	140,2	109,3
Zaire	67,6	54,1
Kolumbien	38,0	30,2
Peru	37,9	30,1
Indonesien	39,7	20,8
Kongo	12,3	9,4
Papua Neu-Guinea	9,0	7,2
Venezuela	8,4	6,6
Gabun	7,4	5,9
Malaysia	9,4	5,9
Kamerun	7,4	5,8
Guinea	7,3	5,8
Bolivien	7,3	5,7
Surinam	6,2	4,9
Ecuador	6,3	4,8
Mexiko	2,4	1,8
Liberia	2,5	1,8
Cote d'Ivoire	2,7	1,5
Nicaragua	1,8	1,4
Äq. Guinea	1,6	1,2
Guatemala	1,4	1,1
Uganda	1,2	0,9
Paraguay	1,1	0,8
Rest*	5,8	3,3
gesamt	425,0	320,4

* Alle Länder, die weniger als 100.000 ha Fläche haben, die sich für den Ölpalmanbau eignen.

Quelle: Sauerborn et al. 2000, S. 79

Sofern das energetisch genutzte Palmöl aus der derzeitigen Produktion stammt, steht diese Einsatzform jedoch in direkter **Konkurrenz zum Nahrungsmittelsektor und der oleochemischen Industrie**. Eine daraus resultierende Preiserhöhung bei den pflanzlichen Ölen könnte zu Versorgungsengpässen in pflanzenölimportierenden Ländern (z.B. China, Indien, Pakistan und viele afrikanische Staaten) führen und vorherrschende Mangelsituationen noch verschärfen. Zwar existieren Pflanzenöle, die sich zur energetischen Nutzung und weniger zum Verzehr eignen (z.B. Purgiernussöl), doch werden diese Öle bisher nur in geringem Umfang produziert. Der Einsatz von Palmöl als Substitut für fossile Brennstoffe kann daher dem Recht auf Ernährung (Artikel 25, Resolution 217 A [III] der allgemeinen Erklärung der Menschenrechte) entgegenwirken und ist deswegen nur verantwortbar, wenn die Versorgung der Weltbevölkerung mit Nahrungsfetten in ausreichendem Maße gesichert ist (Sauerborn et al. 2000, S. 58).

Wiederum vor dem Hintergrund zukünftiger Emissionsvermeidung wird das globale Potenzial der energetischen Nutzung von Ölpflanzen - hierbei steht die Ölpalme im Vordergrund - im Vergleich mit Biofestbrennstoffen eher gering eingeschätzt. Für tropische Länder mit Ölpalmenanbau jedoch stellt die Ölpalmenindustrie einen guten Ansatzpunkt für Emissionseinsparungen dar (Sauerborn et al. 2000, S. 79).

3. Biogas

In Regionen, in denen Biomasse für die Vergärung unter Sauerstoffabschluss in geeigneter Form und Menge vorhanden ist, kann die Biogastechnologie eine sinnvolle Ergänzung zum Energieträgermix sein. Im Folgenden werden die gängigen Verfahren zur Biogasgewinnung und -nutzung vorgestellt. Anhand von Beispielen aus Asien wird erörtert, welche Perspektiven sich aus der gegenwärtigen Situation in den Entwicklungsländern für diesen Technologiezweig ergeben.

3.1 Verfahren der Biogasgewinnung

Der biologische Prozess der anaeroben Zersetzung komplexer organischer Verbindungen ist seit langem bekannt. Er liefert ein brennbares Gas, das zum Kochen, Heizen, zur Beleuchtung und zur Stromerzeugung verwendet werden kann, sowie einen Gärrückstand, der sich als organischer Dünger nutzen lässt.

Der Fermenter ist der Ort des anaeroben Abbaus von komplexen, organischen Verbindungen zu Biogas durch den Stoffwechsel verschiedener, hochspezialisierter Bakterien. Dieser Vorgang ist ein mehrstufiger physio-chemischer und biologischer Prozess in dessen Verlauf ein Gemisch aus Methan, Kohlenstoffdioxid und geringen Mengen anderer Gase entsteht. Ausgehend von den Stoffwechselprodukten der beteiligten Bakterienarten, wird der Prozess in drei Phasen unterteilt (Rösch 2000, S. 8):

1. **Hydrolyse**: enzymatische Aufspaltung der im Ausgangsmaterial enthaltenen Kohlenhydrate, Fette und Eiweiße in kleinere Moleküle
2. **Versäuerungsphase**: Umbau der aus der Hydrolyse stammenden Verbindungen (z.B. Glucose) in organische Säuren und Ethanol
3. **Methanogene Phase**: Bildung von Methan (CH_4) und Kohlenstoffdioxid (CO_2) aus den organischen Säuren

Der erfolgreiche und reibungslose Verlauf des Prozesses setzt voraus, dass sich die relevanten Parameter in bestimmten Grenzen bewegen. So muss der **Wassergehalt** des Substrates mindestens 75 % betragen und eine gleichbleibende **Betriebstemperatur** von 25 bis 35°C für den üblichen Betrieb im mittleren (mesophilen) Temperaturbereich gesichert sein. Methanogene Bakterien sind auch bei höheren (thermophiles Verfahren) und niedrigeren (psychrophiles Verfahren) Temperaturen aktiv, doch müssen bei diesen Verfahren Abstriche hinsichtlich der Prozessstabilität bzw. der Gasausbeute gemacht werden.

Zu hohe und zu niedrige **pH-Werte** oder die Anwesenheit von Sauerstoff - geringe Mengen werden toleriert - bringen den Prozess zum Erliegen. Weitere wichtige Parameter sind die Beschickungsrate und in Abhängigkeit davon die Verweilzeit des Substrates im Fermenter (Rösch 2000, S. 9).

Gärsubstrate

Für die Biogasnutzung sind grundsätzlich alle wässrigen, pastösen und auch festen organischen Materialien geeignet, die anaerob weitgehend abbaubar sind und so geringe Konzentrationen an Hemmstoffen enthalten, dass biologische

Vorgänge nicht nachteilig beeinflusst werden. Die in Tabelle 17 aufgeführten Substrate weisen in der Regel solche Eigenschaften auf.

Kriterien für die biologische Abbaubarkeit von Gärsubstraten sind u.a. das Verhältnis von Kohlenstoff zu Stickstoff (C/N-Verhältnis), wobei in der Literatur unterschiedliche optimale Bereiche, wie 8/1 bis 15/1 bzw. 20/1 bis 40/1, beschrieben werden, und der Gehalt an organischer Trockensubstanz (oTS). Exkremente aus der Tierhaltung, insbesondere der Haltung von Wiederkäuern, sind beliebte Gärsubstrate, da sie die geforderten Eigenschaften besitzen und über lange Zeit erfolgreich eingesetzt wurden. Bezüglich der Haltungsform muss man hier jedoch einschränken, da nicht alle Haltungssysteme auf den Betrieb einer Biogasanlage hin umgestellt werden können (Kap. III.3).

In geringem Maße können die Eigenschaften von Gärsubstraten verbessert werden, beispielsweise durch die Zugabe von Wasser zur Verflüssigung und die Beimischung von Stickstoff oder Kalk, um ein höheres C/N-Verhältnis bzw. einen höheren pH-Wert zu erreichen.

Biogaserträge

Die Biogasausbeute hängt, neben den Prozessparametern, von der Art und Zusammensetzung der verfügbaren Substrate (z.B. dem Gehalt an organischer Trockensubstanz und den jeweiligen Anteilen an Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen) ab. Tabelle 17 enthält Angaben über die Qualität und theoretische Gasausbeute dieser drei Fraktionen.

Tab. 17: Theoretische Gasausbeuten, Gaszusammensetzung und Heizwert

	Kohlenhydrate	*Fette*	*Proteine*
Gasertrag (l/kg TS)	900	1.200	700
Methangehalt (%)	50	71	38
Kohlenstoffdioxidgehalt (%)	50	29	38
Ammoniakgehalt (%)	0	0	18
Schwefelwasserstoffgehalt (%)	0	0	6
Heizwert Hu (MJ/Nm^3)	17,8	23,7	24,9

Quelle: nach Rösch 2000, S. 15

Biogas besteht hauptsächlich aus Methan (40-70 %) und Kohlenstoffdioxid (30-50 %). Daneben enthält es Wasserstoff, Ammonium, Wasserdampf und Schwefelwasserstoff. Kohlenstoffdioxid verhält sich im Prozess neutral, verdünnt aber den Methangehalt im Biogas und bestimmt damit die Qualität des Gases.

Mit kohlenhydratreichen Substraten lassen sich Methangehalte von ca. 50 bis 55 %, mit fettreichen von mehr als 75 % erzielen. Proteine bringen nur einen relativ niedrigen Methanertrag und verursachen gleichzeitig hohe Volumenanteile an unerwünschtem Schwefelwasserstoff und Ammonium.

Ein realistischer Gasertrag aus Kuhdung liegt zwischen 30 und 40 l Biogas pro kg Dung mit einem durchschnittlichen Methangehalt von 65 %. Eine fast doppelt so hohe Gasausbeute lässt sich mit Schweinedung erzielen, da Schweine im Vergleich zu den Wiederkäuern einen höheren Anteil unabgebauter organischer Substanzen ausscheiden. Besonders ein hoher Gehalt an Fetten steigert den Gasertrag, wobei hier bezüglich der Kapazitäten der Bakterien Grenzen gesetzt sind (Rösch 2000, S. 16).

3.2 Techniken der Biogaserzeugung

Die mikrobielle Umsetzung der Gärsubstrate in Biogas und Gärrückstand findet in einem luft- und wasserdichten sowie korrosionsbeständigen **Fermenterraum** statt. Dieser kann aus verschiedenen Materialien (z.B. Beton, Stahlblech, Kunststoff) hergestellt und in diversen Formen und Größen konstruiert werden.

Weitere Komponenten einer Biogasanlage sind Einrichtungen zur Substrataufbereitung (Verdünnen, Durchmischen) und Substratzufuhr, zur Gasreinigung bzw. -aufbereitung und zur Lagerung von Biogas und Gärrückstand.

Biogastechnologien lassen sich dem Verfahren nach in **zwei Typen** unterteilen. Bei **Speicheranlagen** wird der Lagerbehälter für das Substrat durch entsprechende Isolation, den Einbau eines Rührwerks und andere geringfügige Veränderungen selbst zum Fermenter. Der Umbau landwirtschaftlicher Güllefässer wäre hier ein Beispiel, das v.a. den Vorteil der Kostenersparnis bei dieser Variante illustriert. Die relativ langen mittleren Verweilzeiten des Gärsubstrats und die Abhängigkeit der Gasproduktion von der Füllmenge wirken sich allerdings bei allzu einfacher Bauart nachteilig aus (Rösch 2000, S. 18).

Beim **Durchflussverfahren** wird dem Fermenter kontinuierlich Gärsubstrat zu- und abgeführt. Der Fermenter ist im Gegensatz zur Speicheranlage immer gefüllt und wird nur zur Reparatur und Wartung gelegentlich entleert. Die Vorteile dieses Verfahrens sind die gleichmäßige Gasproduktion, die gute

Fermenterauslastung und die geringen Gasverluste, da das Gärsubstrat nicht vorgelagert werden muss. Unter Umständen vermischt sich jedoch frisches mit vergärtem Material und wird dann ungenutzt abgeführt, was wiederum eine verringerte Gasausbeute zur Folge hat. Des Weiteren liegen die Kosten für eine kontinuierlich betriebene Anlage aufgrund der erforderlichen Automatisierung einiger Prozessabschnitte höher als bei Speicheranlagen (Rösch 2000, S. 18).

Für vorwiegend großtechnische Anwendungen kommt die **kombinierte Durchflussspeicheranlage** in Frage, die versucht, die Vorteile beider Verfahren zu vereinen. Dieses Verfahren bedeutet einen weiteren finanziellen Mehraufwand. Die Perspektiven für den Einsatz von hochentwickelten Technologien liegen eher im Bereich der Behandlung stark organisch belasteter Abwässer und biogener Abfälle aus der Nahrungs- und Rohstoffindustrie in Entwicklungsländern (Rösch 2000, S. 4).

Die Speicheranlage ist dem Durchflussfermenter nachgeschaltet und ebenfalls mit einer Gasspeichereinrichtung versehen, damit keine Verluste durch die Lagerung entstehen. Frisches Material wird hier jedoch nicht wie im Falle der zuvor beschriebenen Verfahren mit dem bakterienreichen Substrat aus dem Hauptfermenter gemischt, was den Prozess verzögern kann.

Über den Einsatz von großtechnischen Verfahren in Entwicklungsländern liegen allerdings nicht so zahlreiche empirische Daten vor wie über Anwendungen der einfachen Verfahren im kleinbäuerlichen Bereich. Bei letzteren gibt es eine Reihe von **marktreifen Fermentermodellen**, die auch in den Entwicklungsländern selbst hergestellt werden. Als Entscheidungskriterien bei der Auswahl werden die Anschaffungskosten, die technische Reife, Robustheit und Haltbarkeit der Konstruktion sowie Bedienerfreundlichkeit und die Beschaffenheit lokal verfügbarer Substrate genannt (Rösch 2000, S. 21).

Die Größe der nachgefragten Anlagen hängt aber auch vom Biogasbedarf ab. So verbraucht ein fünfköpfiger Haushalt zum Zubereiten von zwei warmen Mahlzeiten zwischen 1.500 und 3.000 l Biogas pro Tag; eine Menge, die in Abhängigkeit von individuellen Gewohnheiten stark schwanken kann.

Biogasreinigung

Biogas lässt sich ohne weitere Behandlung als Brennstoff einsetzen. Bei bestimmten Anwendungen ist es jedoch erforderlich, im Biogas enthaltene, störende Verbindungen zu entfernen. In den meisten Fällen zielt die Biogasbehandlung darauf ab, Wasserdampf und Schwefelwasserstoff zu entfernen, da ihr Gehalt zu Problemen bei der Gasverwertung führen kann. Der Schwefelwasserstoff

verbindet sich mit Kondenswasser zu korrosiv wirkender Schwefelsäure, die einen höheren Verschleiß der Anlagenbestandteile (u.a. Gasmotoren) bewirkt.

Kühlere Temperaturen in Gasleitung oder Gasspeicher reichen meist aus, um den Wasserdampfgehalt durch Kondensation zu senken, während sich Schwefelwasserstoff mit Stahlwollefiltern oder Wäschern entfernen lässt. Diese **Entschwefelungstechniken** sind weniger für Kleinanlagen geeignet, da sie viel zu teuer sind. Für mittlere und kleinere Anwendungen kommt die Entschwefelung über die Absorption an regenerierbaren Eisenhydraten eher in Frage. Die preiswerteste Lösung ist zweifelsohne die biologische Entschwefelung mittels dosierter Luftzufuhr zum Fermenterinnenraum. Dabei reagiert der Schwefelwasserstoff mit dem Sauerstoff zu Wasser und kristallinem Schwefel, welcher als Pflanzennährstoff im Gärrückstand verbleibt (Rösch 2000, S. 21 f.).

3.3 Anwendungsbereiche für Biogas

Biogas ist ein hochwertiger Energieträger, der vielseitig und mit hohen Wirkungsgraden eingesetzt werden kann. In den Entwicklungsländern wird Biogas größtenteils zum Kochen, zur Beleuchtung, zur Wärmeerzeugung und zur Warmwasserbereitstellung, zum Trocknen und zum Kühlen verwendet. Darüber hinaus ist Biogas geeignet zum Antrieb von stationären und mobilen Motoren, Wasserpumpen, Mühlen und Hackern, zum Rösten von Kaffee, zum Brotbacken, Sterilisieren von Instrumenten oder auch zur Stromerzeugung. In gereinigter und verdichteter Form dient Biogas außerdem zum Betrieb von Schleppern und Kraftfahrzeugen (Rösch 2000, S. 22).

In Entwicklungsländern ist v.a. die Verbrennung von Biogas in Öfen, einfachen Brennern und Lampen verbreitet. Wesentlich effizienter kann Biogas in sog. Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen genutzt werden, was aufgrund mangelnder technischer Voraussetzungen in Entwicklungsländern kaum geschieht. In Tabelle 18 sind die Wirkungsgrade der üblichen Anwendungsformen aufgeführt.

Biogasöfen, die in Entwicklungsländern zum Einsatz kommen, müssen bestimmten Anforderungen an Funktionalität, Zuverlässigkeit, Benutzerfreundlichkeit und Ästhetik genügen, die von Region zu Region variieren können. Viele Haushalte bevorzugen den festinstallierten Zwei-Flammen-Kochofen mit Windschutz, der in unterschiedlicher Form auch vor Ort produziert wird (Rösch 2000, S. 23).

Keine der kommerziell verfügbaren **Gaslampen** eignet sich optimal für die speziellen Konditionen der Biogasverbrennung, die gekennzeichnet sind durch

schwankenden oder niedrigen Druck und variierende Gaszusammensetzung. Schlecht angepasste Gaslampen resultieren in einem unnötig hohen Gasverbrauch und in schlechter Beleuchtung. Zudem ist die Effizienz der Gasnutzung in Lampen extrem niedrig (Tab. 18).

Der Antrieb eines **Biogasmotors** erfordert mit ca. 10 m^3 eine vergleichsweise hohe tägliche Menge an Gas, die beim Status quo der Biogasproduktion in den meisten Entwicklungsländern nur in seltenen Fällen erreicht wird. Wegen ihrer vielseitigen Einsatzmöglichkeiten (u.a. in der Stromerzeugung), werden einige in Deutschland erhältliche Typen in Tabelle 19 vorgestellt. Hierbei handelt es sich um herkömmliche Motoren, die auf den Betrieb mit Biogas mit geringem Aufwand umgestellt werden können (Rösch 2000, S. 26).

Tab. 18: Wirkungsgrade für verschiedene Gasanwendungen

Anwendungen für Biogas	*Wirkungsgrad*
Gaslampe	3 %
Motor	24 %
Gasofen	55 %
Kraft-Wärme-Kopplung	88 %

Quelle: Rösch 2000, S. 25

Tab. 19: Typische Merkmale verschiedener Motoren für Biogas

	Benzinmotor: Gas-Otto-Verfahren	*Dieselmotor: Gas-Otto-Verfahren*	*Dieselmotor: Zündstrahlverfahren*
Preis	niedrig	sehr hoch	hoch
Wirkungsgrad	20-25 %	30-35 %	23-35 %
Lebensdauer	niedrig	mittel	mittel
Geräusch	mittel	stark	stark
Ruß im Abgas	-	-	vorhanden
Zündölbedarf	-	-	10-30 %
Ersatzkraftstoff	Flüssiggas (Benzin)	Flüssiggas	Heizöl, Diesel

Quelle: Rösch 2000, S. 27

Gärrückstand

Der bei der Biogasgewinnung anfallende Gärrückstand enthält Pflanzennährstoffe und nicht vergorene organische Substanz, was ihn zu einem **vollwertigen organischen Düngemittel** macht. Der Gärungsprozess verbessert sogar seine Eigenschaften gegenüber Gülle oder Dung.

Infolge des reduzierten Anteils an organischen Stickstoffverbindungen im Gärrückstand verringert sich die Gefahr der unkontrollierten, nicht bedarfsorientierten Mineralisierung und Verlagerung von Stickstoff in tiefere Bodenschichten bzw. das Grundwasser. Weitere **Vorteile der Vergärung** v.a. tierischer Exkremente vor deren Ausbringung auf die Felder sind (Rösch 2000, S. 29):

- Verringerung des Anteils organischer Substanz, wodurch das C/N-Verhältnis enger wird und die pflanzenphysiologische Verträglichkeit steigt,
- Homogenisierung und Verfeinerung der Struktur der Exkremente und hierdurch erleichterte Ausbringung,
- Reduktion der pathogenen Keime und der Keimfähigkeit von Unkrautsamen,
- deutlich geringere klimarelevante Emissionen aus offenen Lagerstätten für tierische Exkremente und
- geringere Geruchsemissionen.

Um die im Gärrückstand enthaltenen Nährstoffe optimal auszunutzen und Nährstoffverluste (insbesondere Stickstoffverluste) zu verhindern, sollte der Gärrückstand möglichst rasch in flüssiger Form gleichmäßig auf die Felder verteilt und in den Boden eingearbeitet werden. Da dies in der Praxis meist nicht möglich ist, muss der Gärrückstand zwischengelagert werden, was üblicherweise in flüssiger oder kompostierter Form geschieht (Rösch 2000, S. 29).

3.4 Biogasnutzung in Entwicklungsländern

Abschließend wird auf den Stand und die Perspektiven der Biogasnutzung in Entwicklungsländern eingegangen.

Aktueller Stand

Seit fast einem Jahrhundert werden Biogastechnologien in Industrie- und Entwicklungsländern entwickelt und angewendet. In über 50 Entwicklungsländern produzieren überwiegend landwirtschaftliche Haushalte Biogas auf der Basis organischer Rest- und Abfallstoffe und tierischer aber auch menschlicher Exkremente (Tab. 20). Die Mehrheit der installierten Anlagen hat ein nominales Fermentervolumen von rund 10 m^3 und liefern zwischen 1,5 und 4 m^3 Biogas pro Tag (ca. 30-80 MJ). In diesem Zusammenhang sind v.a. asiatische Länder zu nennen, in denen die klimatischen und strukturellen Gegebenheiten für die Biogaserzeugung vergleichsweise günstig sind. Bei der Betrachtung von Tabelle 21 muss jedoch berücksichtigt werden, dass nur 50-75 % der Anlagen regelmäßig betrieben werden (Rösch 2000, S. 37 f.).

Tab. 20: Anzahl der installierten Biogasanlagen in ausgewählten Entwicklungsländern

Länder	*Zahl der Biogasanlagen (je Land)*
China	5 Millionen
Indien	3 Millionen
Nepal	50.000
Korea	30.000
Brasilien	8.000
Bangladesh, Bhutan, Burundi, Guatemala, Indonesien, Karibik, Kenia, Kuba, Malaysia, Philippinnen, Sri Lanka, Taiwan, Tansania, Thailand, Vietnam	100 bis 2.000
Ägypten, Bhutan, Costa Rica, Elfenbeinküste, Honduras, Jamaika, Mali, Mexiko, Nicaragua, Peru, Panama, Tunesien, Sudan, Uruguay	bis 100

Quelle: Rösch 2000, S. 39

Größere Anlagen mit bis zu 100 m^3 Fermentervolumen, z.B. für die Energieversorgung von Dorfgemeinschaften, gibt es aufgrund fehlender Regelungen für den Gemeinschaftsgebrauch weniger (Kap. IV). Ähnlich verhält es sich mit Anlagen für die Behandlung organischer Rest- und Abfallstoffe im Industriebereich, die allerdings in jüngerer Vergangenheit vermehrt durch Regierungsprogramme in China und Indien gefördert werden. Erfolgreiche staatliche Förderprogramme sind auch aus Nepal und Korea bekannt (Rösch 2000, S. 39).

China

In China bedroht die wachsende Einwohnerzahl bei steigendem Lebensstandart in zunehmendem Maße den Waldbestand, und die Energieversorgung auf dem Land ist gebietsweise von erheblichen Mangelsituationen gekennzeichnet, da hier 60% des Energiebedarfs über biogene Energieträger (meist Stroh oder Brennholz) gedeckt werden müssen.

Nicht zuletzt auch aus umweltpolitischen Überlegungen heraus wird die Biogasproduktion von der chinesischen Regierung seit 1975 gefördert. Doch obwohl die Technologie des Landes in diesem Bereich relativ hoch entwickelt ist, beschränkt sich die Lebensdauer der in diesem Rahmen installierten Anlagen u.a. aus Qualitätsgründen auf nur wenige Jahre. Da kaum beheizbare Fermenter existieren, liegt die Jahresproduktion an Biogas im Norden ca. ein Drittel niedriger als im Süden, und während der kalten Jahreszeiten kommt die Produktion in vielen Gebieten zum Erliegen (Rösch 2000, S. 40 f.).

Indien

Die Situation in Indien gestaltet sich ähnlich, allerdings finden sich hier deutlich bessere Informationen über das Inventar an Biogastechnologie, was u.a. auf die in- und ausländische Förderung in der Vergangenheit zurückzuführen ist (Indien, Kap. III.1.2.1).

Auch in Indien hofft man auf die teilweise Substitution von Brennholz durch Biogas, um die Übernutzung der Waldbestände zu verringern und die Gesundheitsgefahren durch Holzöfen in Innenräumen zu vermeiden. Aus der Tabelle 21 lässt sich entnehmen, dass dies innerhalb der letzten 20 Jahre erfolgreich geschah (Rösch 2000, S. 44). Derzeit wird mit Biogasanlagen ca. 1,5% des Energiebedarfs zum Kochen und Heizen der ländlichen Haushalte gedeckt. Die Biogasanlagen weisen aus einer Vielzahl von technischen und nicht-technischen Gründen (Kap. IV) eine eher geringe Lebensdauer auf (Tab. 22).

Tab. 21: Anzahl der betriebenen Biogasanlagen und Menge an substituiertem Brennholz in Indien

Jahr	*Neuinstallationen*	*kumulierte Anlagen in Betrieb*	*Ersatz an Brennholz (in 1.000 t)*
1981	21.888	13.133	53
1983	89.352	102.797	411
1985	190.222	320.491	1.282
1987	173.659	545.187	2.181
1989	162.241	742.703	2.971
1990	165.710	842.129	3.369
1991	180.573	950.472	3.802
1992	188.527	1.063.589	4.254
1993	215.522	1.192.902	4.772
1994	200.914	1.313.450	5.254
1995	171.000	1.416.050	5.664
1996	139.916	1.500.000	6.000

Quelle: Rösch 2000, S. 44

Tab. 22: Verteilung der Biogasanlagen in Indien nach Alter

Alter in Jahren	*Anteil der Anlagen in Betrieb (in % der Gesamtzahl der Anlagen der jeweiligen Altersgruppe)*
bis 3	92
3 bis 5	85
6 bis 8	81
9 bis 11	73
12 bis 15	61
über 15	52

Quelle: Rösch 2000, S. 45

Technologische Besonderheiten

Im Vergleich zu den Verfahren der Biogaserzeugung in den meisten Industrieländern ergeben sich in den überwiegend tropischen und subtropischen Entwicklungsländern einige **klimatisch bedingte Besonderheiten**, die beim Technologietransfer von Bedeutung sind.

In Regionen mit geringen Niederschlägen beispielsweise kann Wassermangel zu einer Reduktion des Wassergehalts im Gärsubstrat führen, mit negativen Effekten auf dessen Fließeigenschaften und mikrobiellen Abbau. Außerdem verhindert Niederschlagsarmut eine intensive Tierhaltung mit hohem und konzentriertem Dunganfall. Der Anteil an Festmist überwiegt in Entwicklungsländern, da in der Tierhaltung kaum Spaltenböden und Gitterroste eingesetzt werden (Rösch 2000, S. 9 f.).

Sehr hohe Niederschläge hingegen führen zu hohen Grundwasserständen bzw. technischen Problemen und Mehrkosten bei der Konstruktion der im Boden eingelassenen Biogasanlagen, und große Temperaturschwankungen zwischen Tag und Nacht können die Aktivität der Bakterien hemmen (Rösch 2000, S. 10).

Perspektiven

In vielen Entwicklungsländern sind die Potenziale für die Biogasproduktion bei weitem nicht ausgeschöpft. Eine Vielzahl von Gründen sind neben den Kosten dafür verantwortlich.

Das **technische Potenzial** wird in China auf bis zu 145 Mrd. m^3 Biogas pro Jahr geschätzt, was ausreichen würde, um die gesamte gegenwärtige Landbevölkerung mit Energie zum Kochen und Beleuchten zu versorgen. Die Bereitstellung dieser Menge erfordert ca. 200 Mio. Biogasanlagen, woraus sich ein derzeit ungenutztes Potenzial von ca. 97,5 % ergibt. In Indien schätzt man, dass sich die Zahl der vorhandenen Anlagen vervierfachen ließe, und hofft, den jährlichen Zuwachs an Anlagen bis 2007 mindestens zu verdoppeln (Rösch 2000, S. 45).

Allgemein betrachtet sind die Chancen für einen Einsatz deutscher Technologie zur Ausschöpfung des technischen Potenzials im **Kleinanlagenbereich** aber eher gering, da die kleinen Biogasreaktoren bzw. die Techniken zur Nutzung des Biogases (Gasöfen, Gaslampen) von lokalen oder regionalen Unternehmen mit vor Ort verfügbaren Materialien konkurrenzlos einfach und preiswert errichtet bzw. hergestellt werden können.

Deutlich besser sind die Perspektiven bei der **Behandlung stark organisch belasteter Abwässer und biogener Abfälle aus der Nahrungs- und Biorohstoffindustrie**. Da die Entwicklungsländer für diesen Einsatzbereich keine eigenen Techniken entwickelt haben, kann hier Know-how und Technik aus Deutschland vermarktet werden, was ansatzweise bereits praktiziert wird. Die energetische Nutzung organischer Abfälle steckt in den Entwicklungsländern allerdings noch in den Kinderschuhen. Das Beispiel Korea zeigt jedoch, dass mit zunehmender Entwicklung, Spezialisierung und Urbanisierung das Interesse und der Bedarf an größeren kommunalen und industriellen Biogasanlagen und gasbetriebenen Motoren zur Strom- und Wärmebereitstellung steigt (Rösch 2000, S. 4).

TAB

IV. Umsetzungsrestriktionen

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über Faktoren, die den Einsatz von Bioenergieträgern in Entwicklungsländern bestimmen. Grundsätzlich ergeben sich aus diesen Faktoren zwei verschiedene Formen von Hemmnissen, welche die Einführung und Verbreitung neuer Technologien behindern bzw. das Funktionieren von Technologien erschweren können. **Technische Hemmnisse** auf der einen Seite stehen in direktem Zusammenhang mit einer Technologie und ihre Ursache liegt meist in konzeptionellen Mängeln bei der Technologieentwicklung. Unter **nicht-technischen Hemmnissen** hingegen werden Faktoren verstanden, die einem Einsatz entgegenstehen, obwohl eine Technologie existiert, die unter lokalen Bedingungen alle gewünschten Leistungen erbringen könnte. Die in Kapitel III beschriebenen Technologien haben sehr unterschiedliche Eigenschaften, weshalb der allgemeinen eine energieträgerspezifische Betrachtung der Hemmnisse folgt.

1. Bestimmungsfaktoren für Energieeinsatz und neue Energietechnologien

1.1 Bestimmungsfaktoren des Energieeinsatzes

Volkswirtschaftlich betrachtet hängt die Energienutzung stark vom Stand der wirtschaftlichen und technologischen Entwicklung ab. Bis zur ersten Ölkrise wurde allgemein davon ausgegangen, dass sich der Energieverbrauch direkt proportional zur Wohlfahrtssteigerung entwickele. Erst nach der Energiekrise zeigte sich zunehmend, dass dieser Zusammenhang weder direkt proportional noch notwendig ist. Es erfolgte eine Abkopplung der wirtschaftlichen Entwicklung vom Energieverbrauch (Wittmer/Berger 2000, S. 9).

Wird die Haushaltsebene in die Betrachtung mit einbezogen, ergibt sich eine Vielzahl von ökonomischen, ökologischen und soziokulturellen Faktoren, die sowohl die Art als auch den Umfang des Energieverbrauchs beeinflussen (Wittmer/Berger 2000, S. 9 f.).

Ökonomische Faktoren

Zu den ökonomischen Faktoren zählen das individuelle Einkommen, das Volkseinkommen, die Preisverhältnisse und dabei vor allem der Preis für Arbeit verglichen mit dem Energiepreis. Entsprechend diesen Preisverhältnissen sind auch unterschiedliche Technologien dem jeweiligen Stand der volkswirtschaftlichen Entwicklung mehr oder weniger angepasst. Für die Angepasstheit einer Technologie in Entwicklungsländern spielen neben den Preisverhältnissen auch der Ausbildungsstand und die spezifischen Kenntnisse der entsprechenden Techniker eine entscheidende Rolle.

Ökologische Faktoren

Hierzu zählt in erster Linie das Klima, das Raumtemperierung (Heizung, Kühlung) erstrebenswert bzw. notwendig macht. Auch der Energiebedarf für Transport ist zum Teil ökologisch determiniert sowie die Bandbreite und Beschaffenheit der zur Verfügung stehenden biogenen Energieträger.

Soziokulturelle Faktoren

Soziokulturelle Faktoren bestimmen die gesellschaftliche Lebensweise und den individuellen Lebensstil entscheidend mit. So ist etwa die Einstellung zu elektrischen Haushaltsgeräten zwischen Gesellschaften unterschiedlich, und der Wunsch nach höherer Mechanisierung ist keineswegs universal. Bei vergleichbarem Stand der volkswirtschaftlichen Entwicklung war in den dreißiger Jahren z.B. die Ausstattung mit Kühlschränken und Elektroherden in Frankreich deutlich niedriger als in Deutschland oder gar den USA. Innerhalb einer Gesellschaft sind vor allem personale Faktoren wie Alter, Geschlecht, Familienzyklus und der individuelle Lebensstil für eine soziale Differenzierung des Energiebedarfs verantwortlich. So wirkt es sich unmittelbar auf den Energieverbrauch aus, dass das Kochen in Großfamilien anders organisiert ist als in Kleinfamilien oder Einpersonenhaushalten. Entfernungen zwischen Wohn- und Arbeitsort sowie die Art der Freizeitgestaltung bestimmen u.a. den Energiebedarf für den Personentransport.

1.2 Bestimmungsfaktoren für die Verbreitung neuer Technologien

Gerade wenn es um die Einführung und Verbreitung neuer oder weitgehend unbekannter Technologien geht, ist es wichtig, bestimmte Merkmale der Technologie selbst, aber auch des gesellschaftlichen Umfeldes zu berücksichtigen. Diesbezüglich kann u.a. auf eine Reihe von Erfahrungen aus der Entwicklungszusammenarbeit zurückgegriffen werden. Vier verschiedene Faktoren, die entscheidend für die **Akzeptanz und Übernahme von Innovationen** sind, werden im Folgenden kurz vorgestellt (Wittmer/Berger 2000, S. 10 f.).

Wahrgenommene Eigenschaften der Innovation

Zunächst sind fünf Eigenschaften der Innovation selbst zu nennen, und zwar die relative Vorzüglichkeit, Kompatibilität, Komplexität, Erprobbarkeit und Beobachtbarkeit. Ausschlaggebend ist bei allen, wie die Innovation von den potenziellen Übernehmern wahrgenommen wird.

Die **relative Vorzüglichkeit** einer Innovation ist eine mehrdimensionale Eigenschaft. Eine neue Technologie muss nicht nur ökonomisch attraktiv sein, also mehr Ertrag mit dem gleichen Einsatz (bzw. den gleichen Ertrag mit weniger Einsatz) produzieren. Darüber hinaus spielen das Image, die Bedienerfreundlichkeit und die Qualität gegenüber der abzulösenden Technologie eine wichtige Rolle. Der Aufwand für die Umstellung geht ebenfalls in diese Abwägungen mit ein.

Kompatibilität ist sowohl im Hinblick auf die üblichen Arbeitsabläufe, die Verfügbarkeit von Energieträgern, aber auch bei der Beschaffung von Ersatzteilen und der Wartung erforderlich. Eine neue Technologie muss i.d.R. erlauben, die gleichen Endprodukte erstellen zu können wie die zu ersetzende Technologie. Das heißt, ein neuer energieeffizienter Herd, mit dem nicht die gleichen Speisen zubereitet werden können wie auf traditionelle Weise, wird nur schwer zu verbreiten sein. Kompatibilität muss aber auch gewährleistet sein im Hinblick auf das bestehende Normen- und Wertesystem.

Die Einschätzung der potenziellen Anwender(innen), wie leicht oder schwer eine Technologie zu verstehen und anzuwenden ist, kennzeichnet die **Komplexität** dieser Technologie. Je komplexer eine Technologie wahrgenommen wird, desto schwerer fällt ihre Verbreitung. Dies gilt insbesondere im Zusammenhang mit den beiden Eigenschaften der **Erprobbarkeit** und der **Beobachtbarkeit**.

Innovationen, die ohne großen Aufwand erprobt werden können, werden viel eher übernommen als solche mit hohen Anfangsinvestitionen oder langer Anlaufphase. Lässt sich die Funktionsweise einer Innovation in der Nachbarschaft beobachten, nimmt die Notwendigkeit für eigene Erprobungsversuche ab. Die meisten Technologien im Energiebereich zeichnen sich durch eine relativ hohe Beobachtbarkeit aus. Aspekte wie Sicherheit, Zeitersparnis oder Reduzierung des Arbeitsaufwandes sind jedoch nicht unmittelbar ersichtlich und zeigen sich oft erst durch persönliches Ausprobieren.

Art der Übernahmeentscheidung

Im Energiebereich spielen **kollektive Übernahmeentscheidungen** besonders bei der Bereitstellung von Elektrizität eine wichtige Rolle. Viele Anlagen zur Energiebereitstellung (z.B. Stromgeneratoren) sind erst ab einer bestimmten Größe wirtschaftlich, denn je mehr räumlich konzentrierte Haushalte an eine Anlage angeschlossen werden, desto billiger der Betrieb, da sich u.a. die Anschaffungskosten entsprechend auf viele Haushalte verteilen lassen. Mit steigender Anzahl der für die Wirtschaftlichkeit der Anlage nötigen Nutzer erhöhen sich aber auch die Kosten sowie die Komplexität der Entscheidungsfindung, weshalb die Notwendigkeit kollektive Übernahmeentscheidungen ein wichtiges Hemmnis für die Verbreitung von Technologien darstellt.

Individuelle Übernahmeentscheidungen dagegen sind einfacher zu tätigen, da Präferenzen hier klarer strukturiert sind. Doch selbst bei Technologien für einzelne Haushalte (z.B. verbesserte Herde) lassen sich z.B. Wartung und Reparaturen um so leichter organisieren, je stärker die Technologien verbreitet sind. So kann aus einer individuellen Übernahmeentscheidung leicht die Notwendigkeit einer gemeinschaftlichen Entscheidung entstehen.

Veränderungen in der Nutzung von Energieträgern werden oft als private Entscheidungen betrachtet, obwohl sie nur unter der Voraussetzung gemeinschaftlicher Entscheidungen nachhaltig vollzogen werden können. Dies ist zum Beispiel der Fall bei öffentlich genutzten Waldbeständen, wenn Nutzungsrechte unklar oder gar nicht definiert sind, was ebenfalls ein Hemmnis darstellen kann.

Kommunikationskanäle und Zugang zu Informationen

Innovationen werden leichter übernommen, wenn ihre Vorzüge deutlich erkennbar sind. Dies ist um so eher der Fall, je direkter der Zugang zu den relevanten Informationen ist. Eine Biogasanlage, die eine im Dorf geschätzte Persönlichkeit

erfolgreich betreibt, animiert viel eher zur Übernahme als ein Hinweis in einem Radioprogramm. Im Gegensatz zum Landwirtschafts- oder zum Gesundheitssektor ist das Informationsangebot im Energiebereich meist gering. Ebenso sind gut organisierte Beratungsdienste bisher eine Ausnahme. Dementsprechend ist es kaum möglich, die vielerorts existierenden, staatlichen Unterstützungsprogramme in ausreichendem Maße zu kommunizieren.

Projekte, die im Energiebereich tätig sind, müssen deshalb oft erst eigene Informationssysteme aufbauen, und tatsächlich werden gerade im Bereich der neueren Technologien zur Bioenergienutzung die Unsicherheiten aufgrund von unzureichender Information als ein wichtiges Hemmnis zur Verbreitung dieser Technologien angesehen.

Sozialsystem und soziokulturelle Bewertung von Energie

Das Sozialsystem spielt zum einen für die Verbreitung einer Technologie eine entscheidende Rolle und zum anderen für das durch ihre Anwendung erreichbare Sozialprestige. Wie sich Informationen in einer Gesellschaft verbreiten, wird durch das soziokulturelle System bestimmt. Mobilität und Kommunikation zwischen unterschiedlichen Sozialschichten sowie die Glaubwürdigkeit von sog. Experten sind dabei von Bedeutung.

Wenn Innovationen und Veränderungen in einer Gesellschaft grundsätzlich positiv beurteilt werden, kann das soziale Prestige, welches mit neuen Technologien verbunden wird, im Extremfall zu einer sogenannten "Überadoption" führen. Im Gegensatz dazu kommt es vor, dass bestimmte Innovationen aufgrund religiöser und kultureller Werte oder schlechten Erfahrungen in der Vergangenheit eher negativ belegt sind.

Fazit

Technische Hemmnisse sind oft mit nicht-technischen verbunden, da eine Technologie immer in einem bestimmten Kontext nachgefragt wird und deshalb sowohl ökonomisch als auch sozial und kulturell kompatibel sein muss. Diese Kompatibilität lässt sich zum einen durch Anpassung der Technologie (also einer Überwindung von technischen Hemmnissen), vor allem aber durch die optimale Ausgestaltung der entsprechenden Institutionen und Anreizstrukturen (also dem Abbau von nicht-technischen Hemmnissen) erreichen (Kap. IV.4).

2. Nicht-technische Hemmnisse für Bioenergieträger

Entsprechend der Aufteilung von Bestimmungsfaktoren der Nachfrage in ökonomische, ökologische und soziokulturelle Faktoren findet auch die Energieversorgung im Kontext dieser Kategorien statt. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang auch die politische und institutionelle Ausgestaltung der Energieversorgung, weshalb im Folgenden vier Kategorien von nicht-technischen Hemmnissen diskutiert werden. Überschneidungen in gewissen Bereichen lassen sich nicht vermeiden, da beispielsweise im Falle von Subventionen nicht nur ökonomische, sondern auch politische und institutionelle Faktoren eine Rolle spielen.

2.1 Ökonomischer Kontext

Die Entwicklung der Kosten für die Energiebereitstellung in Industrieländern hat über die letzten Jahrzehnte insgesamt zu einer deutlichen Senkung der Energiekosten geführt. Dies liegt daran, dass einerseits die Effizienz bei der Energiebereitstellung stark gestiegen ist und andererseits die Preise für die meisten modernen Energieträger gesunken sind. Gleichzeitig führt die Weiterentwicklung bestimmter Technologien zu Verschiebungen bei der relativen Konkurrenzfähigkeit. So sind z.B. die Kosten für die Elektrizitätsgewinnung aus Gasturbinen und die Kosten von Photovoltaikanlagen stärker gesunken als die anderer Technologien. Für bestimmte Kraftwerkskategorien hat sich aufgrund der Kostenstrukturen der Trend zu großen zentralen Anlagen aufgehoben, was kleine dezentrale Anlagen ökonomisch attraktiver macht (Wittmer/Berger 2000, S. 17 f.).

Die **Kapitalverfügbarkeit** für Energieprojekte, insbesondere für kleinere Projekte von privaten Unternehmern, ist derzeit sehr begrenzt. Die öffentlichen Haushalte in fast allen Entwicklungsländern werden zunehmend gekürzt und können weniger als bisher den Ausbau der Energieinfrastruktur und deren laufenden Kosten decken. Der Ausbau der Energieinfrastruktur ist deshalb zunehmend vom privaten Kapital abhängig, welches aufgrund des beschränkten Zugangs zu Krediten und der mangelhaften Ausgestaltung der Energiepolitik (z.B. Unsicherheit über Preisverläufe) nur unzureichend bereitgestellt wird.

2.1.1 Biofestbrennstoffe

Aus der ökonomischen Perspektive können im Hinblick auf Biofestbrennstoffe drei grundlegende Situationen unterschieden werden (Wittmer/Berger 2000, S. 27):

- Holz, bzw. ein anderer Festbrennstoff, ist nicht knapp, daher ist es wenig rentabel, effizientere Verfahren oder eine Ausdehnung der Produktion anzustreben.
- Holz ist zwar knapp und entsprechende Investitionen wären im Prinzip rentabel, sie sind aber mit großer Unsicherheit verbunden bzw. für den Entscheidungsträger derzeit nicht finanzierbar.
- Holz ist gesamtgesellschaftlich knapp, einzelwirtschaftlich liegen jedoch keine ausreichenden Anreize für Investitionen vor.

Die **Kosten** v.a. für den Energieträger Holz variieren sehr stark. Solange vor allem im ländlichen Raum auf privatem Land oder auf kommunal genutzten, bewaldeten Flächen kostenlos Brennholz zur Verfügung steht, entsprechen die Kosten im Wesentlichen dem Aufwand für die Beschaffung. Mit zunehmender Bevölkerungsdichte, vor allem in den Städten, fallen neben den Kosten zum Sammeln des Holzes Transport- und Vermarktungskosten an. Oftmals wird darum der Bedarf nicht mehr nur aus Nebenprodukten der Holzproduktion gedeckt, sondern Holz wird explizit als Energieträger produziert oder Waldflächen zur Holzkohlenproduktion gerodet. Folglich ist die Holzbereitstellung dann entweder nicht mehr nachhaltig, oder es entstehen auch für Anpflanzung und Pflege der Bäume Kosten, die sich im Preis des Brennholzes widerspiegeln müssen (Wittmer/Berger 2000, S. 27 f.).

Die **Konkurrenzfähigkeit** von Holz im Vergleich mit anderen Energieträgern hängt stark davon ab, ob freier Zugang dazu besteht und welche Arbeits- und Transportkosten entstehen. Studien zeigen, dass der Preis für Holz pro Energieeinheit oft höher liegt als für moderne Energieträger, sobald Holz nicht mehr als Nebenprodukt anfällt, sondern über den Markt zugekauft werden muss. Dennoch sind viele Haushalte auf den Einsatz von Holz angewiesen, da sie keinen Zugang zu modernen Energieträgern haben, entweder weil diese lokal nicht verfügbar oder weil sie mit zu hohen Initialkosten (für den Anschluss an die Energieversorgung bzw. für neue Geräte) verbunden sind (Wittmer/Berger 2000, S. 28).

Projekte zur Förderung der Brennholznutzung werden v.a. im Haushaltsbereich als vergleichsweise kostengünstig eingeschätzt (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 129). Der Grund für das Scheitern zahlreicher Projekte zur Einführung

verbesserter Herde oder zur Umstellung auf andere Energieträger ist die Tatsache, dass holzsparende Technologien an Orten angeboten wurden, an denen Holz nicht knapp und damit relativ billig war. Ein finanzieller Mehraufwand zur Einsparung von Brennholz erschien daher aus Sicht vieler Nutzer(innen) nicht gerechtfertigt. Jede Aktivität zur Verbreitung neuer Technologien bedarf deshalb einer genauen Analyse der Preisverhältnisse vor Ort, denn allein die Tatsache, dass Holz gesamtwirtschaftlich knapp ist, reicht als Anreiz zu individuellen Investitionen nicht aus. Die größten Erfolge erzielten Projekte zur Einführung verbesserter Herde in Gegenden, in denen die meisten Haushalte Brennholz kaufen. Unter solchen Bedingungen rechnen sich bereits relativ geringe Einsparungen in kurzer Zeit, so dass die Periode, in der sich die Anschaffung rentiert, für den Haushalt überschaubar wird (Wittmer/Berger 2000, S. 28).

Die **Finanzierung** einer Investition kann selbst dann, wenn die Gesamtinvestition ökonomisch mit anderen Systemen zur Energiebereitstellung konkurrenzfähig ist, ein weiteres Hemmnis darstellen. Innovationen wie verbesserte Herde, Öfen oder andere Anlagen zur Energiebereitstellung bedingen erst einmal Anschaffungskosten, um dann mittel- und langfristig niedrigere Verbrauchskosten zu ermöglichen. Selbst wenn den Entscheidungsträgern das Einsparpotenzial bewusst ist, verfügen die meisten Haushalte und viele Gewerbebetriebe in Entwicklungsländern weder über das notwendige Startkapital noch über Zugangsmöglichkeiten zu entsprechenden Krediten. Ebenso kann die Finanzierung für die Ausdehnung der Holzproduktion ein Problem darstellen, da die Erträge erst einige Jahre später entstehen.

Ein weiterer Faktor ist die **Unsicherheit der Investition**, da Holzanpflanzungen mit Risiken (z.B. Schädlinge, Brand, Diebstahl) behaftet sind. Bei Technologien zur Stromerzeugung kommen das Risiko der Energiepreisentwicklung und eventuelle Änderungen der Reglementierung der Einspeisung hinzu (Wittmer/Berger 2000, S. 29).

2.1.2 Pflanzenöl und andere Biotreibstoffe

Auf umfassende Analysen der energetischen Nutzung von Pflanzenölen hinsichtlich technischer und nicht-technischer Umsetzungsrestriktionen kann nicht zurückgegriffen werden, da Treibstoffe auf Pflanzenölbasis bisher kaum im großen Stil eingesetzt wurden. In diesem Kapitel wird deshalb wiederholt auf die Erfahrungen Brasiliens mit dem Pro-Alkohol-Programm eingegangen

(Fallbeispiel 1). Diese Erfahrungen sind zwar nicht direkt auf Pflanzenöl als Energieträger übertragbar, jedoch kann von einigen grundsätzlichen Gemeinsamkeiten ausgegangen werden.

Fallbeispiel 1: Brasiliens Pro-Alkohol-Programm

1975 führte Brasilien ein breit angelegtes **Programm zur Biotreibstoffproduktion auf der Basis von Zuckerrohr** ein. Zunächst wurde die Produktion stark subventioniert. Der erhebliche technische Fortschritt von etwa 4 % pro Jahr erlaubte es, die Subventionen sukzessive zu reduzieren und Anfang 1999 zumindest im Süden Brasiliens, wo ein Großteil des Ethanols zum Einsatz kommt, ganz aufzuheben. Weiterhin gelten jedoch Steuervorteile für ethanolbetriebene Fahrzeuge, und die Beimischung des Ethanols zum so genannten Gasohol ist gesetzlich geregelt.

Vorteile des Programms sind die erheblichen Devisenersparnisse, die vor allem während Zeiten unausgeglichener Handelsbilanzen in den achtziger Jahren von Bedeutung waren. Unbestritten sind die ökologischen Vorteile, vor allem eine signifikante Reduzierung der Luftverschmutzung (weniger CO, HC und Schwefelverbindungen) in den großen Städten. Es wird geschätzt, dass der gesamte CO_2-Ausstoss von Brasiliens Verkehr um etwa 18 % reduziert werden konnte. Hinzu kommt die Schaffung von knapp einer Million Arbeitsplätzen. Ökonomisch konkurrieren kann Gasohol bei Erdölpreisen ab etwa 31 US $/Barrel, Ethanol ab etwa 38 US $ (Walter/Cortez 1999, S. 4). Es wird geschätzt, dass derzeit noch weitere Produktivitätspotenziale durch eine Kogeneration von Elektrizität auf Bagasse-Basis mit CEST (Condensing Extraction Steam Turbine) bestehen. Mit der Einführung der BIG/GT (Biomass Integrated Gasifier/Gas Turbine) Technologien sowie durch Änderung der Erntetechnik könnten weitere Potenziale erschlossen werden.

Bislang liegen die **Kosten** praktisch aller Biotreibstoffe über denen von fossilen Treibstoffen. Nicht nur Pflanzenöl, sondern auch Ethanol auf der Basis von Zuckerrohr kann bei steigenden Ölpreisen und im zweiten Fall bei gleichzeitiger Elektrizitätsgewinnung aus den Zuckerrohrabfällen ökonomisch konkurrenzfähig werden. Hinzu kommen die Umstellungskosten für die Verteilung der Treibstoffe, wobei diese im Fall von Ethanolgemisch weitaus geringer sind als bei rein ethanolbetriebenen Fahrzeugen, da die Verwendung von Gemischen auch bei den meisten herkömmlichen Motoren möglich ist. Die meisten Zukunfts-

szenarien für die energetische Nutzung von Pflanzenöl sind auf der Basis von Pilotprojekten berechnet worden und berücksichtigen nicht, dass einem Einsatz im großen Stil vielerorts die Knappheit von Land und Arbeitskräften entgegensteht.

Technisch noch in der Entwicklung begriffen ist die Alkoholgewinnung auf der Basis von Holz, zum Teil unter Einsatz von Mikroorganismen. Diese Verfahren scheinen wesentlich höhere Produktivitäten zu ermöglichen als die derzeitigen Verfahren auf der Basis von Zucker, Mais oder Hirse. Dennoch zeichnet sich ab, dass wasserstoffbetriebene Motoren eine weitaus höhere Effizienz erreichen können als alkoholbetriebene. Langfristig scheinen die meisten Autoren daher einer Umstellung auf wasserstoffbetriebene Motoren die besseren Chancen einzuräumen. Welche Rolle biomassebasierte Gewinnung von Wasserstoff spielen wird und wie konkurrenzfähig diese Art der Gewinnung z.B. im Vergleich zur Erdgasnutzung oder zu Photovoltaik ist, lässt sich bislang noch nicht klar abschätzen (Wittmer/Berger 2000, S. 46).

2.1.3 Biogas

Die Verbreitung von Biogasanlagen trifft auf ähnliche Hemmnisse wie der verstärkte Einsatz von Festbrennstoffen. Die lokalen Gegebenheiten, unter denen sich eine Biogasanlage lohnt, sind aber weitaus spezifischer. Sowohl **Kosten** als auch Nutzen einer Biogasanlage sind komplexer als im Fall von Holzeinsatz (Kap. III.3). Daher sind Biogasanlagen in erster Linie für reichere Haushalte und Betriebe interessant, die über das für die Investition benötigte Kapital oder den Zugang zu entsprechenden Krediten verfügen. Im Rahmen eines Betriebes lassen sich zudem spezielle Arbeiten besser organisieren, und die Verstromung von Biogas in größeren Anlagen kann eine zusätzliche Einnahmequelle aus der Überschussproduktion bedeuten (Wittmer/Berger 2000, S. 42).

Es kann keine eindeutige Einschätzung zum Einsatz von **Subventionen zur Förderung der Biogastechnologie** gegeben werden, da gleichermaßen negative und positive Erfahrungen aus der Praxis existieren. Wie in anderen Bereichen muss im Energiebereich von Fall zu Fall die Armutssituation der potenziellen Nutzer(innen) gegen die oftmals preisverzerrende Wirkung von Subventionen abgewogen bzw. es muss nach optimalen Fördermechanismen gesucht werden. Als ein Fallbeispiel wird im Folgenden die erfolgreiche Förderung durch Subventionen in Nepal dargestellt (Wittmer/Berger 2000, S. 42).

Fallbeispiel 2: Biogas in Nepal

Ein gutes Beispiel für die erfolgreiche Förderung von Biogasanlagen stellt das **Biogas Support Programme** in Nepal dar. Ein wichtiger Ansatzpunkt der staatlichen Förderung war die Unterstützung der Hersteller. In der ersten Phase des Programms wurden Biogasanlagen mit 35 % der Produktionskosten subventioniert. Die Hersteller müssen allerdings strenge Qualitäts- und Servicenormen erfüllen, um Subventionen erhalten zu können. Zu Beginn des Programms gab es nur einen staatlichen Anbieter von Biogasanlagen, inzwischen sind 38 private Unternehmen hinzugekommen. Die Kosten der Anlagen konnten bei verbesserter Qualität seit 1992 um 30 % gesenkt werden. Bis 1999 sind 40.000 Anlagen in privaten Haushalten installiert worden; Ziel bis Mitte 2003 sind weitere 100.000 Anlagen. Bis zu diesem Zeitpunkt sollen auch die Subventionen abgebaut werden. Vor Beginn des Programms gab es 6.000 Anlagen in Nepal.

2.2 Politischer und institutioneller Kontext

Eines der wichtigsten politisch bedingten Hemmnisse der Ausbreitung von Bioenergieträgern in Entwicklungsländern sind die noch immer weitverbreiteten **Subventionen** für andere, meist fossile Energieträger. Die Subventionspolitik beeinflusst zum einen unmittelbar die Konkurrenzfähigkeit der unterschiedlichen Energieträger untereinander, lenkt aber andererseits auch die Forschung und Entwicklung im Energiebereich, die für die langfristige Konkurrenzfähigkeit verantwortlich ist (Fallbeispiel 3). Daneben kann die Politik durch Förderprogramme und Investitionshilfen direkte Akzente setzen, was im Bereich der Bioenergieträger bisher nur in geringem Umfang geschah.

Ein weiteres wichtiges Feld ist die **Umweltpolitik**. Das Energieversorgungssystem ist ein wichtiger Verursacher von Umweltbelastungen, vor allem der Luftverschmutzung. Bisher spiegeln sich die Kosten dieser Belastung kaum in den Produktionskosten der Verursacher wider, weshalb zunehmend gesetzliche Auflagen zur Internalisierung dieser sog. externen Kosten erwogen werden. Solche Maßnahmen verbessern die relative Konkurrenzfähigkeit von Bioenergieträgern, deren Netto-CO_2-Emissionen gering und deren Luftverschmutzung bei optimierten Verfahren deutlich reduziert werden kann (Wittmer/Berger 2000, S. 19 f.).

Fallbeispiel 3: Rückwirkungen von Energiesubventionen in Indien

Am Beispiel von Indien (Reddy 1981 u. 1993) kann illustriert werden, wie Änderungen im Preis eines Energieträgers auf das gesamte Energiesystem zurückwirken. Zu Zeiten hoher Ölpreise hat Indien immer wieder erhebliche Anteile seiner Deviseneinnahmen für Öl ausgeben müssen. Ein wesentlicher Ölverbraucher in Form von stark subventioniertem Diesel ist der Transportsektor, insbesondere der Langstreckentransport von Gütern. Ein Abbau der Dieselsubvention würde voraussichtlich die ökonomisch wie ökologisch sinnvolle Verlagerung eines erheblichen Anteils des Gütertransportes auf die Eisenbahn bewirken können. Dieselpreiserhöhungen würden jedoch unter dem derzeitigen Preisgefüge zu Kerosinknappheiten führen, da das ebenfalls stark subventionierte Kerosin dem Diesel beigemischt werden kann. Kerosin ist jedoch für ärmere, nicht an das Elektrizitätsnetz angeschlossene Haushalte der Hauptenergieträger für Beleuchtung und ein wichtiger Energieträger zum Kochen.

Auch die **Regulierung des Energiemarktes** sowie die **Organisationen und Institutionen** im Energiesektor spielen eine wichtige Rolle. In der Vergangenheit waren die Energiemärkte in hohem Maße staatlich reguliert. Die Energiebereitstellung erfolgte in der Regel durch Monopolbetriebe, da sich die Bereitstellung von Energie mit Hilfe großer Anlagen in dieser Form besser organisieren ließ. Der Preis für Nutzenergie wurde aber in vielen Gebieten reguliert, um armen Bevölkerungsschichten den Zugang zu Energie zu ermöglichen. Eine Folge der Regulierung war, dass die Energieversorgungsunternehmen kaum die bestehenden Netze instand halten bzw. Rücklagen für notwendige Investitionen bilden konnten. Dies wird als einer der wichtigsten Gründe für die oftmals unzureichende Energieversorgung genannt (Wittmer/Berger 2000, S. 20).

Der derzeitige Trend, insbesondere in der Elektrizitätserzeugung, ehemals bestehende regionale Monopole aufzuheben, eröffnet jedoch zunehmend neue Möglichkeiten für unabhängige Betreiber. Hier muss besonders auf die institutionelle Ausgestaltung der neu entstehenden Märkte (z.B. für Energieübertragungsrechte) geachtet werden (Wittmer/Berger 2000, S. 21).

2.2.1 Biofestbrennstoffe

Hemmnisse im Bereich der politischen oder institutionellen Ausgestaltung ergeben sich für den verbesserten Einsatz von Festbrennstoffen vor allem durch institutionelle Zuständigkeiten, durch die Ausgestaltung der Zugangs- bzw. Nutzungsrechte und im Bereich der Informationsbereitstellung.

Bioenergieprojekte betreffen immer mehrere Sektoren, woraus sich typischerweise **Koordinationsprobleme** zwischen den zuständigen Organisationen für die Energiebereitstellung und den zuständigen Organisationen in der Land- und Forstwirtschaft ergeben. Diese Abstimmung wird zusätzlich dadurch erschwert, dass oft kaum Daten über Produktion und Verbrauch von Bioenergieträgern und über den Bedarf der Nutzer vorhanden sind. In den seltensten Fällen findet sich die erforderliche Kompetenz, die sowohl die Besonderheiten des Energieversorgungssystems als auch die Kenntnisse für eine verbesserte Bereitstellung des Rohstoffs abdeckt. In der Planung wird die Energienutzung von Holz eher als marginaler Sektor betrachtet, eine Einschätzung, die oft nicht der Bedeutung entspricht, die dieser Energieträger tatsächlich hat (Wittmer/Berger 2000, S. 30 f.).

Sowohl bei Maßnahmen zur Ausweitung des Angebots an Brennholz als auch bei Projekten zur Elektrizitätserstellung ist die **behördliche Zuständigkeit** von entscheidender Bedeutung. Forstrechte liegen in vielen Ländern weiterhin bei der staatlichen Forstverwaltung, deren primäres Interesse in der kommerziellen Holznutzung oder der Erhaltung der Wälder, aber selten in der Förderung der Holzproduktion zur Energienutzung liegt. Wie diese Ziele gewichtet sind, hängt ab vom Anteil an Wald, der noch erhalten ist. Die Erhaltung der Wälder spielt mit abnehmender Waldfläche eine zunehmend wichtigere Rolle. Wie eine nachhaltige Erstellung von Holz gewährleistet werden kann, muss im Einzelfall geprüft werden. Ganz allgemein gilt jedoch, dass der politisch-institutionellen Ausgestaltung ein großes Gewicht beigemessen werden sollte (Wittmer/Berger 2000, S. 31).

Viele Projekte, z.B. zur Einführung von verbesserten Herden, werden von **Nichtregierungsorganisationen** getragen, die oft sowohl räumlich als auch zeitlich nur einen begrenzten Bereich abdecken. Viele dieser Projekte scheitern daran, dass sie nicht langfristig genug angelegt werden (Wittmer/Berger 2000, S. 31).

Insbesondere eine Ausdehnung des Holzangebots oder der Aufbau von zusätzlichen Elektrizitätswerken wird vielfach durch unklare oder restriktive Zugangs- und Nutzungsrechte erschwert. In vielen Ländern ist eine Einspeisung ins Netz entweder gar nicht oder nur unter restriktiven Regelungen möglich.

Beispielsweise setzen Verträge mit der Energieversorgungsgesellschaft in Indonesien voraus, dass Strom mindestens 10 Monate im Jahr eingespeist wird. Diese Option entfällt somit für viele Agrarverarbeitungsbetriebe, wo entsprechende Ernterückstände und Nebenprodukte nur saisonal anfallen. In ähnlicher Weise ist die Brennholzvermarktung in einigen Ländern erschwert, etwa weil Lizenzen erworben werden müssen (Wittmer/Berger 2000, S. 32).

Ein weiteres wichtiges Hemmnis ist die mangelnde Verfügbarkeit bzw. Verbreitung von **Information**. Die Informationserhebung, bezogen auf den Forstsektor, ist oft sehr begrenzt. Angaben über Handelsmengen oder Preise und technische Informationen sind in den meisten Ländern nicht verfügbar und Kenntnisse im Bereich von Bioenergie sind kaum vorhanden. Von 16 asiatischen Ländern, die in einer Studie der FAO untersucht wurden, haben lediglich Pakistan und die Philippinen jetzt Holzenergienutzung in ihre Lehrprogramme aufgenommen. Entsprechend können die Beratungsdienste vor Ort wenig zur Verbesserung der Bioenergienutzung beitragen. Dieser Tatbestand erschwert insbesondere die Ausdehnung der Stromerzeugung auf Biomassebasis, aber auch die Planung von Projekten zur effizienteren Nutzung oder zur Verbesserung des Holzangebotes (Wittmer/Berger 2000, S. 33).

2.2.2 Pflanzenöl und andere Biotreibstoffe

Biotreibstoffe sind politisch aus zwei Gründen attraktiv: Zum einen wegen der Möglichkeit, teure Ölimporte zu ersetzen, und zum anderen als zusätzliche Einkommensquelle für die Landwirtschaft. Die derzeit angebotenen Biotreibstoffe sind sämtlich politisch gefördert. Diese aus Sicht entsprechender Anbieter derzeit vorteilhafte Situation bedeutet allerdings zugleich eine nicht unerhebliche Unsicherheit. In dem Moment, wo die politischen Fördermaßnahmen entfallen, ist die ökonomische Tragfähigkeit der Projekte in Frage gestellt (Wittmer/Berger 2000, S. 46). Politische und institutionelle Hemmnisse bei der Nutzung von Biotreibstoffen sind kaum erforscht, da sie bisher nur in wenigen Ländern wirtschaftlich von Bedeutung sind (z.B. in Brasilien) und auch dort erst seit wenigen Jahren eine Rolle spielen.

Bei der Pflanzenölproduktion spielen politische Rahmenbedingungen v.a. bei der Landnutzung eine Rolle. Der **Preis für Ackerland** ist dabei ein entscheidender Faktor für den wirtschaftlichen Umgang mit dieser Ressource. Trotzdem wird Land oft sehr preisgünstig zugunsten regionaler Entwicklung angeboten und damit das Ziel der nachhaltigen Entwicklung verfehlt.

Neben der Infrastruktur und der Verfügbarkeit von Arbeitskräften ist weiterhin die **soziale Stabilität** wichtig. Das Beispiel Indonesiens im Jahre 1997 zeigte, dass soziale Instabilität zu drastischen Investitionsrückgängen führt. In Indonesien ist die Möglichkeit, neue Landtitel zu erhalten, mitunter davon abhängig, ob das schon zugesprochene Land bewirtschaftet wird. Daher werden oft weite Landstriche im Schnellverfahren bepflanzt, ohne dass die Qualitätsstandards eingehalten werden (Sauerborn et al. 2000, S. 62).

2.2.3 Biogas

Ähnlich wie bei den Biofestbrennstoffen lässt sich die Biogastechnologie nicht eindeutig einem Sektor bzw. einem Ministerium zuordnen. Entsprechende **Zuständigkeiten** und Beratungsdienste mussten in den jeweiligen Ländern erst geschaffen werden, was jedoch in weit größerem Ausmaß als im Falle anderer Biomassetechnologien geschah.

Auffallend sind die zwischen ländlichen Haushalten und Biogas-Programmen weiterhin bestehenden **Informationsdefizite**. Selbst wenn erprobte Anlagenkonzepte und entsprechendes technisches Wissen vorhanden sind, verfügt ein erheblicher Anteil der Nutzer(innen) weder über ausreichende Kenntnisse noch über entsprechende Ansprechpartner für Probleme beim Betreiben der Anlagen. Dieser Tatbestand ist einer der wichtigsten Gründe, die für die hohe Misserfolgsrate beim Betrieb der Anlagen und eine dadurch bedingte Ablehnung der Biogastechnologie in den betreffenden Gruppen angeführt werden. Für neue Projekte in diesem Bereich ist es daher besonders wichtig, die jeweilige lokale Vorgeschichte der Technologie zu berücksichtigen (Wittmer/Berger 2000, S. 42 f.).

2.3 Ökologischer Kontext

Der ökologische Kontext der Bioenergienutzung variiert stark, sowohl regional als auch bezogen auf die Art der Anwendung des eingesetzten Bioenergieträgers. Insgesamt hängt die ökologische Bilanz vor allem von eventuellen Nutzungskonflikten sowie von den ökologischen Kosten einer energetischen Biomassenutzung ab (z.B. beeinflusst die Trockenlegung von Mooren zur Bereitstellung von Nutzfläche die ökologische Bilanz negativ). **Nutzungskonflikte** können mit Bezug auf die benötigten Flächen entstehen, z.B. mit der Landwirtschaft, mit der Expansion der Städte bzw. mit der Erhaltung von Waldflächen, zum

Schutz von Ökosystemen oder der Artenvielfalt. Je höher der Bevölkerungsdruck und die Ansprüche anderer Nutzungen der Fläche, desto stärker wird die Ausdehnung der Bioenergienutzung aufgrund ihres hohen Flächenbedarfs in Frage gestellt.

Die **ökologische Bilanz** ergibt sich zum einen durch die energetische Nutzung der Biomasse und zum anderen durch den Ersatz des bisherigen Energieträgers für die erbrachte Energieleistung. Die Verwertung von Exkrementen aus der Tierproduktion zu Biogas zum Beispiel leistet auf beiden Seiten einen positiven Beitrag, da sowohl Klimagasemissionen aus dem unverwerteten Dung vermieden werden als auch die CO_2-Belastung durch fossile Energieträger reduziert werden kann (Wittmer/Berger 2000, S. 21).

2.3.1 Biofestbrennstoffe

Das wichtigste ökologische Hindernis zur Ausdehnung des Holzeinsatzes als Energieträger stellt die nachhaltige Bereitstellung von Holz dar. Grundsätzlich gibt es vier Möglichkeiten, Holz zu entnehmen bzw. zu produzieren: Aus Primärwäldern, von forstlich genutzten Flächen, von landwirtschaftlich genutzten Flächen oder von degradierten Flächen. Sowohl in Primärwäldern als auch in der Umgebung der Städte nimmt der Waldbestand deutlich ab. Der Anteil der Brennholznutzung als Ursache dieser Entwicklung ist dabei vergleichsweise gering. Die Abholzung und Umwandlung des Landes von einer extensiven forstlichen Nutzung zu landwirtschaftlichen oder städtischen Alternativen wird oft durch andere Faktoren wie den zunehmenden Flächenbedarf der landwirtschaftlichen Produktion oder die Urbanisierung vorangetrieben. Einen erheblichen Beitrag zur Abholzung leistet in manchen afrikanischen Ländern die Holzkohleproduktion. Die Ursachen für diese Problematik sind vor allem institutioneller Natur. Entwickelte Märkte und klare Eigentumsrechte an Waldflächen (ob individuell oder kommunal) scheinen die Erhaltung und Nutzung von Wald bzw. Baumbeständen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen zu begünstigen. Die lokale Bevölkerung zerstört ihre eigenen Ressourcen in weit geringerem Maße, als Fremde dies tun.

Ein wichtiges Problem bei Nichtholzbrennstoffen wie Dung und Ernteresten ist die Konkurrenz mit der Nutzung als Dünger für Bodenstruktur und -fruchtbarkeit vor allem in Gegenden, wo keine oder nur gering chemische Düngung erfolgt (Wittmer/Berger 2000, S. 34 f.).

2.3.2 Pflanzenöl und andere Biotreibstoffe

Die Beimischung von Ethanol oder Methanol zum Kraftstoff reduziert den Schadstoffausstoß insbesondere von Fahrzeugmotoren, wobei die Potenziale heute niedriger eingeschätzt werden als früher angenommen. Die **Energiebilanz** von Pflanzenölen wird vielfach als kritisch eingeschätzt, denn das Verhältnis von eingesetzter zu gewonnener Energie ist noch relativ eng. Durch eine Ausdehnung der Produktion droht dieses Verhältnis noch knapper zu werden, da die Erschließung neuer Flächen oft mit hohen Emissionen verbunden ist (Kap. V.1.2.2). Die Energiebilanz von Pflanzenölen ist stark abhängig vom Energieaufwand für Anbau, Ernte und Verarbeitung sowie von der Art der Düngemittel. Zusätzlich hängen die Berechnungsergebnisse davon ab, welche Verwendung der Nebenprodukte (z.B. Ölkuchen als Viehfutter) in der Energiebilanz berücksichtigt wird. Bei der Ethanolgewinnung entstehen darüber hinaus viele Rückstände, die toxisch sind. Auch hier scheinen in der Erprobung befindliche Systeme auf der Basis von Holz ein gewisses Verbesserungspotenzial zu bieten, da sie eine günstigere Energiebilanz aufweisen und weniger toxische Abfallprodukte entstehen (Wittmer/Berger 2000, S. 47).

In vielen Ländern sind der Ausdehnung der Pflanzenölproduktion v.a. durch die Land- und Wasserverfügbarkeit Grenzen gesetzt. Die Konkurrenz mit der Nahrungsmittelproduktion stellt eine energetische Nutzung in Frage (Kap. III.2.4). Selbst bei Flächen, die nur für forstliche Nutzung geeignet sind, wird sich langfristig eine ähnliche Situation ergeben. Durch die Verknappung der Erdölvorräte wird Holz mittelfristig auch andere Anwendungen von Erdölderivaten etwa im Baubereich ersetzen müssen (z.B. Dämmstoffe u.ä.). In gleicher Weise werden pflanzliche Öle einen Teil der Verwendungen von Erdöl im industriellen Bereich substituieren (Wittmer/Berger 2000, S. 47).

2.3.3 Biogas

Außer wenn es zum Entweichen von Methangas aus undichten Gasbehältern kommt, ist die ökologische Belastung durch Biogasanlagen gering. Die ökologische Bilanz ist äußerst positiv, da Methanemissionen aus dem natürlichen Abbau von organischen Abfällen vermieden und andere Energieträger ersetzt werden können.

Ökologische Hemmnisse ergeben sich regional für den Betrieb bestimmter Anlagen, da der Prozess der Gasproduktion stark temperaturabhängig ist und

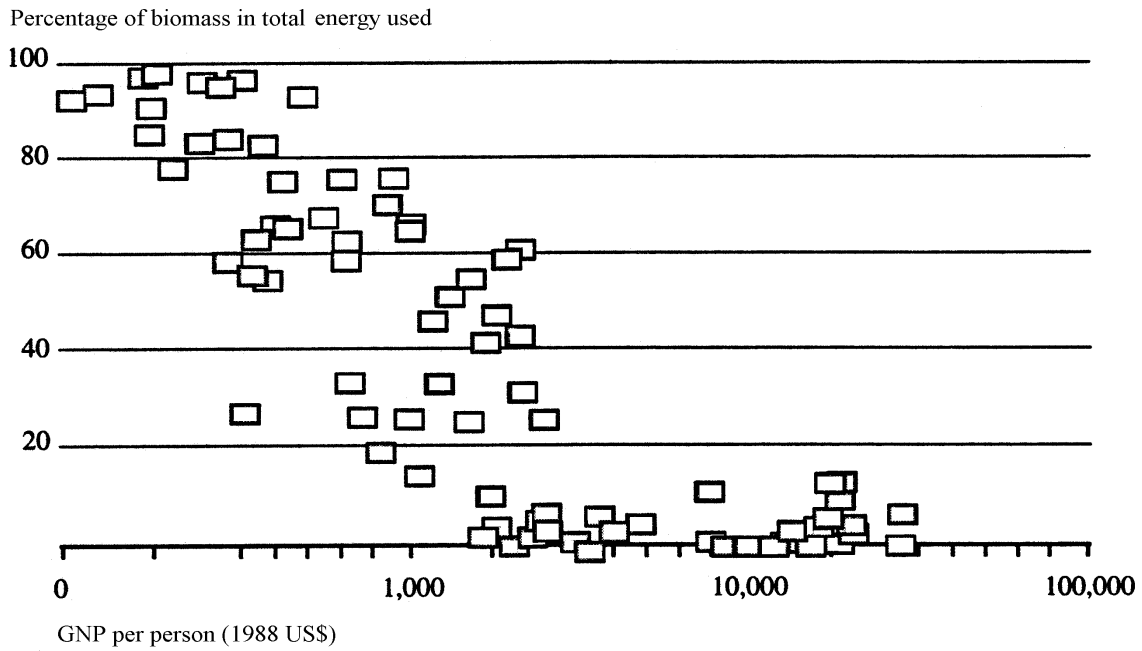
an kühlen Standorten nur sehr langsam erfolgt. Ebenso wird zum Betreiben einer Biogasanlage relativ viel Wasser benötigt, was den wirtschaftlichen Betrieb zusätzlich regional eingrenzt. Diese **ökologischen Grenzen** können zwar in einem gewissen Umfang durch technische Maßnahmen (z.B. der Gärbehälter kann beheizt werden) verschoben werden, was aber eventuell den Anlagenbetrieb dann unrentabel machen kann (Wittmer/Berger 2000, S. 43).

2.4 Soziokultureller Kontext

Ein wichtiges soziokulturelles Kriterium für den Einsatz biogener Energieträger ist das mit ihnen verbundene **Sozialprestige**. Den traditionellen Anwendungen von Bioenergieträgern wird in der Regel ein geringeres Sozialprestige beigemessen als der Verwendung von fossilen Energieträgern, weshalb bei steigendem Wohlstand immer weniger Bioenergieträger direkt genutzt werden (Abb. 10). Nicht betroffen von dieser Bewertung sind die "modernen" Anwendungen, in denen Bioenergieträger nicht direkt genutzt, sondern verstromt werden (z.B. Gas-Turbinen-Systeme und Kraft-Wärme-Kopplung; Kap. III.1.2.2).

Die Unterschiede im Energieverbrauch verschiedener Kulturen und auch zwischen den sozialen Schichten einer Kultur sind gerade in Entwicklungsländern besonders hoch, was u.a. in der Bauart der Häuser und der Ausstattung mit Geräten begründet ist. Ein weiteres Beispiel für den starken Einfluss **kultureller Faktoren** stellen die Kochgewohnheiten dar. Kommt es zu Änderungen in den Konsum- oder Arbeitsgewohnheiten, wirkt sich das in besonderem Maße auf den Energieverbrauch aus (z.B. steigender Verzehr außer Haus, mehr kalte Mahlzeiten, höhere Diversität der Speisen und neue Technologien bei der Essenszubereitung etc.). Im Hinblick auf die verwendeten Energieträger bedeutet dies zumeist eine erhöhte Anforderung an die Flexibilität im Einsatz, die bei Bioenergieträgern mit traditionellen Technologien weit weniger gegeben ist als bei modernen Energieträgern.

Abb. 10: Biomasseverbrauch in Abhängigkeit des Pro-Kopfeinkommens in 80 Ländern



Quelle: World Bank 1996, S. 3, nach Wittmer/Berger 2000, S. 15

Die zunehmende Nutzerorientierung und Entscheidungsfreiheit in deregulierten Wirtschaftssystemen bedeutet, dass dem **Zugang zu Information** eine besondere Rolle zukommt. Da vor allem arme und ländliche Haushalte mit geringem Bildungsniveau Bioenergieträger nutzen, setzen Innovationen im Bioenergiebereich eine entsprechende Kommunikation mit dieser Bevölkerungsschicht voraus.

Die Arbeitsteilung zwischen den Geschlechtern ist ebenfalls ein soziokultureller Faktor mit Einfluss auf den Energiebereich, da **Frauen die Hauptnutzerinnen von Energie im Haushaltssektor vieler Entwicklungsländer** sind. Ebenso haben viele Einkommensaktivitäten von Frauen, wie etwa die Verarbeitung von Agrarprodukten oder Dienstleistungen, einen hohen Energiebedarf. Dementsprechend sind Frauen und Kinder oft einer nicht unerheblichen Unfallgefahr und großen gesundheitlichen Belastungen ausgesetzt (Wittmer/Berger 2000, S. 21 f.).

2.4.1 Biofestbrennstoffe

Bei der Einführung neuer Technologien (z.B. verbesserte Herde oder Solarkocher) sind **in der Vergangenheit viele technische Probleme** aufgetreten. Solche Erfahrungen haben zu einem eher negativen Image dieser Technologien geführt, welches in vielen Regionen nur mit Mühe wieder revidiert werden kann. Selbst wenn Herde technisch gut funktioniert haben, waren sie oftmals "kulturell" nicht angepasst. Beispielsweise erforderte die Handhabung spezielle Kenntnisse bzw. Fertigkeiten, oder es fiel schwer, Gerichte auf traditionelle Art zuzubereiten. Zudem erfüllten die neuen Geräte nur einen Teil der Funktionen (z.B. wo die Abwärme der Herde zum Heizen oder der Rauch zur Insektenbekämpfung genutzt werden sollte). Bei der Entwicklung neuer Technologien oder Verfahren ist es wichtig, diese Erfahrungen zu beachten. Die besten Chancen auf Verbreitung hat ein verbesserter Herd, wenn er auch für das Prestige der Nutzer(innen) erstrebenswert ist.

Die Bedingungen für die Verbreitung von Technologien sind von Land zu Land verschieden, weshalb kaum allgemeine Aussagen im soziokulturellen Bereich gemacht werden können. Zum Beispiel fiel es in Mali relativ leicht, die Herdhersteller zu organisieren und weiterzubilden, da die Sozialstruktur, eine Art Kastenwesen, solche Organisationsprozesse begünstigt. **In anderen Fällen kann die Sozialstruktur hinderlich sein**, etwa weil die Weiterbildung von Frauen außer Haus in islamischen Ländern erschwert ist. Daneben stellen natürlich auch Eigenschaften wie die Organisations- und Innovationsfähigkeit des Kleingewerbes Faktoren für den Erfolg oder Misserfolg einer bestimmten Verbesserungsstrategie dar (Wittmer/Berger 2000, S. 36).

2.4.2 Pflanzenöl und andere Biotreibstoffe

Beim Einsatz von Technologien in diesem Bereich treten vergleichsweise wenig spezifische Hemmnisse auf, da die Anwendungen denen von fossilen Energieträgern gleichen (Kap. III.2.2). Bei einer Ausdehnung der Produktion von Biotreibstoffen darf der **Bedarf an Arbeitskräften** in der Land- bzw. Forstwirtschaft jedoch nicht unterschätzt werden. Langfristig kann die wirtschaftliche Entwicklung im Industriebereich vieler Entwicklungsländer zu einem Mangel an Arbeitskräften in der Landwirtschaft führen. Derzeit wäre jedoch eine Ausweitung der Arbeitskraftnachfrage z.B. in der Palmölproduktion eher positiv zu beurteilen (Wittmer/Berger 2000, S. 47).

2.4.3 Biogas

Die Verwendung von Gas beim Kochen ist angenehmer und einfacher als die Verwendung von Holz oder gar Stroh und Dung. Die **Umstellung auf Kochen mit Gas** erfolgt daher verhältnismäßig problemlos. Hindernisse haben sich in der Vergangenheit vor allem beim Betreiben der Anlagen zur Biogaserzeugung ergeben, da durch die Biogastechnologie auf der Anwendungsebene ein vollkommen neuer Prozess eingeführt wurde. Anders als bei Geräten für die traditionelle Nutzung von Biomasse wurden die Nutzer(innen) mit unbekannten Arbeitsabläufen und Funktionen konfrontiert. Die Verbreitung der Technologie wurde begonnen, bevor die **technischen Mängel** ausreichend behoben waren, so dass viele Anlagen mit ihrer Neigung zu Ausfällen noch heute zu einem negativen Image der Biogastechnologie beitragen.

Die **Beschickung und Entleerung einer Biogasanlage** ist, wenn sie weitgehend manuell erfolgt, eine unangenehme Arbeit, was besonderes in sozial besser gestellten Haushalten für Familienmitglieder unattraktiv ist. Kommt der Gärprozess zum Erliegen, muss meist die ganze Anlage geleert und neu befüllt werden. Kommunale Anlagen haben insofern ein größeres Anwendungspotenzial als Einzelanlagen, da für das Betreiben der Anlage Arbeitskräfte angestellt werden können, die erstens die nötige Kompetenz erwerben und zweitens ein direktes Einkommen erhalten.

Biogasanlagen fallen auch anders als etwa verbesserte Herde in **unterschiedliche Zuständigkeitsbereiche in landwirtschaftlichen Familienhaushalten**. Es handelt sich nicht um eine Innovation, die lediglich den Kochvorgang betrifft, sondern es werden die Viehhaltung, die Düngung und die Energieversorgung verändert. Das führt auch dazu, dass für bestimmte Tätigkeiten noch keine soziale Arbeitsteilung vorhanden ist, ein Problem, das z.B. in den polygamen Haushalten der Elfenbeinküste für die weitverbreitete Wiederabschaffung der Technologie mitverantwortlich gemacht wird. Aus Gründen des sozialen Status ist es in manchen Ländern auch zu einer Überdimensionierung der Anlagen gekommen, was entsprechende Einschränkungen für den wirtschaftlichen Betrieb dieser Anlagen zur Folge hat (Wittmer/Berger 2000, S. 43 f.).

3. Technische Hemmnisse

In Kapitel III wurde bereits an mehreren Stellen das technische Verbesserungspotenzial der behandelten Technologie angesprochen. Die Überwindung von technischen Hemmnissen besteht im Wesentlichen in der erfolgreichen Ausnutzung dieses Potenzials durch effiziente und angepasste Technologien.

In der Vergangenheit begrenzten oft technische Hemmnisse den Erfolg von Innovationen im Bereich der **Biofestbrennstoffe**. Exemplarisch werden diese hier für typische Probleme verbesserter Herde aufgezeigt (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 130):

- Die erforderliche Reduzierung von Emissionen durch die Verwendung verbesserter Herde konnte aufgrund von **Konstruktionsfehlern** nur ansatzweise realisiert werden.
- Verbesserte Lehmherde haben eine vergleichsweise **geringe Lebensdauer** (2-5 Jahre). Die finanzielle Situation der meisten Nutzer(innen) erlaubt jedoch keine Neuanschaffungen in solch kurzen Zeiträumen.
- **Unangepasste Fertigungslokalitäten** und **unterentwickelte Vertriebsstrukturen** verhindern vielerorts die sachgerechte Produktion bzw. die Organisation des Vertriebs von verbesserten Herden. Damit in Zusammenhang steht natürlich auch die unsachgemäße Wartung vieler Anlagen, da für komplexe Technologien ausgebildete Fachkräfte benötigt werden.

Über technische Hemmnisse für die Verbreitung von **Pflanzenölen** als Energieträger wird kaum berichtet, was u.a. mit ihrer stofflichen Verwandtschaft zu den entsprechenden Treibstoffen auf der Basis fossiler Energieträger zusammenhängt. Die üblichen Konversionstechniken für diese modernen Treibstoffe sind relativ ausgereift, und ihre Verbreitung wird vorwiegend von finanziellen Faktoren bestimmt. Lediglich bei der Produktion treten vermehrt technische Hemmnisse auf. Ein verbreitetes Problem beim Ölpalmensaatgut ist beispielsweise die Verunreinigung mit den Samen der Durapalme, die im frühen Wachstumsstadium nicht von den produktiveren Sorten zu unterscheiden ist. Bei strikter Selektion in den Baumschulen und Anzuchtbeeten könnte das Verpflanzen unproduktiver Palmen jedoch vermieden werden (Sauerborn et al. 2000, S. 61).

Biogasanlagen waren in der Vergangenheit noch ausgeprägter als andere Technologien im Energiebereich durch technische Probleme gekennzeichnet. Noch wichtiger als bei Anlagen zur Biomasseverbrennung muss hier auf die Anpassung der Technologie und des Verfahrens an die kulturellen und ökologi-

schen Gegebenheiten im Anwendungsgebiet geachtet werden (Wittmer/Berger 2000, S. 41). Zusätzlich muss bei der Förderung von Anlagen ein Augenmerk auf die Qualität gerichtet werden, damit das frühzeitige Ausfallen der Anlagen nicht zu einem Imageverlust der Technologie führt (Rösch 2000, S. 41).

4. Ansatzpunkte zum Abbau von Umsetzungs-restriktionen

Die Ursachen für technische Hemmnisse finden sich im zeitlichen Ablauf meist in der Entwicklungsphase der einzelnen Technologien. Die technische und wirtschaftliche Unterstützung industrialisierter Staaten bestand einerseits oft im Versenden altmodischer und technisch nicht mehr auf dem neuesten Stand befindlicher Anlagen, die in Industriestaaten bereits ausgesondert wurden, von denen man sich aber in Entwicklungsländern noch eine nutzbringende Anwendung versprach. Andererseits war die Technik für die Bedürfnisse vor Ort oftmals überdimensioniert, zu fortschrittlich und damit ebenfalls nicht angepasst (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 126).

Bei der Entwicklung von Technologien im Biomassebereich muss daher mehr auf die individuellen Bedürfnisse und lokalen Bedingungen der potenziellen Nutzer(innen) geachtet werden. Nicht zuletzt deswegen ist es sinnvoll, die nötigen Strukturen für die Technologieentwicklung nach Möglichkeit vor Ort zu schaffen bzw. die Anwender(innen) an der Entwicklung zu beteiligen. Im Folgenden werden einige Ansatzpunkte für den Abbau der weit komplexeren nicht-technischen Hemmnisse im Rahmen der bisher verwendeten Kategorien aufgeführt. Die Ausführungen beschränken sich in diesem Kapitel auf allgemeine Instrumente und Mechanismen für den Abbau von Umsetzungsrestriktionen, die zum Teil nicht im Einflussbereich der Entwicklungszusammenarbeit liegen. Konkrete Handlungsoptionen werden im letzten Teil des Berichts vorgestellt (Kap. VII).

Ökonomische Hemmnisse

Das Problem der **Finanzierung** von Investitionen ist neben dem armutsbedingten Kapitalmangel auch durch den extrem beschränkten Zugang zu Krediten bedingt. Zumindest letzterer kann durch verschiedene Möglichkeiten erleichtert werden (Wittmer/Berger 2000, S. 29 f.):

- Die **Garantie für private Kredite** im Energiebereich kann vom Staat übernommen werden.
- **Finanzierung über den Handel:** Der Kredit wird an den Handel gegeben, der dann den Verbrauchern entsprechende Zahlungsmodalitäten anbieten kann.
- **Finanzierung über die Energiebereitsteller:** Die Energiebereitsteller gewähren Kredite für die Investitionskosten der Haushalte, die z.B. mit den laufenden Energieabrechnungen zurückgezahlt werden können. Ebenso können Kredite an Unternehmen gegeben werden, die Kraftwerke betreiben und dann die Investitionskosten auf die laufenden Kosten der Stromversorgung der Haushalte umlegen.
- **Rotationsfonds:** Kredite werden aus einem einmalig finanzierten Kapitalstock (z.B. aus der Entwicklungshilfe) gewährt, der sich durch die Tilgungs- und Zinszahlungen der Kreditnehmer selbst aufrecht erhält.
- **Kreditabwicklung über Kooperativen:** Bestehende oder eigens gebildete Kooperativen ermöglichen die Vereinfachung der Abwicklung für die Bank. Banken geben also entweder der Kooperative einen gemeinsamen Kredit, für den alle haften, oder leasen das Objekt bis zur Rückzahlung des Kredits.
- **Regierungsaufträge für öffentliche Dienstleistungen:** In manchen Fällen stellt ein Regierungsauftrag (z.B. die Energieversorgung von öffentlichen Gebäuden) einen ausreichenden Investitionsanreiz für Privatunternehmen dar, in der gleichen Region Finanzierungsmöglichkeiten für Haushaltsanlagen anzubieten. Die hohen Erschließungskosten in ländlichen Regionen könnten im Rahmen integrierter, staatlicher Entwicklungskonzepte von der Regierung übernommen bzw. bezuschusst werden.

Viele dieser Optionen haben sich bei der Finanzierung von Kleinkraftwerken im ländlichen Raum bewährt.

In der Einführungsphase einer Technologie können direkte **Subventionen** sinnvoll sein. Die Herausforderung besteht hierbei darin, Formen der Subvention zu finden, die einerseits möglichst gezielt den bedürftigen Haushalten zugute kommen und die Verwaltungskosten niedrig halten sowie andererseits die durch die Subvention bedingten Verzerrungen und Wettbewerbseinschränkungen minimieren.

Ein viel diskutiertes und auch in der Praxis weitverbreitetes Instrument sind die so genannten "**Lifeline rates**". Das Konzept besteht darin, einen minimalen, zur Grundbedürfnisbefriedigung notwendigen Stromverbrauch (typischerweise Beleuchtung und ein Radio oder Fernsehgerät) zu besonders günstigen Preisen zu ermöglichen. Umgesetzt wird es auf unterschiedliche Weise, z.B. durch

entsprechende Durchfluss-Begrenzer, was zugleich die Abrechnung erleichtert, da in diesem Fall nur ein Pauschalbetrag anfällt. In anderen Fällen wird der Preis für eine bestimmte Anzahl an kWh im Monat zu einem subventionierten Preis berechnet, höherer Stromverbrauch zu entsprechend höheren Sätzen. Es gibt beliebig viele Varianten dieser Systeme (Wittmer/Berger 2000, S. 54).

Wenn nur ein minimaler Verbrauch subventioniert wird, ermöglichen lifelines eine kostengünstige Subvention der Grundversorgung für einkommensschwache Haushalte. Sie erweitern allerdings nicht das Angebot und verbessern auch nicht die Qualität der Versorgung. Die **Subvention von Anschlüssen** an das Stromversorgungsnetz ist für diese beiden Ziele eine vielversprechendere Option. Der Privatsektor kann über Konzessionen an einem solchen System beteiligt werden, wobei ein Kriterium für die Vergabe von Konzessionen die Bereitstellung von Energie mit möglichst geringem Subventionsaufwand darstellt (Wittmer/Berger 2000, S. 54 f.).

Politische und institutionelle Hemmnisse

Die technischen Potenziale können nur realisiert werden, wenn die **politischen Rahmenbedingungen** dies fördern. Eine erste Liberalisierungswelle der Energiebereitstellung erfolgte auch in zahlreichen Entwicklungsländern, so dass private Anbieter ihren Strom inzwischen in die Netze einspeisen und verkaufen können. Optimale Anreize für private Unternehmen, in den Energiemarkt zu investieren, bietet eine vollständige Liberalisierung mit stark schwankenden Preisen jedoch nicht. Die hohen spezifischen Investitionen, die im Energiesektor weiterhin notwendig sind, erfordern ein **Minimum an Planungssicherheit**. Eine mögliche Lösung sind langfristige Abnahmeverträge mit stabilisierten Preisen. Bei der Versorgung armer Bevölkerungsschichten mit Energie kommt bei steigenden Energiepreisen auf einem liberalisierten Markt wiederum der Ausgestaltung von Subventionen eine besondere Rolle zu (Wittmer/Berger 2000, S. 57).

Um regenerative Energieträger wettbewerbsfähig zu machen, müssen bestehende Subventionen für fossile Energieträger abgebaut und die durch deren Verwendung entstehenden externen Kosten ökonomisch erfasst werden. Außerdem existiert die Möglichkeit, eine **Mindestquote** an Strom aus regenerativen Energieträgern einzuführen. Das Instrument einer Quote hat gegenüber garantierten, erhöhten Abnahmepreisen den Vorteil, dass die regenerativen Energieträger untereinander konkurrieren und der technische Fortschritt gefördert wird.

Werden Technologien dann kostengünstiger angeboten, kann auch die Quote erhöht werden, ohne dass die Kosten der Energieversorgung sprunghaft ansteigen.

Eine klare **Definition und Absicherung von Nutzungsrechten** ist eine weitere Grundvoraussetzung für die nachhaltige Nutzung von Biomasse. Ein Weg ist die Übertragung von Nutzungsrechten an staatlich verwalteten Ressourcen an Gemeinden oder private Nutzer, die dadurch Anreize erhalten, Biomasse bereitzustellen. Lokale, traditionelle Regelungen für den Zugang zu Ressourcen sollten dabei berücksichtigt werden, genauso wie die Gefahr, dass durch die Einführung von Privateigentum den armen Bevölkerungsschichten die Lebensgrundlage genommen werden kann (Wittmer/Berger 2000, S. 61).

Gerade Bioenergieträger können von einer **verstärkten Abstimmung der Energie- mit der Forst- bzw. Landwirtschaftspolitik** profitieren. Die Energienutzung sollte deshalb gezielt in Forschung und Beratung miteinbezogen werden. So können beispielsweise die Potenziale für eine optimale energetische Nutzung von landwirtschaftlichen Nebenprodukten erhöht und die gezielte Förderung von Märkten für Biomasse verbessert werden (Wittmer/Berger 2000, S. 62). Dieser wie auch der vorhergehende Vorschlag stellen eine institutionelle Herausforderung dar, und ihre optimale Ausgestaltung ist eine Grundvoraussetzung für die nachhaltige Bereitstellung von Energie aus Biomasse.

In diesem Zusammenhang ist auch die **Verbesserung des Zugangs zu Informationen** von Bedeutung. Mit dem Ziel, den Informationsaustausch zu fördern, gibt es bereits unterschiedliche Netzwerke: z.B. das RWEDPA (Regional Wood Energy Development Programme in Asia) in Süd- und Südostasien oder das Latin America Dendroenergy Network in Lateinamerika. Zu nennen sind weiterhin AFREPREN, ein afrikanischer Zusammenschluss, um Vertreter aus Politik, Energiebereitstellung und Wissenschaft zusammenzubringen, der durch die schwedische Entwicklungshilfeorganisation SIDA unterstützt wird. Die GTZ bietet Informationsaustausch zu regenerativen Energiequellen über das Programm GATE an, wobei versucht wird, auch den Austausch zwischen verschiedenen Organisationen in den Entwicklungsländern selbst zu fördern. 1991 wurde in Indien die International Energy Initiative mit dem Ziel gegründet, die Verbreitung und den Austausch von Informationen, insbesondere über handlungsorientierte Projekte, durchzuführen. Eine weitere Informationsplattform sind die verschiedenen Energieprogramme der Weltbank. Eine Vernetzung dieser vielfältigen Aktivitäten wäre im Interesse der Förderung von erneuerbaren Energien und würde vielfach vermeiden, dass dieselbe Arbeit mehrmals getan wird.

Ökologische Hemmnisse

Die **klimatischen Bedingungen** müssen in den meisten Regionen als gegeben hingenommen werden. Nur in Ausnahmefällen gibt es Sonderlösungen für Regionen, die eigentlich für andere Technologieformen prädestiniert sind. Wie bei den soziokulturellen Hemmnissen gilt, dass die Unterschiede innerhalb eines Landes oft größer sind als zwischen den Ländern. So finden sich die größten Potenziale für die Nutzung von Biomasse in der Regel in weniger dicht besiedelten Regionen mit ausreichend Niederschlägen bzw. dort, wo die Bereitstellung von Biomasse in die landwirtschaftliche Produktion integriert werden kann (Wittmer/Berger 2000, S. 34 u. 50).

Anhand ökologischer Kriterien sollte deshalb immer auch die Konkurrenz von Biomasse mit anderen regenerativen Energieformen berücksichtigt werden, um im entsprechenden Einzelfall die kostengünstigste Form der Energiebereitstellung zu wählen (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 129 f.). Eine **Umweltverträglichkeitsprüfung** ist in den meisten Fällen der beste Weg, um für eine konkrete Region die optimale Lösung zu finden (Wittmer/Berger 2000, S. 21).

Soziokulturelle Hemmnisse

Aus der Differenziertheit kultureller Normen ergibt sich, dass auch optimale Lösungen für die Energiebereitstellung regional differenziert sein müssen. Allgemein wird die Attraktivität verschiedener Energieträger aus der Sicht der Nutzer(innen) gemäß Tabelle 23 eingeschätzt.

Im Idealfall sollten die Bedürfnisse und sollte die Nachfrage für Energie aus Biomasse v.a. der armen Haushalte empirisch und unter Verwendung partizipativer Methoden ermittelt werden (Wittmer/Berger 2000, S. 56). Erfolgsversprechend sind z.B. Herdverbesserungsprogramme im Sektor Haushalt sowie die Implementierung verbesserter Anlagen im Kleingewerbe dann, wenn die **Menschen vor Ort direkt in Planung, Betrieb und Wartung dieser Anlagen integriert werden**. Durch diesen Lernprozess lassen sich Akzeptanz, Vertrauen und Wertschätzung zur verbesserten Technik fördern (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 127). Bei der Einführung neuer Technologien muss ferner beachtet werden, wer entscheidet und wer die Technologie anwendet. Gerade bei dorfgemeinschaftlichen Entscheidungen ist es wichtig, dass Frauen in den Entscheidungsprozess eingebunden werden (Wittmer/Berger 2000, S. 21 f.).

Tab. 23: Attraktivität verschiedener Energieträger zum Kochen aus der Sicht der Nutzer(innen)

	herkömmliche Quellen	*alternative Quellen*
Zunehmende Attraktivität →	Elektrizität	
	Erdgas	
		Biogas (kommunale Anlagen)
	Kerosin	Producer Gas
		Alkohol
	Holzkohle	
	Kohle und Koks	
		Kohlebriketts
		Biogas (individuelle Anlagen)
		Biomassebriketts (verdichtet und karbonisiert)
	Brennholz	
		Biomassebriketts (verdichtet)
	Kompost	
	Dung	

Quelle: Dutt/Ravindranath 1994; nach Wittmer/Berger 2000, S. 45

Als ein Kernziel der nachhaltigen Entwicklung vieler Entwicklungsländer wird immer wieder der Begriff **Capacity Building** angesprochen, der sich auf die Ausbildung von Fachkräften bezieht. An Personalkapazität gibt es in Entwicklungsländern keinen Mangel, wohl aber an deren fachlichen Qualifikationen (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 127). Bei der Unterstützung und Beratung ist es darum wichtig zu beachten, dass der Ausbildungsbedarf oft größer ist als angenommen und weit über die Anpassung der Technik und die Wartung und Reparatur hinausgeht. Häufig sind Alphabetisierung, Vermittlung von Kenntnissen aus der Buchhaltung und die Unterstützung beim Zugang zu Krediten noch bedeutsamer (Wittmer/Berger 2000, S. 36).

V. Auswirkungen einer verbesserten und verstärkten Nutzung von Bioenergieträgern

Die Verfügbarkeit von Energie ist eine Grundvoraussetzung für wirtschaftliches Wachstum. Von Strategien zur Förderung der Entwicklung in den Ländern der sog. Dritten Welt wird aber verlangt, dass sie neben dem **wirtschaftlichen Wachstum** auch **ökologische Nachhaltigkeit** und **Armutsbekämpfung** berücksichtigen. Ein solchermaßen integriertes Konzept muss sich demnach mit den komplizierten und vielfach widersprüchlichen Wechselbeziehungen dieser drei strategischen Eckpfeiler auseinandersetzen. Die einseitige Förderung des Verbrauchs von Biofestbrennstoffen etwa könnte ohne begleitende Maßnahmen im politischen und institutionellen Bereich verheerende Folgen durch die daraus resultierende, verstärkte Abholzung der Wälder haben. Langfristig entzöge eine solche Strategie der lokalen Bevölkerung in den entsprechenden Ländern die Grundlage der Energieversorgung und hätte damit sowohl das Ziel der Armutsbekämpfung als auch das der Nachhaltigkeit verfehlt.

Ob die ökologischen und ökonomischen Auswirkungen einer verstärkten Nutzung von Bioenergieträgern positiv oder negativ sind, hängt also entscheidend von der Frage ab, inwieweit sich die bisherige Form der Nutzung hinsichtlich der oben genannten Kriterien optimieren lässt. Für die in diesem Kapitel diskutierten ökonomischen und ökologischen Auswirkungen der zukünftigen Nutzung von biogener Energie gilt daher, dass sie unter Berücksichtigung bestimmter Annahmen bezüglich der Rahmenbedingungen dieser Nutzung interpretiert werden müssen.

1. Umweltwirkungen

Wenn es unter Klimaschutzaspekten um eine Reduktion anthropogener Klimagasemissionen geht, werden in die Energiebereitstellung aus Biomasse große Hoffnungen gesetzt. Aus der Tatsache, dass bei der Verbrennung von Biomasse nicht mehr CO_2 freigesetzt wird, als bei ihrem Wachstum aus der Atmosphäre entnommen wurde, ergibt sich ein ökologischer Vorteil für biogene im Vergleich zu fossilen Energieträgern. Für die exakte Bewertung dieses Vorteils reicht es allerdings nicht aus, ausschließlich die Vermeidung von CO_2-Emissionen zu betrachten. Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O) zum Beispiel entstehen

ebenfalls bei der Verbrennung von Biomasse sowie u.U. bei ihrer Bereitstellung und müssen wegen ihrer vielfach höheren Klimawirksamkeit zusätzlich berücksichtigt werden. Die sog. Vorkettenproblematik, also die Emissionen, die bei der Produktion und dem Transport von Biomasse entstehen, ist bis heute in vielen Entwicklungsländern noch nicht ausreichend erforscht und kann daher nur teilweise in diesem Kapitel berücksichtigt werden. Im Folgenden werden die Umweltwirkungen einer verstärkten Nutzung biogener Energie bei gleichzeitiger Substituierung fossiler Energieträger diskutiert und mögliche Potenziale für die Optimierung des Einsatzes aufgezeigt. Diese Potenziale ergeben sich größtenteils aus den in Kapitel III beschriebenen technischen Verbesserungspotenzialen der einzelnen Technologien, setzen aber vielfach voraus, dass den in Kapitel IV behandelten technischen und nicht-technischen Hemmnissen in geeigneter Weise begegnet wird.

1.1 Biofestbrennstoffe

Biofestbrennstoffe stellen weltweit etwa 9,1 EJ/Jahr Nutzenergie bereit. Schätzungsweise rund 19 EJ/Jahr Primärenergie aus fossilen Energieträgern wären nötig, um diese Energiemenge zu liefern. Die bei einer Bereitstellung dieser Menge fossiler Energie entstehenden CO_2-Emissionen von ca. 1.300 Mio. t/Jahr werden also schon heute durch die Biomassenutzung vermieden. Zurzeit werden aber noch etwa 600 Mio. t/Jahr CO_2 durch die nicht-nachhaltige Nutzung (z.B. aufgrund mangelnder Wiederaufforstung) von Biomasse verursacht. Deshalb wird in der Substitution von fossiler durch biogene Energie, in einer nachhaltigen Biomassebereitstellung und in der Verbesserung der Nutzung ein erhebliches Einsparungspotenzial für Treibhausgasemissionen gesehen. So könnten bei optimaler Nutzung von Biofestbrennstoffen zwischen 1.420 und **3.580 Mio. t/Jahr CO_2** eingespart werden (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 92 f.). Diese wie alle folgenden Angaben beruhen auf Modellrechnungen, deren Ergebnisse von einer Reihe von Annahmen abhängen und die deshalb nur mögliche Größenordnungen beschreiben können.

Kohlenstoffdioxidemissionen

Bei der Betrachtung der Biofestbrennstoffe bietet es sich wie auch in Kapitel III an, die Großregionen Asien, Afrika und Lateinamerika getrennt zu untersuchen. In den entsprechenden Tabellen zur möglichen Einsparung von Klimagasen wird

zwischen dem aktuellen Stand der Emissionen und der Emissionsmenge unter der Voraussetzung einer optimalen Biomassenutzung unterschieden. Was unter einer optimalen Biomassenutzung im Einzelfall zu verstehen ist, ergibt sich aus den jeweiligen technischen Potenzialen der einzelnen Regionen und Länder (Kap. III.1).

Asien

Die Untersuchung von Indien - stellvertretend für Asien - (Kap. III.1) hat ergeben, dass die Perspektiven der energetischen Nutzung von Biomasse in diesem Erdteil vorwiegend im Bereich der Verbesserung der Konversionstechniken liegen, da der Holzzuwachs schon heute nicht mehr ausreicht, um die Nachfrage zu decken (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 84).

Asien (einschließlich Ozeanien) ist derzeit für ca. 30 % (7,2 Mrd. t im Jahre 1998) der weltweiten, energetisch bedingten CO_2-Emissionen verantwortlich. Die Pro-Kopf-Emissionen sind dennoch vergleichsweise gering und bewegen sich unter den Werten der OECD-Länder, weshalb z.B. Indien und China keinen Reduktionsverpflichtungen innerhalb der internationalen Klimakonventionen unterliegen. Gerade in diesen beiden Ländern dürften die CO_2-Emissionen aus dem Verbrauch fossiler Brennstoffe in den nächsten Jahren am schnellsten steigen, was auf die Bevölkerungszunahme und den steigenden Lebensstandart zurückzuführen ist. Aus Tabelle 24 wird deutlich, dass durch eine Ausnutzung des technischen Verbesserungspotenzials im Bereich der Konversionstechnik die klimawirksamen CO_2-Emissionen durch die nicht-nachhaltige Biomassenutzung erheblich reduziert werden könnte. Da in Asien die gegenwärtige Biomassenutzung bereits die verfügbaren Potenziale an nutzbarer Biomasse übersteigt, wurde in den Modellrechnungen unterstellt, dass Effizienzsteigerungen in der Konversionstechnik für ein Zurückdrängen nicht-nachhaltiger Nutzungen und damit zu einer Reduktion des Biomasseeinsatzes genutzt werden. Mit der geringeren Biomassenutzung verringert sich dann auch die substituierte fossile Energie und die brutto vermiedenen CO_2-Emissionen, was aber durch die vermiedenen Emissionen der nicht-nachhaltigen Biomassenutzung mehr als ausgeglichen würde (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 82 ff. u. 93).

Tab. 24: CO_2-Emissionen unter gegenwärtigen und optimalen Bedingungen für die Nutzung von Biofestbrennstoffen in Asien und Indien

	substituierte fossile Energie (PJ/a)	*brutto vermiedene CO_2-Emissionen (Mio. t/a)n*	*CO_2-Emissionen durch nicht-nachhaltige Biomasse-nutzung (Mio. t/a)*	*netto vermiedene CO_2-Emissionen (Mio. t/a)*
		aktueller Stand		
Asien	6.800	480	211	269
Indien	2.200	165	63	102
		optimale Nutzung		
Asien	5.000	350	42	308
Indien	1.600	120	13	107

Quelle: Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 83

Afrika

Verglichen mit Asien sind die CO_2-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energie in Afrika mit 600 Mio. t/Jahr relativ unbedeutend und tragen nur 3-4% zum weltweiten Ausstoß bei. Die Hauptquellen dieser Emissionen liegen in den nördlichen Ländern Afrikas sowie in Südafrika. Zwischen 1990 und 1997 stiegen die Kohlenstoffdioxidemissionen um 14% an, und vor allem der Stromerzeugungs- und Haushaltssektor werden in Zukunft für zunehmende Emissionen verantwortlich sein (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 84).

Wie in Kapitel III dargelegt, kann der Einsatz von Biofestbrennstoffen in Afrika nicht nur verbessert, sondern auch durch die nachhaltige Nutzung von bisher ungenutzten Ressourcen ausgedehnt werden. Damit ergibt sich neben der Ausnutzung der technisch möglichen Wirkungsgrade für Konversionsanlagen z.B. durch eine nachhaltige Waldbewirtschaftung eine weitere Optimierungsmöglichkeit der Bioenergienutzung (Tab. 25).

Tab. 25: CO_2-Emissionen unter gegenwärtigen und optimalen Bedingungen für die Nutzung von Biofestbrennstoffen sowie unter Ausnutzung der Biomassepotenziale in Afrika und Simbabwe

	substituierte fossile Energie (PJ/a)	*brutto vermiedene CO_2-Emissionen (Mio. t/a)*	*CO_2-Emissionen durch nicht-nachhaltige Biomasse-nutzung (Mio. t/a)*	*netto vermiedene CO_2-Emissionen (Mio. t/a)*
		aktueller Stand		
Afrika	2.050	145	131	14
Simbabwe	50	3,6	3,2	0,4
		optimale Nutzung		
Afrika	1.540	108	21	87
Simbabwe	37	2,6	0,5	2,1
		optimale Nutzung und Potenzialausschöpfung		
Afrika	14.300	1.100	315	785
Simbabwe	340	27	7,5	19,5

Quelle: Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 87

Auch für Afrika würde der Austausch des vorhandenen gegen einen verbesserten Anlagenpark zu einer Einsparung der genutzten Biomasse bei gleichbleibender Nutzenergiebereitstellung führen, bei deutlicher Reduktion der CO_2-Emissionen durch die nicht-nachhaltige Nutzung. Eine deutlich höhere Substitution fossiler Brennstoffe wäre bei der vollständigen Ausnutzung des in Afrika vorhandenen Biomassepotenzials mittels eines effizienter arbeitenden Anlagenparks gegeben, wodurch sich erhebliche CO_2-Reduktionen ergeben würden. Es fällt auf, dass die Spannweite der möglichen CO_2-Reduktion hier fast siebenmal so groß ist wie im Falle Asiens, was vorwiegend auf die bisher nicht genutzte Biomasse zurückzuführen ist. Zentrales Problem einer Ausdehnung der Biomassenutzung in Afrika ist allerdings, dass Angebot und Nachfrage regional weit auseinander fallen.

Lateinamerika

Die Länder Lateinamerikas tragen mit ca. 4 % ebenfalls nur einen geringen Teil zu den weltweiten CO_2-Emissionen aus der Nutzung fossiler Energieträger bei. Hier sind v.a. der Transport- und Industriesektor für diese Emissionen verantwortlich. Auch in Lateinamerika gibt es sowohl ein ungenutztes Potenzial an Biofestbrennstoffen (z.B. Ernterückstände aus der Zuckerrohrproduktion in Brasilien) als auch das Problem technisch ineffizienter Konversionsanlagen. Dementsprechend wurden auch hier drei verschiedene Varianten für den zukünftigen Biomasseeinsatz untersucht (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 89 ff.). Eine Zusammenfassung der Ergebnisse ist der Tabelle 26 zu entnehmen.

Tab. 26: CO_2-Emissionen unter gegenwärtigen und optimalen Bedingungen für die Nutzung von Biofestbrennstoffen sowie unter Ausnutzung der Biomassepotenziale in Lateinamerika und Brasilen

	substituierte fossile Energie (PJ/a)	*brutto vermiedene CO_2-Emissionen (Mio. t/a)*	*CO_2-Emissionen durch nicht-nachhaltige Biomasse-nutzung (Mio. t/a)*	*netto vermiedene CO_2-Emissionen (Mio. t/a)*
		aktueller Stand		
Lateinamerika	740	52	14	38
Brasilien	490	28	6,4	21,6
		optimale Nutzung		
Lateinamerika	580	41	3,1	37,9
Brasilien	295	22	1,4	20,6
		optimale Nutzung und Potenzialausschöpfung		
Lateinamerika	16.000	1.000	115	885
Brasilien	7.800	660	54	606

Quelle: Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 92

Der Variante "optimale Nutzung" liegt die Annahme zugrunde, dass die Nutzungsgrade der Biomasseherde und -öfen sich verdoppeln könnte, was wiederum eine deutliche Reduktion der nicht-nachhaltigen Nutzung bewirken würde. In Lateinamerika würde sich durch eine effizientere Biobrennstoffausnutzung

in einem verbesserten Anlagenpark bei gleichzeitiger Ausdehnung der Nutzung sich der Umfang substituierbarer fossiler Brennstoffe - und damit die dadurch vermeidbaren CO_2-Emissionen - signifikant erhöhen (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 91).

Methanemissionen

Das Hauptinteresse galt in den vergangenen Jahren primär den klimarelevanten Kohlenstoffdioxidemissionen. Dabei wurde oft vernachlässigt, dass Methan langfristig ca. 21-mal so klimawirksam ist wie CO_2 (100-jähriger Betrachtungszeitraum), weshalb auch geringe Methanemissionen für die Gesamtbilanz eines Energieträgers relevant sind (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 80).

Spurengasuntersuchungen verschiedener Haushaltsherde in Entwicklungsländern zufolge verbrennen Biofestbrennstoffe oftmals unvollständig und verursachen erhebliche Abgasbelastungen, wodurch besonders Frauen und Kinder von frühzeitigen und ernstzunehmenden Atemwegserkrankungen betroffen sind. Es zeigte sich auch, dass die Emissionen an unvollständigen Verbrennungsprodukten - und damit einschließlich des Klimagases Methan - pro Einheit bereitgestellter Nutzenergie bei Biofestbrennstoffherden merklich höher liegen als beispielsweise bei mit Kerosin gefeuerten Herden. Die bisher entwickelten verbesserten Herde für die Holzverbrennung sind hinsichtlich der Methanemissionen noch nicht optimiert und weisen zum Teil sogar höhere Emissionen als traditionelle Herde auf (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 93 f.).

Die Substitution von fossilen Energieträgern durch Biomasse reduziert die Methanemissionen in weit geringerem Maße als die Kohlenstoffdioxidemissionen. Zwei Gründe sind dafür verantwortlich: Zum einen entsteht bei der Biomasseverbrennung mehr Methan als bei der Verbrennung von z.B. Kohle und Erdöl und zum anderen wird der Atmosphäre beim Pflanzenwachstum zwar CO_2 entzogen, nicht aber CH_4, was die ökologische Bilanz für Methan negativ beeinflusst. Aus Tabelle 27 ist daher ersichtlich, dass die Optimierung der Verbrennungstechnik entscheidend für die Reduktion der Methanemission sein wird.

Tab. 27: Methanemissionen unter gegenwärtigen und optimalen Rahmenbedingungen für die Nutzung von Biofestbrennstoffen in den Entwicklungsländern

	vermiedene CH_4-Emissionen durch substituierte fossile Energie (kt/a)	*CH_4-Emissionen durch Biomassenutzung (kt/a)*	*netto CH_4-Emissionen durch Biomassenutzung (kt/a)*
		aktueller Stand	
Asien	200	6.600	6.400
Afrika	23	2.500	2.477
Lateinamerika	13	900	887
		optimale Nutzung	
Asien	140	2.580	2.440
Afrika	17	840	823
Lateinamerika	10	230	220
	optimale Nutzung und Potenzialausschöpfung		
Afrika	40	1.330	1.290
Lateinamerika	70	1.755	1.685

Quelle: Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 99

Lachgasemissionen

Für Lachgas gelten die gleichen Gegebenheiten wie bei der Methanemission. Die Klimawirksamkeit von N_2O liegt jedoch langfristig 310-mal so hoch wie die von CO_2 (100-jähriger Betrachtungszeitraum). Weltweit werden infolge fossiler Brennstoffnutzung etwa 0,32 Mio. t N_2O/Jahr emittiert. Die Lachgasemission aus der Biomasseverbrennung in den Entwicklungsländern liegt bei 0,28 Mio. t/Jahr und könnte durch einen effizienteren Anlagenpark halbiert werden. Für die einzelnen Kontinente können die Einsparungspotenziale unter den wie bisher vorausgesetzten Rahmenbedingungen aus Tabelle 28 entnommen werden (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 80, 104).

Tab. 28: Lachgasemissionen unter verschiedenen Rahmenbedingungen in den Entwicklungsländern

	vermiedene N_2O-Emissionen durch substituierte fossile Energie (kt/a)	*N_2O-Emissionen durch Biomassenutzung (kt/a)*	*netto N_2O-Emissionen durch Biomassenutzung (kt/a)*
		aktueller Stand	
Asien	24	200	176
Afrika	7,2	59	51,8
Lateinamerika	1,7	18,8	17,1
		optimale Nutzung	
Asien	18	100	82
Afrika	5,4	33,8	28,4
Lateinamerika	1,3	11	9,7
		optimale Nutzung und Potenzialausschöpfung	
Afrika	30	73	43
Lateinamerika	53	95	42

Quelle: Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 103

Das in Afrika, Asien und Lateinamerika aus Biomasseverbrennungsanlagen emittierte Lachgas, welches als klimawirksamer Anteil in die Erdatmosphäre gelangt, liegt zwischen 0,14 und 0,28 Mio. t N_2O/a, wobei die untere Grenze von einem ausschließlichen Einsatz eines verbesserten Anlagenparks ausgeht und dem oberen Wert der vorhandene Anlagenpark zugrunde liegt. Dieser jährliche Ausstoß an klimawirksamem Lachgas durch Biomassenutzung beim Einsatz herkömmlicher Anlagen liegt deutlich über dem Anteil dessen, was an Lachgasemissionen durch die infolge der eingesetzten Biomasse substituierte fossile Energie vermieden wird, und zwar um den Faktor 6 bei einem verbesserten Anlagenpark und um den Faktor 8,4 bei dem vorhandenen Anlagenpark. Eine vollständige energetische Nutzung der vorhandenen Biomassepotenziale, die in Afrika und Lateinamerika, aber nicht in Asien möglich wäre, würde bei gleichzeitiger Nutzung verbesserter Anlagen einerseits zu einer Erhöhung der N_2O-Emissionen aus der Biomassenutzung und andererseits zu einem Anstieg

der vermiedenen Emissionen dieses Spurengases infolge substituierter fossiler Energie führen (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 104).

Fazit

Insgesamt zeigen die Modellrechnungen, dass ein effizienterer Anlagenpark helfen kann, die Emissionen klimawirksamer Spurengase infolge einer Biomassenutzung zu reduzieren. In der Gesamtwirkung überwiegen dabei die Effekte durch die hohen CO_2-Einsparungen, da die Emissionen von Methan und Lachgas (in kt/a) eine Größenordnung unter denen von Kohlenstoffdioxid (in Mio. t/h) liegen. Außerdem kann eine effizientere Biomassenutzung mit einem entsprechend technisch entwickelten Anlagenpark erheblich zu einer Minderung des Anteils nicht-nachhaltiger Biomassenutzung infolge geringeren Verbrauchs beitragen, wodurch indirekt auch eine Reduktion der klimawirksamen Emissionen erfolgen kann. Eine flächendeckende Verbreitung effizienterer Herde für den Hausgebrauch sowie effizienterer Herde und Öfen für eine gewerbliche bzw. industrielle Nutzung wären die Voraussetzung, um diese Effekte zu erzielen.

Folgende Schlussfolgerungen können unter Einbeziehung der vorhergehenden Kapitel gezogen werden (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 111 ff.):

- Bisher wurden die vorhandenen Biomassefeuerungen nicht im Hinblick auf eine **Minderung der Emissionen an klimawirksamen Emissionen** optimiert. Deshalb sollte bei der **weitergehenden Optimierung** dieser verbesserten Herde v.a. eine Minderung dieser Stofffreisetzungen angestrebt werden. Diesem Ziel stehen aus technischer Sicht keine grundsätzlichen Restriktionen entgegen.
- Auch mit den gegenwärtig vorhandenen verbesserten Herden kann ein deutlicher Beitrag zur klimaverträglichen Energiebereitstellung auf der Basis von Biomasse erreicht werden. Daneben tragen verbesserte Herde zusätzlich zur **Reduktion an human- und ökotoxischen Spurengasfreisetzungen** bei.
- Die **Verbrennung von Biomasse ist weitgehend CO_2-neutral**. Würden Biofestbrennstoffe nicht energetisch genutzt und an ihrem Entstehungsort belassen, entstünde infolge biologischer Zersetzungsprozesse in der gleichen Größenordnung Kohlenstoffdioxid. Damit ist die Klimavorteilhaftigkeit der Biomassenutzung direkt abhängig davon, **wie nachhaltig die Biomasse bereitgestellt wird**. Dies zeigen auch die oben diskutierten Berechungen, bei denen die nicht nachhaltig bereitgestellte Biomasse unter Klimaschutzaspekten einen wesentlichen Einfluss auf die Vorteilhaftigkeit der Biomas-

senutzung im Vergleich zu der fossiler Energieträger hat. Deshalb muss durch sinnvolle und zielorientierte Maßnahmen sichergestellt werden, dass nur so viel Biomasse aus den vorhandenen Ressourcen entnommen wird, wie dort auch nachwächst. Derartige Maßnahmen sollten zunächst an solchen Orten ergriffen werden, an denen eine signifikante Übernutzung und damit Degradation der vorhandenen Biomasseressourcen stattfindet.

– Die energetische Ausschöpfung des Biomassepotenzials in Entwicklungsländern kann zu einer weiteren Vermeidung der Nutzung fossiler Brennstoffe führen und damit die Treibhausgasemissionen weiter reduzieren. Am größten ist die Vermeidung zusätzlicher klimawirksamer Spurengase dann, wenn das Potenzial mit möglichst effizienten Anlagen gewerblich oder industriell genutzt wird. Die vermeidbaren Spurengasemissionen liegen hier höher als bei einer Potenzialausschöpfung mit vorhandenen Anlagen. Bei **industriellen Biomasseverbrauchern** im größeren Leistungsbereich dürfte darüber hinaus die Akzeptanz einer neuen Technik eher mit den jeweiligen ökonomischen Randbedingungen korrelieren, als dies für eine Nutzung im Haushaltssektor der Fall ist. Auch im industriellen Bereich ist eine ordnungsgemäße Bedienung und Wartung wichtig.
– Im Vergleich zur Nutzung der Potenziale anderer Energieträger stellt Biomasse eine Option dar, mit der **kostengünstig ein erheblicher Anteil von CO_2 vermieden werden kann**.

1.2 Pflanzenöle

Im Ölpflanzenanbau werden Emissionen direkt durch die landwirtschaftliche Aktivität sowie die dafür benötigten Betriebsmittel und indirekt durch die Freisetzung von Lachgas aus stickstoffhaltigen Düngemitteln verursacht. Im Ölpalmenanbau beispielsweise stellt die Düngung nach dem Transport den zweitgrößten Energieaufwand dar und ist somit auch eine große Emissionsquelle (Tab. 29). Die verschiedenen Treibhausgase werden hier in Kohlenstoffdioxidäquivalenten (CO_{2eq}) ausgewiesen, d.h. ihre Klimawirksamkeit ist auf die von CO_2 umgerechnet.

Tab. 29: Energieaufwand und Emissionen beim Ölpalmenanbau*

	Energieaufwand (GJ/ha)	*Emissionen (kg CO_2/ha)*
Düngemittel	11,2	404,3
Agrochemikalien	0,8	50,9
Arbeitskräfte	0,7	55,8
Transport und Maschinen	5,1	406,5
Summe	17,8	917,5

* Zugrunde gelegt wurde ein Ertrag von 20 t Fruchtstände pro Hektar.

Quelle: Sauerborn et al. 2000, S. 25

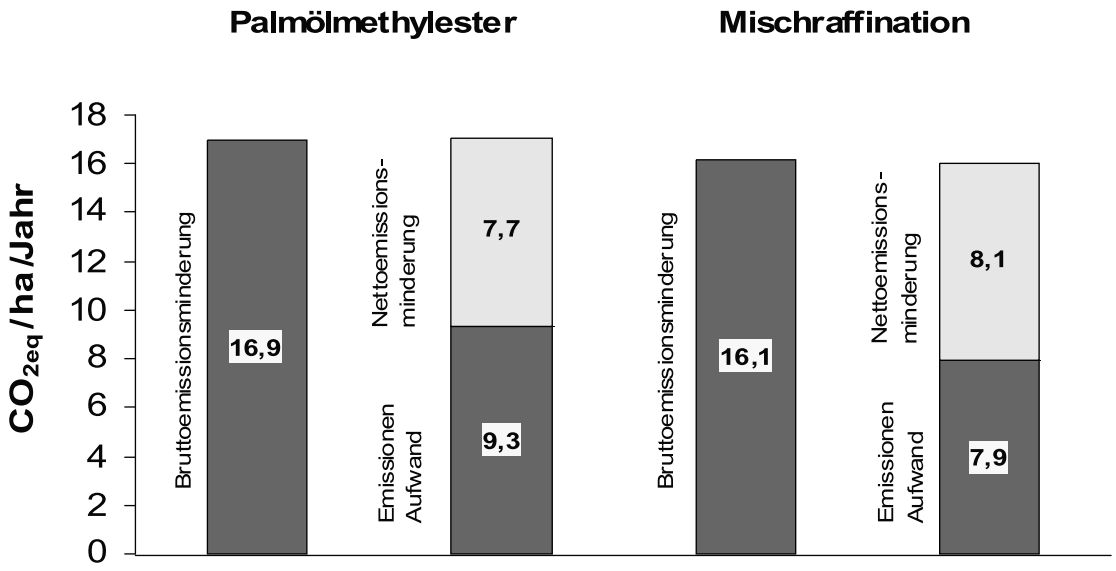
In der Weiterverarbeitung des Pflanzenöls entstehen je nach Verfahren (Kap. III.2) unterschiedlich hohe Emissionen, und abhängig vom Umfang der energetischen Nutzung von Nebenprodukten fallen die entsprechenden ökologischen Bilanzen dieser Verfahren aus. Im Folgenden werden die Emissionsbilanzen einiger ausgewählter Verfahren vorgestellt. Da Pflanzenöle in kaum einem Land flächendeckend energetisch genutzt werden, basieren die den Bilanzen zugrundeliegenden Berechnungen nicht immer auf empirischen Daten, sondern auf Annahmen bzw. generalisierten Rahmenbedingungen.

Emissionsbilanzen

Emissionsbilanzen hängen maßgeblich davon ab, wie die einzelnen Produkte bewertet werden. Hier werden als Produkte Palmöl und Palmkerne bzw. Palmkernöl und Palmkernextraktionsschrot berücksichtigt. Dabei wird angenommen, dass das anfallende Palmkernextraktionsschrot eine entsprechende Menge Sojaextraktionsschrot (für die Tierfütterung) ersetzt und die dadurch verringerte Produktion von Sojaöl durch Palmkernöl ausgeglichen wird. Das übrigbleibende Palmkernöl kann dann zusammen mit dem Palmöl entweder zu Methylester verarbeitet oder einer Mischraffination zu Diesel unterzogen werden. Aus Abbildung 11 wird deutlich, dass sich die Emissionsbilanzen von Palmölmethylester und palmölstämmigem Diesel aus der Mischraffination nur unwesentlich unterscheiden. Der Unterschied zwischen Brutto- und Nettoemissionsminderung ergibt sich aus den Emissionen, die durch den Energieaufwand im

gesamten Produktionsprozess sowie durch die Düngung und Lagerung von Zwischen- bzw. Abfallprodukten entstehen (Sauerborn et al. 2000, S. 42 ff.).

Abb. 11: Emissionsbilanzen von Palmölmethylester und Mischraffination



Quelle: nach Sauerborn et al. 2000, S. 45 u. 48 (verändert)

Die Mischraffination weist eine geringfügig höhere Nettoemissionsminderung auf, die durch die vollständige energetische Nutzung der Nebenprodukte aus den Ölmühlen (Fruchtfasern, Steinschalen, Biogas, ausgedroschene Fruchtstände) von 8,1 auf 12,8 t CO_{2eq} pro Hektar und Jahr erhöht werden kann. Ein erhebliches technisches Verbesserungspotenzial ergibt sich hier also aus der optimalen Verfahrensgestaltung unter Klimaschutzaspekten (Sauerborn et al. 2000, S. 73). Zum Vergleich muss hier aber hinzugefügt werden, dass z.B. die Holznutzung als Festbrennstoff in Kohlekraftwerken eine mehr als doppelt so hohe Nettoemissionsminderung bewirkt (Sauerborn et al. 2000, S. 76). So liegt das globale Potenzial des Ölpalmenanbaus zur Emissionsminderung nur bei 40 Mio. t CO_{2eq} /Jahr (ca. die Hälfte davon durch den Anbau in Südostasien) und ist damit gegenüber dem Potenzial von Biofestbrennstoffen (Kap. V.1.1) extrem gering (Sauerborn et al. 2000, S. 79).

Emissionen durch Erhöhung der Pflanzenölproduktion

Pflanzenöl zur energetischen Nutzung kann entweder aus der heutigen Produktion stammen oder durch eine Produktionssteigerung bereitgestellt werden. In beiden Fällen ist mit Auswirkungen auf die Umwelt v.a. in den Ländern zu rechnen, in denen Ölpflanzen angebaut werden. Aufgrund seiner Verbreitung in den Entwicklungsländern dient der Ölpalmenanbau hier weiterhin als Fallbeispiel.

Die Erhöhung der aktuellen Palmölproduktion kann, ohne das neue Flächen in Kultur genommen werden, durch die **Steigerung des Flächenertrags** erreicht werden. Dies wäre bis hin zu einem dem Standort angepassten Höchstertrag ökonomisch und ökologisch vertretbar. Zusätzliche Emissionen ergäben sich vorwiegend aus der dazu notwendigen Steigerung der Nährstoffzufuhr (Sauerborn et al. 2000, S. 58 f.).

Bei einer **Ausdehnung der Anbaufläche** ist dagegen mit erheblichen negativen Wirkungen für die Umwelt zu rechnen. Fläche, die landwirtschaftlich genutzt werden soll, muss von ihrer natürlichen oder anthropogen beeinflussten Vegetationsdecke befreit werden. Üblicherweise werden Ölpalmplantagen durch Konversion von Wald eröffnet, da erstens das Verfahren zur Akquisition von Waldflächen relativ einfach ist und zweitens die Vermarktung der Hölzer gewinnbringend ist. Die Qualität und Quantität der Emissionen, die durch die Rodung freigesetzt werden, hängen entscheidend von der Menge der gerodeten Biomasse je Flächeneinheit und der Nutzungsart der Biomasse nach der Rodung ab. Die **Brandrodung** zum Anlegen von Ölpalmplantagen ist in den meisten Ländern per Gesetz verboten. Da aber das Urbarmachen von Waldflächen in den Tropen aufgrund der großen Menge oberirdischer Biomasse schwierig ist, wird in der Praxis nicht immer auf das Brennen verzichtet. Bei der Brandrodung eines Hektars tropischen Regenwaldes werden ungefähr 208 t CO_{2eq}/ha freigesetzt, was die Emissionsbilanz von Palmöl bedeutend verschlechtert. So würden die rodungsbedingten Emissionen selbst bei optimaler Produktion und Weiterverarbeitung des Palmöls erst nach 13 Jahren neutralisiert werden. Die Bilanz fällt sogar noch negativer aus, wenn die z.B. in Südostasien reichlich vorhandenen **Torfböden** in die Flächenausdehnung miteinbezogen werden. Bei einer Torfmächtigkeit von einem Meter würde sich eine solche Maßnahme erst nach 200 Jahren positiv auf die Kohlenstoffdioxidkonzentration in der Atmosphäre auswirken.

Neben der Rodung von Waldflächen besteht die Möglichkeit, den Ölpalmanbau auf andere landwirtschaftlich genutzte Flächen auszudehnen. In Malaysia und Indonesien werden aufgrund des höheren Deckungsbeitrages Kautschuk-

und Kakaopflanzungen gerodet und zu Ölpalmenplantagen umgewandelt. Die Wiederherstellung der Fruchtbarkeit und **Nutzung von degradiertem Land** stellt eine weitere Alternative dar, um den Ölpalmanbau auszuweiten, ohne Waldflächen zu roden oder andere Kulturpflanzen zu verdrängen, und hätte dabei einen deutlich positiven Umwelteffekt (Sauerborn et al. 2000, S. 62 f. u. 78).

Fazit

Eine positive Emissionsbilanz von Palm- und Palmkernöl aber auch von anderen Pflanzenölen in der energetischen Nutzung hängt in hohen Maße von der Gestaltung des Verarbeitungsprozesses und der Standortwahl ab. Deshalb müssen diese so optimal wie möglich gestaltet bzw. getroffen werden.

Das weltweite Potenzial von Pflanzenöl zur Emissionsminderung ist wesentlich niedriger als das von Biofestbrennstoffen. Deshalb bietet es sich an, die energetische Nutzung von Pflanzenölen auf ausgewählte Segmente des Transportsektors (z.B. landwirtschaftliche Maschinen) zu beschränken, während Biofestbrennstoffe zur Deckung des Energiebedarfs stationärer Anlagen verwendet werden.

1.3 Biogas

In Industrieländern ersetzt Biogas fast immer einen verfügbaren fossilen Energieträger, wie Diesel oder Strom aus fossilen Energieträgern. Das erzeugte Biogas wird entweder von den Erzeugern selbst genutzt oder verstromt und gegen eine staatlich garantierte oder vom Markt bezahlte lukrative Vergütung ins öffentliche Netz eingespeist. In den meisten Entwicklungsländern sind die Einwohner dagegen auf Brennholz oder Kuhdung als einzig verfügbare Energiequelle angewiesen. Vor diesem Hintergrund ist es das Ziel der Biogasnutzung in Entwicklungsländern, einen mangels Energieinfrastrukturen oder Energieträgern nicht gedeckten Energiebedarf zu befriedigen oder traditionelle Brennstoffe und gesundheitsschädigende Energieumwandlungstechniken zu ersetzen (Rösch 2000, S. 34).

Bei der Holznutzung in traditionellen Herden können gesundheitsschädigende Emissionen (z.B. Kohlenmonoxid, Benzen, Formaldehyd, Benzo(a)pyren, Aromaten und lungengängige Partikel) entstehen. Dies kann insbesondere bei Müttern und Kindern, die über längere Zeit dieser Belastung ausgesetzt sind, zu Gesundheitsbelastungen führen. Im Mittel liegen die aus der Verbrennung resultierenden Konzentrationen an Partikeln und Kohlenmonoxid z.Z. noch

deutlich über den von der WHO empfohlenen Grenzwerten. Von besonderer Bedeutung ist ferner die Reduzierung klimarelevanter Gasemissionen. Diese findet auf zwei Wegen statt: Zum einen werden weniger fossile Energieträger genutzt bzw. verfügbare biogene Energiequellen effizienter in Nutzenergie umgewandelt. Zum anderen wird der Anteil natürlich frei werdender Klimagasemissionen aus dem Abbau tierischer Exkrementen verringert. Die in den asiatischen Entwicklungsländern anfallenden tierischen Exkremente bilden eine nennenswerte Emissionsquelle für Methan und andere klimarelevante Gase. Würden diese Exkremente mit Hilfe der Biogastechnologie energetisch genutzt und hierdurch zum Kochen verwendetes Kerosin ersetzt, könnten die Emissionen entsprechend Tabelle 30 reduziert werden (Rösch 2000, S. 35).

Tab. 30: Reduktionspotenzial klimawirksamer Emissionen im Vergleich zur gegenwärtigen Situation (bei Ersatz von Kerosin)

Region	CO_2	CH_4	N_2O
China	34 %	41 %	39 %
Indien	38 %	33 %	31 %
Asien gesamt	20 %	53 %	61 %

Quelle: nach Rösch 2000, S. 35, 43 u. 46

In vielen Regionen der Welt kann die Biogastechnologie deshalb dazu beitragen, die negativen ökologischen und ökonomischen Auswirkungen der Brennholzknappheit zu entschärfen. Pro m^3 erzeugtem Biogas können zwischen 1,5 und 3,5 kg Brennholz eingespart werden. Berücksichtigt man darüber hinaus den besseren Wirkungsgrad bei der energetischen Nutzung von Biogas im Vergleich zum offenen Feuer, können bis zu 5 kg Brennholz durch 1 m^3 Biogas substituiert werden. Je nach spezifischer Energiedichte der verwendeten Biomasse müssen unterschiedlich hohe Mengen Biogas aufgewendet werden, um dieselbe Nutzenergie zur Verfügung zu stellen (Tab. 31).

Die Biogastechnologie bringt noch weitere Vorteile wie die Verminderung von Hygieneproblemen und Geruchsemissionen sowie die bessere Verfügbarkeit von Pflanzennährstoffen mit sich. Während diese Umweltaspekte in den Entwicklungsländern bislang eher wenig förderrelevantes Gewicht besitzen, genießen sie bei Anwendern in Industriestaaten einen mindestens ebenso großen Stellenwert wie die Substitution zugekaufter fossiler Energie.

Tab. 31: Substituierbarkeit von Energieträgern durch Biogas

substituierter Energieträger	*Bedarf an Biogas*
1 kg getrockneter Kuhdung	100 l
1 kg Brennholz	200 l
1 kg Holzkohle	500 l

Quelle: GATE 2000, nach Rösch 2000, S. 35

2. Sozioökonomische Auswirkungen

Die ökonomischen Auswirkungen der Nutzung von Bioenergieträgern sind in Industrie- und Entwicklungsländern gleichermaßen komplex. Die sich aus einer verstärkten Biomassenutzung in Entwicklungsländern ergebenden Auswirkungen auf die Ökonomie in Industrieländern sind dabei besonders schwierig abzuschätzen. Aus diesem Grund werden die ökonomischen Zusammenhänge der Bioenergienutzung im Folgenden für Entwicklungs- und Industrieländer getrennt betrachtet.

2.1 Entwicklungsländer

Die genauen Wechselwirkungen zwischen einer unzureichenden **Energieversorgung** und **Armut** sind bislang noch nicht im Einzelnen untersucht. Eine schlechte Energieversorgung stellt aber sowohl Ursache als auch Auswirkung von Armut dar, und eine Verbesserung wird als wichtige Voraussetzung zu ihrer Überwindung bewertet (Wittmer/Berger 2000, S. 54 u. 58). Dieser Effekt verstärkt sich, wenn die Verbesserung der Energieversorgung im Zusammenhang mit Verbesserungen der Wasserversorgung, des Sanitärbereiches und der Ausbildung einher gehen. Studien im ländlichen Peru haben gezeigt, dass der zusätzliche Entwicklungsimpuls durch Ausbildung siebenmal höher liegt als durch eine Verbesserung der Wasserversorgung. Unumstritten ist die Bedeutung von Bioenergieträgern für die ärmsten Bevölkerungsschichten. Diese setzen überproportional viel Bioenergieträger ein, und die Hemmnisse zur Verbesserung des Energieeinsatzes treten dort besonders stark auf.

Die **bisherige Nutzung** von Bioenergieträgern zeichnet sich durch **geringe Investitionskosten**, aber vergleichsweise **hohe laufende Kosten** aus. Dies trifft

insbesondere zu, wenn traditionelle Geräte verwendet werden. In diesem Fall sind die Kosten pro Endenergieeinheit oft teurer, als wenn moderne Energieträger zum Einsatz kommen, weil der Nutzungsgrad sehr gering ist. Teurer sind traditionelle Energieträger entweder durch monetär entstehende Kosten für den Erwerb von Bioenergieträgern oder aufgrund der Nutzungskosten für die benötigte Zeit. Frauen könnten andere Arbeiten erledigen bzw. Kinder könnten mehr Zeit für ihre Ausbildung verwenden, was entsprechend positive Auswirkungen auf die Volkswirtschaft hätte. Neben relativ hohen laufenden Kosten zeichnet sich der Einsatz von Bioenergieträgern oft auch durch **eine geringere Qualität des Services** aus, vor allem beim Einsatz von Holz oder Dung zum Kochen. Die Einsatzmöglichkeiten von Bioenergieträgern sind außerdem geringer und **weniger flexibel** als die moderner Energieträger wie Strom oder Gas, die wesentlich mehr Möglichkeiten u.a. zur Schaffung von Einkommensquellen bieten.

Von einer insbesondere auch qualitativen Verbesserung der Energieversorgung für arme Haushalte wird somit eine **Verbesserung der Lebensqualität** und eine **Verbesserung der Einkommensmöglichkeiten** erwartet. Der Zugang zu modernen Energieträgern ist für diese Bevölkerungsschichten besonders schwierig, da sie nicht nur über weniger Kaufkraft verfügen, sondern meist in schwerer erschließbaren Gegenden leben (auf dem Land oder in ungeplanten Siedlungen), in denen der Zugang zu modernen Energieträgern entsprechend teurer und oft auch komplizierter ist (Wittmer/Berger 2000, S. 53).

Darüber hinaus kann die Bereitstellung von Bioenergieträgern (z.B. im Falle von Ölpflanzen) einen positiven Einfluss auf die Beschäftigungs- und Einkommensverhältnisse sowie die Wirtschaftskreisläufe und Wertschöpfung in bestimmten Regionen haben. Dies ist für die Entwicklungsländer, wo zurzeit etwa ein Drittel der arbeitsfähigen Bevölkerung von offener oder verdeckter Arbeitslosigkeit betroffen ist, von besonderer Bedeutung. Die **Beschäftigungswirkung** ist von der Ölpflanze, dem Anbauverfahren, der Technik der Ölgewinnung und Konditionierung sowie von der Anwendung des Pflanzenöls bzw. Pflanzenölmethylesters abhängig. Der Anbau von Ölpalmen im kleinflächigen Maßstab ist arbeitsintensiver als die Produktion in Plantagen, die zwischen 3.000 bis 5.000 ha umfassen. Kleinbäuerliche Systeme benötigen für 2 bis 3 Hektar eine Arbeitskraft; bei der Plantagenbewirtschaftung ist dagegen ein Arbeiter für 4 bis 5 Hektar zuständig (Rösch 1998, S. 57). Bei gleichzeitigem Wachstum (z.B. im Industriesektor) muss allerdings damit gerechnet werden, dass Arbeitskräfte zunehmend in andere Bereiche abwandern, was beispielsweise in Malaysia schon zu Engpässen auf dem Arbeitsmarkt geführt hat (Sauerborn et al. 2000, S. 60). Die Schaffung von Brennstoffmärkten und die

nachhaltige Bereitstellung von Biofestbrennstoffen stellt ein weiteres Potenzial für den Arbeitsmarkt dar.

Solange die verstärkte Nutzung von Bioenergieträgern zur Erhöhung des Lebensstandards führt und nicht mit anderen Wirtschaftszweigen (z.B. durch den Arbeitskraftbedarf) konkurriert, **sind die ökonomischen Auswirkungen für Entwicklungsländer positiv einzuschätzen**. Dies gilt gleichermaßen für alle hier untersuchten Bioenergieträger, ebenso wie die Tatsache, dass die Kosten für diesen verstärkten und verbesserten Einsatz von Bioenergie den limitierenden Faktor darstellen (Ullrich/Kaltschmitt 1999, S. 62).

Die spezifischen kulturellen Auswirkungen des verstärkten Einsatzes einzelner Technologien dürfen dabei nicht unterschätzt werden, da sich wirtschaftliche Rahmenbedingungen meist schneller verändern als die in Verbindung damit gewachsenen sozialen und kulturellen Strukturen. An die politische und institutionelle Ausgestaltung dieser Rahmenbedingungen sind deshalb besonders hohe Anforderungen hinsichtlich der langfristigen Planung und Regelung der Energieversorgung gestellt.

2.2 Industrieländer

Die verstärkte Nutzung von Bioenergieträgern in Entwicklungsländern kann sich entweder direkt oder indirekt auf Industrieländer auswirken. Ein **direkter Nutzen** ergäbe sich aus einem wachsenden Markt für moderne Technologien und Großanlagen im Bioenergiebereich (z.B. moderne Biogastechnologien). So gibt es schon heute mehrere deutsche Firmen, die im Bereich Bioverfahrenstechnik international operieren und deren Investitionsspielraum sich durch die verschiedenen Kyoto-Mechanismen (Kap. VI) bedeutend erweitern ließe. Die deutsche Wirtschaft hat sich zu dem Konzept des Handels mit Emissionsrechten noch nicht eindeutig positioniert. Trotzdem werden die flexiblen Instrumente des Kyoto-Protokolls als kosteneffiziente Maßnahmen beurteilt. Der ökonomische Nutzen resultiert dabei einerseits aus dem erweiterten Markt für Spitzentechnologien und andererseits aus der Möglichkeit, Emissionen kostengünstiger zu vermeiden. Der wirtschaftliche Anreiz für die entsprechenden Investitionen bzw. die Technologieentwicklung muss aber durch umweltpolitische Maßnahmen geschaffen werden (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 40 f.). Die Einhaltung der Reduktionsverpflichtungen in den Industriestaaten ist daher eine der wesentlichen Voraussetzung für eine gezielte Förderung regenerativer Energien.

Neben dem Transfer von Technologien spielt zusätzlich der Transfer von Know-how eine Schlüsselrolle. Je komplexer die Technologie bzw. das Verfahren, desto höher sind die Anforderungen an das Bedienungspersonal. Die Erfahrungen aus der Entwicklungszusammenarbeit und der vergleichsweise hochentwickelte technische Stand in der Nutzung von Bioenergie erlauben zudem aus deutscher Sicht vielfach die Übernahme von Beratungsfunktionen in der Projektentwicklung. Günstige Finanzierungsmöglichkeiten für entsprechende Projekte im Ausland existieren schon jetzt, werden aber aus verschiedenen Gründen bisher nicht ausreichend genutzt. Für Investitionen im Ausland und speziell im Umweltbereich sind folgende Programme der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) relevant. Das **KfW-Mittelstandsprogramm**

- fördert mittelständische Unternehmen der gewerblichen Wirtschaft, deren ausländische Tochtergesellschaften sowie Joint Ventures mit deutscher Beteiligung und freiberuflich Tätige.
- Die Unternehmen müssen sich mehrheitlich im Privatbesitz befinden und dürfen einen maximalen Jahresumsatz von 500 Mio. EURO nicht überschreiten.
- Finanziert werden langfristige Investitionen im Ausland, Vorhaben im Technologietransfer, Initialkosten bei Geschäftsgründung oder Erweiterung und Feasibility Studies.
- Je nach Umsatz des Unternehmens werden bis zu 75 % der Investition von der KfW finanziert.
- Die maximale Laufzeit der Kredite ist 20 Jahre bei 3 tilgungsfreien Anlaufjahren.

Das **KfW-Umweltprogramm-Ausland**

- Fördert mittelständische Unternehmen und Betreibermodelle der Entsorgungswirtschaft.
- Alle Bedingungen sind wie beim zuvor genannten Programm, jedoch bei sehr niedrigen Zinssätzen zwischen 0,25 und 0,15 Prozentpunkten.

Kombinationen aus beiden Programmen sind möglich.

Indirekte Auswirkungen auf der anderen Seite hätte langfristig eine Linderung der u.a. durch Energiemangel bedingten Armutssituation in vielen Entwicklungsländern. Ein steigender Lebensstandard und politische Stabilität beispielsweise beeinflussen den internationalen Handel und das Investitionsklima in der Regel positiv. Die im Kapitel II diskutierten Szenarioanalysen bestätigen eine solche Einschätzung, da sie eine enorme Steigerung vor allem des kommerziellen Marktes in Entwicklungsländern für Energie aus Biomasse voraussagen (Valdivia/Wolters 2000, S. 2). Die Forschung und Erfahrung aus Industrieländern könnte dazu einen entscheidenden Beitrag leisten.

VI. Gemeinsame Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen - Clean Development Mechanism

Die Förderung des Einsatzes von Bioenergieträgern in Entwicklungsländern kann unter verschiedenen Gesichtspunkten und mit unterschiedlichen Zielen stattfinden. Ein wesentlicher Vorteil biogener Energie ist jedoch ihr Potenzial zur Reduktion von Klimagasen, weshalb sie neben anderen regenerativen Energieträgern einen besonderen Stellenwert für Projekte mit dem primären Ziel des Klimaschutzes einnimmt. Im Verlaufe der internationalen Klimaschutzverhandlungen wurde 1997 in Kyoto erstmals ein gesetzlicher Rahmen (Kyoto-Protokoll) für die Durchführung solcher Projekte geschaffen, der bis heute von allen Vertragspartnern mit Ausnahme der USA anerkannt wird. Innerhalb des Kyoto-Protokolls ist der Clean Development Mechanism (CDM) für den Einsatz biogener Energieträger in Entwicklungsländern von besonderer Bedeutung und soll deshalb im Folgenden vorgestellt werden. Ein Schwerpunkt wird dabei im Bereich der vielen bisher noch ungeklärten Fragen gesetzt, welche für die erfolgreiche Ausgestaltung des CDM eine Rolle spielen.

1. Instrumente der internationalen Klimapolitik

Im Vorfeld der Verhandlungen zur Klimakonvention hatte Norwegen 1991 die Idee in die Diskussion gebracht, dass Länder ihre Emissionsziele nicht nur durch Maßnahmen im Inland, sondern auch durch Investitionen im Ausland erreichen können. Durch die Ausnutzung von Kostenunterschieden zwischen den Ländern könnten die Emissionsziele so billiger erreicht werden. Eine Zielüberschreitung im Inland würde durch die Anrechnung der im Ausland erbrachten Emissionsverringerung kompensiert. Dieses **Kompensationsprinzip** fand in die **Klimakonvention** insofern Eingang, als Artikel 4 (2a) die "gemeinsame Umsetzung" von Zielen und Maßnahmen erlaubt, und wird heute **Joint Implementation (JI)** bezeichnet. Wie diese im Detail ablaufen solle, blieb jedoch unklar. Bald kam es zu einer offenen Kontroverse zwischen einigen Industriestaaten, die das Konzept gern zügig umgesetzt hätten, und der Mehrheit der Entwicklungsländer, die es ablehnten. Letztere hatten gehofft, dass die Klimakonvention zu großen, ungebundenen Finanztransfers in den Süden führen würde. Joint Implementation wurde als Eingriff in die nationale Souveränität

gesehen und führte zum Streit zwischen Nord und Süd. Hinzu kam der Druck seitens der großen Umweltorganisationen, die das Konzept als "Ablasshandel" verdammten. Sie befürchteten, dass JI in den Entwicklungsländern hauptsächlich zu Baumplantagen führe, da diese sehr kostengünstig Emissionen speichern. Trotz dieser ungünstigen Ausgangssituation begannen die USA, Norwegen und die Niederlande, nationale Koordinationsstellen für JI aufzubauen und Pilotprojekte v.a. in Transformationsländern zu entwerfen, die der Idee weniger kritisch gegenüberstanden (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 2 f.).

Costa Rica, das schon häufig Vorreiter hinsichtlich innovativer umweltpolitischer Instrumente gewesen war, gründete als erstes Entwicklungsland ein Koordinationsbüro und schloss 1994 einen Rahmenvertrag über JI mit den USA ab. Das Beispiel Costa Ricas stieß bei einer Reihe lateinamerikanischer Länder auf Interesse, so dass bei der Berliner Konferenz 1995 die Ablehnungsfront zusammenbrach. Es kam zu einem Kompromiss, der unter dem neuen Namen **Activities Implemented Jointly (AIJ)** eine Erprobungsphase für JI festlegte, die bis Ende 1999 laufen sollte. Während dieser Zeit durften die Emissionsverringerungen nicht auf die Ziele der Industrieländer angerechnet werden (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 3).

Im Dezember 1997 wurde auf der 3. Vertragsstaatenkonferenz in Japan das **Kyoto-Protokoll** verabschiedet. Wenn auch sein Inkrafttreten bisher nicht gesichert ist, da sich in einer Reihe von Ländern heftiger innenpolitischer Widerstand abzeichnet, so legt es doch erstmals bindende Emissionsziele für die Industrieländer zum Zeitraum 2008-2012 fest. Gleichzeitig wurde eine Reihe von **Flexibilisierungsmechanismen** zugelassen (Tab. 32).

Das **Bonner Abkommen vom Juli 2001** konnte einige der offenen Fragen lösen und sollte eine Ratifikation des Kyoto-Protokolls ermöglichen.

Eine Anrechnung von aus **Projekten des Clean Development Mechanism (CDM)** resultierenden Emissionsverringerungen sollte schon ab 2000 möglich sein, während Joint Implementation erst ab Beginn der Zielperiode 2008 berücksichtigt wird. Allerdings werden CDM-Projekte mit einer Abgabe in Höhe von 2 % der Emissionsgutschrift (CER) belegt, aus der Anpassungsmaßnahmen und die Verwaltungskosten des CDM gedeckt werden sollen. Trotz vieler Unsicherheiten bezüglich der endgültigen Ausgestaltung des Mechanismus (Kap. VI.3), sind in Artikel 12 des Kyoto-Protokolls einige grundsätzliche Kriterien zur Projektgestaltung festgelegt. So müssen Projekte im Rahmen des Clean Development Mechanism:

- Einen Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung des Gastgeberlandes leisten,
- auf absoluter Freiwilligkeit basieren,
- echte, messbare und dauerhafte Linderungen des Klimawandels erzielen sowie
- zusätzliche Reduktionen erreichen über das hinaus, was in Abwesenheit des Projekts geschehen wäre.

Tab. 32: Übersicht über die flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls

Mechanismus, Artikel des Kyoto-Protokolls	*Funktionsweise*	*beteiligte Parteien*	*transferierte Emissionseinheiten*
Zielgemeinschaft, Art. 4	Mehrere Staaten definieren ein Emissionsgesamtziel, das intern umverteilt werden kann (Bsp.: EU)	Annex-I-Staaten[1]	--
Emissionshandel, Art. 17	Handel von Emissionsrechten zwischen Industrieländern	Annex-B-Staaten[2]	Assigned Amount Units (AAU)
Joint Implementation, Art. 6	Anrechnung der Emissionsverringerung aus Projekten in anderen Industrieländern	Annex-I-Staaten[1]	Emission Reduction Units (ERU)
Clean Development Mechanism, Art. 12	Anrechnung der Emissionsverringerung aus Projekten in Entwicklungsländern	Annex-I-Staaten[1] und Nicht-Annex-I-Staaten	Certified Emission Reductions (CER)

1) Staaten, die im Annex-I der Klimarahmenkonvention aufgeführt sind; 2) Annex-I-Staaten, die sich im Rahmen des Kyoto-Protokolls zu einer Emissionsverringerung verpflichtet haben.

Quelle: Michaelowa/Dutschke 2000, S. 4

2. Charakteristika und Problembereiche des CDM

Schon in der Erprobungsphase der JI zeigte sich, dass einige **Voraussetzungen** gegeben sein müssen, damit die sich aus dem CDM ergebenen Möglichkeiten genutzt werden können. Aus dem Konzept des Kyoto-Protokolls resultieren ferner bestimmte **Wechselbeziehungen** zwischen den einzelnen Klimaschutzmechanismen auf der einen Seite und zwischen möglichen Projektformen im Clean Development Mechanism auf der anderen.

2.1 Erste Erfahrungen

Nach der Berliner Entscheidung über **Activities Implemented Jointly (AIJ)** wurden viele Projekte zur Reduktion von Emissionen in Entwicklungsländern vorgeschlagen, deren **Realisierung dann aber eher schleppend verlief** (Tab. 33). Folgende **Gründe** waren dafür ausschlaggebend:

– Kaum ein Industrieland setzte inländische Anreize für Unternehmen, in AIJ zu investieren. Damit beschränkte sich das kommerzielle Interesse auf solche Projekte, die entweder sehr medienwirksam waren, eine Marktöffnungsfunktion hatten oder ohnehin Gewinn brachten.
– Die Transaktionskosten waren aufgrund der Neuheit des Konzepts zunächst sehr hoch.
– Viele Länder waren nicht bereit, Projekte zuzulassen.

Der Hauptanteil an den Projekten hat sich in den betrachteten fünf Jahren deutlich zu Gunsten der Entwicklungsländer verschoben, obwohl sich der Widerstand wichtiger Entwicklungsländer wie Indien und China beim Fortgang der Verhandlungen eher wieder verschärfte. Wenn zu Beginn noch - wie von vielen Kritikern erwartet - eine große Zahl von Projekten im Bereich der Walderhaltung und Wiederaufforstung angemeldet wurden, fanden sich im Jahre 2000 76,4% der Projekte in den Bereichen Energieeffizienz und erneuerbare Energien. Diese Beobachtung deckt sich mit den Aussagen zu den technischen Potenzialen für die in Kapitel III betrachteten Bioenergieträger. Des Weiteren fanden Projekte in den Bereichen Erstaufforstung, Landwirtschaft, Brennstoffsubstitution und Methanauffang statt, wobei letztere zusammen mit Walderhaltung und Wiederaufforstung mehr als zwei Drittel der gesamten Emissionsverminderung der AJI-Projekte bewirkte (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 6 f.). Auf die verschiedenen Projekttypen wird weiter unten im Einzelnen eingegangen.

Tab. 33: Entwicklung der Erprobungsphase von Activities Implemented Jointly

	1995	*1996*	*1997*	*1998*	*1999*	*2000*
Zahl der bewilligten Projekte	10	16	61	95	122	140
Zahl der Projekte in Realisierungsphase[1]	0	3	13	70	86	n.a.
Zahl der Investorländer	3	3	5	8	11	11
Zahl der Gastgeberländer	7	7	12	24	34	37
- davon Transformationsländer/ Anteil an Projekten	5/60 %	5/50 %	7/74 %	10/72 %	11/65 %	11/59 %
geplante Emissionsverringerung (Mio. t CO_2)[2]	23	111	140	162	217	362
davon Anteil in Transformationsländern	56,5 %	39,5 %	32,6 %	31,3 %	24,4 %	15,6 %

1) Bei diesen Angaben handelt es sich um Schätzungen - es gibt keine verlässlichen Angaben. Meist handelt es sich um kleinere Projekte in Transformationsländern.
2) Die bisher erreichte Emissionsverringerung liegt wesentlich niedriger.

Quelle: Michaelowa/Dutschke 2000, S. 6

2.2 Nationale Instrumente in Industrieländern als Anreize für CDM

Der CDM wird nur dann für private Investoren interessant, wenn sie von CDM-Projekten profitieren können. Dieser Profit hängt von der institutionellen Ausgestaltung ab. Certified Emission Reductions (CER) aus dem CDM sind für die Unternehmen nur dann interessant, wenn zumindest eine der folgenden Voraussetzungen erfüllt ist (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 7):

– Es gibt einen internationalen Markt, auf dem die Investoren die erhaltenen CER gewinnbringend verkaufen können. Dafür müssen die CER mit den Emissionsrechten, die mit den anderen Mechanismen verknüpft sind (Emission Reduction Units [ERU], Assigned Amount Units [AAU]), kompatibel sein.
– CER können bei heimischen klimapolitischen Instrumenten (Emissionssteuern, Ordnungsrecht, Selbstverpflichtung) angerechnet werden.
– Sie können im Rahmen eines nationalen Emissionsrechtshandels eingesetzt werden.

– Die Regierung kauft Emissionsrechte auf.

In der AIJ-Pilotphase gab es nur vereinzelte Anreize dieser Art, und seit Kyoto nehmen sie zögernd zu. Ein grauer internationaler **Markt für Emissionsrechte** wird durch amerikanische Brokerunternehmen gefördert. Emissionsrechte aus CDM-Projekten erzielen dort z.Z. 1,5-3 US $/t CO_2. Allerdings ist die Qualität dieser Emissionsrechte unsicher, und es bleibt fraglich, ob sie tatsächlich zu CER werden. Ein vollwertiger internationaler Markt ist erst nach der Ratifizierung des Kyoto-Protokolls zu erwarten, die sich noch Jahre herauszögern kann.

Trotz der Existenz nationaler klimapolitischer Instrumente in vielen Ländern steckt die **Verrechnung von Emissionsrechten** noch in den Kinderschuhen. Sie ist bislang in keinem Land zugelassen, obwohl der Einsatz von CO_2-Steuern zum Klimaschutz keine Seltenheit mehr ist. Die Verrechnung mit Selbstverpflichtungen ist in Kanada möglich und wird in Deutschland diskutiert. In einzelnen US-Staaten ist die Verrechnung mit Auflagen möglich. Beispielsweise konnte ein Gaskraftwerk in Oregon die CO_2-Emissionsgrenzwerte durch Investition in Forstprojekte in Entwicklungsländern erfüllen. Der Einsatz von CER soll in allen nationalen Emissionsrechtshandelssystemen möglich sein, die derzeit diskutiert werden (Großbritannien, Norwegen, Australien). Die niederländische Regierung hat einen beachtlichen Etat zum Ankauf von Emissionsrechten vorgesehen. In den nächsten drei Jahren sollen für CER 200 Mio. DM ausgegeben werden. Der Ankauf erfolgt nach einer internationalen Ausschreibung.

2.3 Der Wettbewerb zwischen den Kyoto-Mechanismen

Joint Implementation und Clean Development Mechanism unterscheiden sich in wesentlichen Punkten. JI setzt lediglich voraus, dass das Investorland ein jährliches Emissionsinventar aufstellt, während im Falle des CDM sichergestellt sein muss, dass die Projekte zu einer nachhaltigen Entwicklung beitragen. Die Gastgeberländer sollen von den Projekten profitieren. Gutschriften für CDM-Projekte haben bereits acht Jahre vor Beginn der Zielperiode Gültigkeit, dürfen aber nur einen Teil des Emissionsziels abdecken. Voraussetzung für die Entstehung einer Gutschrift ist die Zertifizierung der Emissionsverringerung durch Institutionen, die von der Vertragsstaatenkonferenz dazu ermächtigt worden sind (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 8 f.).

Ein Teil der Projekterträge soll zur **Finanzierung der Verwaltungskosten und von Anpassungsmaßnahmen** einbehalten werden. Das bedeutet, dass ein

Teil der Gutschriften hierfür verwendet werden muss. Der Wert der Gutschriften unterliegt weiterhin den marktbedingten Schwankungen des Emissionshandels.

Meist wird davon ausgegangen, dass ein **Investorland** alle **Gutschriften** aus einem Projekt erhält, und dass die positiven Externalitäten des Projekts ein ausreichender Anreiz für das Gastgeberland sind. Positive Externalitäten sind Effekte, wie z.B. verbesserte Infrastruktur oder Ausbildung, die nicht das primäre Ziel der Projekte sind, aber trotzdem den volkswirtschaftlichen Nutzen im Gastgeberland erhöhen, ohne dabei in das Kosten-Nutzenkalkül der Investoren einbezogen zu werden. **Gastgeberländer** werden dann an Gutschriften interessiert sein, wenn sie wie im Fall von JI entweder selbst ein Emissionsziel haben oder Gutschriften für eine zukünftige Zielfestlegung ansparen wollen oder wenn die Gutschriften frei handelbar sind. Es könnte sogar alle Gutschriften erhalten, wenn es das Projekt selbst finanziert und durchführt - Costa Rica strebt dies an. Jeder Anteil des Gastgeberlandes an den Gutschriften wirkt wie eine Steuer auf JI- und CDM-Projekte. Er ist also eine wichtige Politikvariable, die einem Wettbewerb unterliegt, d.h. Gastgeberländer mit einem geringen Eigenanteil an Gutschriften würden bevorzugt. Selbst wenn eine fixe Aufteilung seitens der Vertragsstaatenkonferenz vorgeschrieben würde, könnte sie durch verdeckte Zuzahlungen umgangen werden. Vor diesem Hintergrund ist es erstaunlich, dass Verträge über Projekte der laufenden AIJ-Erprobungsphase im Regelfall einen Anteil des Gastgeberlandes von 50 % vorsehen (Michaelowa/ Dutschke 2000, S. 9 f.).

Eine **Handelbarkeit von CDM-Gutschriften** wird häufig mit der Begründung abgelehnt, dass diese zu einer Aufweichung der Kyoto-Ziele führen könnte. Da im Rahmen von CDM-Projekten im Gegensatz zu anderen Kyoto-Mechanismen zusätzliche Emissionsrechte kreiert werden, könnte durch zahlreiche Projekte die Anzahl der handelbaren Emissionsrechte unkontrollierbar werden. Eine derartige Aufweichung lässt sich durch die Festlegung stringenter Regeln zur Festlegung von Referenzszenarien (Kap. VI.3) für CDM-Projekte und damit der Höhe ihrer Klimaerträge begrenzen.

2.4 Der Wettbewerb zwischen unterschiedlichen Projektformen

Die Bandbreite sinnvoller Projekte, die zu einer anrechenbaren Verringerung von Treibhausgasemissionen führen, ist sehr groß. Bei ihrer praktischen Umsetzung kann es zu Problemen kommen, die in der Natur des jeweiligen Projekttyps

liegen. Aus diesem Grund werden die Besonderheiten der einzelnen Projektformen im Folgenden skizziert. Grundsätzlich ist nicht klar, welche Projekttypen den Löwenanteil der CDM-Investitionen auf sich ziehen werden. Dies hängt auch stark von den Regeln zur Bestimmung der Referenzszenarien ab.

Maßnahmen im Forstsektor

Zu den Maßnahmen im Forstsektor zählen die Walderhaltung, die Wieder- bzw. Aufforstung und die nachhaltige Forstbewirtschaftung. Walderhaltung und Aufforstung sind derzeit mit 3 bis 8 US$ pro t CO_2-Einsparung eindeutig am **kostengünstigsten**. Forstmaßnahmen zeitigen in vielen Fällen **positive Externalitäten**, da sie Erwerbsquellen schaffen, zur Artenvielfalt und zur Verbesserung der lokalen Umweltsituation beitragen können. Bäume spenden Schatten und regulieren lokal die Temperaturen, verhindern übermäßige Evaporation, filtern die Luft und vermindern die Bodenabtragung durch Stürme oder Regenfälle. Um diese Potenziale auszuschöpfen und negative Einflüsse zu minimieren, bedarf es jedoch einer den lokalen Gegebenheiten angepassten Planung (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 11 f.).

Allen Maßnahmen im Forstsektor gemeinsam ist das **Problem der korrekten Zertifizierung der Emissionseinsparungen**. Eine genaue Abgrenzung zwischen dem Effekt von bilateralen Klimaschutz- und innerstaatlichen Maßnahmen ist oftmals schwer vorzunehmen. Wenn die Existenz eines nationalen umweltpolitischen Regelungsumfeldes im krassen Widerspruch zur rechtlichen Realität steht, könnten bilateral oder multilateral finanzierte Klimaschutzprojekte den Anstoß zur tatsächlichen Umsetzung einer Waldschutzpolitik geben (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 12).

Im Bereich der **Walderhaltung** besteht das Problem, dass die Abwesenheit einer staatlichen Waldschutzpolitik theoretisch bedeuten würde, dass sich daraus günstige Bedingungen für das Referenzszenario ergäben. Allerdings wäre damit jedoch eine wesentliche Voraussetzung für CDM-Projekte, und zwar ihre Nachhaltigkeit, nicht erfüllt. Ein Problem auf der Mikroebene ist das konkrete Bedrohungsszenario für einzelne Projektflächen. So sind Wälder entlang großer Transportwege oder in der Nähe von Städten um ein Vielfaches mehr gefährdet als abgelegene und schwer zugängliche Regionen mit hohen Erschließungskosten, welche die Walderhaltung vergleichsweise preiswert gestalten. Die große Bandbreite der Projektkosten erklärt sich also im Wesentlichen aus dem Wert des betroffenen Landes und dem daraus resultierenden unterschiedlichen Entwaldungsdruck (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 12). Walderhaltung ist durch

das Bonner Abkommen zumindest für die erste Verpflichtungsperiode des Kyoto-Protokolls nicht als CDM-Projekt zulässig.

Wiederaufforstung degradierter Flächen mit einheimischen Spezies kann einer fortschreitenden Erosion infolge menschlicher Eingriffe entgegenwirken und Waldgebiete arrondieren, um geschlossene Biotope zu schaffen. Sie wird daher meist im Zusammenhang mit Walderhaltungsmaßnahmen durchgeführt. Solange eine wirtschaftliche Nutzung der wiederaufgeforsteten Flächen nicht beabsichtigt ist, kann die für Klimaschutzmaßnahmen geforderte Zusätzlichkeit (Kap. VI.3) der Kohlenstoffspeicherung leicht nachgewiesen werden. Eine kontrollierte Rotation durch gezielten Einschlag und Neuanpflanzung von alleinstehenden Edelhölzern muss der Zusätzlichkeit prinzipiell aber nicht widersprechen (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 12 f.).

Unter **Aufforstung** wird die Umwidmung von landwirtschaftlich genutzten Flächen oder Brachflächen in produktive Wälder oder Plantagen verstanden. Sie schafft in vielen Fällen neue Erwerbsquellen und kann der Abwanderung der regionalen Bevölkerung in die Städte vorbeugen. Unter der Voraussetzung, dass die Pflanzung nachhaltig erfolgt, also die Boden- oder Wasserressourcen nicht innerhalb weniger Zyklen erschöpft, bedeutet die langfristige Umstellung auf mehrjährige Kulturen eine Speicherung von atmosphärischem Kohlenstoff in der Vegetation und als Humus im Wurzelbereich. Ob diese Maßnahme allerdings als finanziell zusätzlich zu betrachten ist, hängt vom Marktwert des Holzes, den Vermarktungswegen, der Rentabilität alternativer Nutzung und der Verfügbarkeit langfristiger Finanzierungen ab. Letztere Faktoren sind stark ortsgebunden und daher in jedem Einzelfall zu prüfen. Da oftmals geklonte Spezies angepflanzt werden, die in der Region nicht heimisch sind, sollten die Auswirkungen auf Artenvielfalt und Wasserhaushalt innerhalb und außerhalb der Projektfläche geprüft werden (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 13). Aufforstung und Wiederaufforstung sind nach dem Bonner Abkommen auf jährlich 183 Mio. t CO_2 beschränkt.

Weitere Potenziale bietet die **nachhaltige Bewirtschaftung** von Wäldern. Beim Fällen und Verholen wertvoller Edelhölzer in tropischen Wäldern wird in der Regel keine Rücksicht auf umliegende Vegetation und das Bodenleben genommen. Mit schwerem Räumgerät werden dabei Schneisen in den Wald gezogen, "wertlose" Vegetation umgerissen und der Boden verdichtet. Oft führt daher auch der selektive Einschlag zur Degradation großer Waldgebiete. Bei der Verwesung der hinterlassenen Vegetationsreste werden u.a. die Treibhausgase Kohlenstoffdioxid und Methan freigesetzt. Der herkömmliche selektive Einschlag beeinträchtigt zudem die Artenvielfalt, da gerade seltene Arten extrem orts- und nachbarschaftsgebunden sind. Nachhaltige Bewirtschaftung setzt

also eine bessere Planung voraus, um den Einschlag auf die Fläche zu verteilen, geeignete Standorte auszuwählen, die Transportwege möglichst kurz zu halten und um ggf. Ausgleichspflanzungen vorzunehmen. Auch kann sie arbeitsintensiver sein, wenn auf den Einsatz von Maschinen verzichtet wird. Viele der notwendigen Maßnahmen werden jedoch kaum zu Klimagutschriften führen, weil sie das Kriterium der Messbarkeit nicht erfüllen, wie etwa die Emissionsvermeidung durch die unterbliebene Zerstörung der Umgebungsvegetation. Ihr Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung ist jedoch unbestreitbar. Daher sollte die nachhaltige Bewirtschaftung ein notwendiges Element innerhalb von Walderhaltungs- oder Aufforstungsmaßnahmen bilden (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 13 f.).

Substitution von Energieträgern

Regenerative Energieträger wie Sonne, Wind, Wasser und Biomasse bieten langfristig ein sehr großes Potenzial zur Treibhausgasverringerung. Wie der Ausbau der Windenergie in Indien zeigt, wo Ende 1999 ca. 1.000 MW installiert waren, kann dieses Potenzial zügig genutzt werden, wenn ein brauchbarer ordnungspolitischer Rahmen existiert. Eine Sonderstellung nimmt die Brennstoffsubstitution durch Plantagenholz ein, da sie definitorisch zwischen Forst- und Energieprojekten einzuordnen ist. So plant derzeit der nationale Mischkonzern Plantar S.A. ein Projekt im brasilianischen Staat Minas Gerais, mit dem importierte Steinkohle zur Rohstahlproduktion durch Holzkohle aus Eukalyptusplantagen ersetzt werden soll. Aufforstungen zur Brennstoffgewinnung müssen nach dem Kyoto-Protokoll auf Flächen vorgenommen werden, die zuvor eine weniger dichte Vegetation aufwiesen und deren jetziger Zustand nicht aus Artenschutzgesichtspunkten erhaltungswürdig ist. Die Klimabilanz besteht demnach aus zwei Teilen: Zum einen aus der Differenz aus der Kohlenstoffbindung in der durchschnittlichen bisherigen Vegetation (etwa Viehweiden oder Maisfelder) und der durchschnittlichen Kohlenstoffbindung der Forstplantage über den Vegetationszyklus inklusive der Ernte sowie zum anderen aus der Vermeidung der Nutzung fossiler Brennstoffe durch die energetische Verwendung des Holzes (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 14).

Effizienzsteigerung bei der Energieerzeugung

Unter Effizienzsteigerung werden Maßnahmen wie die Steigerung des Wirkungsgrads von Konversionsanlagen verstanden. Bei Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen zum Beispiel lässt sich der Wirkungsgrad auf über 80 % steigern. Aufgrund der starken Ausweitung der Energieerzeugung ist in vielen Entwicklungsländern angesichts der Kapital- und Kapazitätsengpässe ein autonom vorgenommener Ersatz alter, ineffizienter Kraftwerke auszuschließen. Dieser könnte nur mittels Entwicklungszusammenarbeit oder CDM in Gang gesetzt werden. Durch Know-how-Transfer kann sichergestellt werden, dass der technische Wirkungsgrad moderner Anlagen bei der Nutzung auch tatsächlich erreicht wird (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 15).

Effizienzsteigerung in Produktionsprozessen

Die Verbesserung der Energieeffizienz hat aufgrund von Prozessinnovationen bei der Herstellung neuer Produkte eine Eigendynamik. Sie lässt sich darüber hinaus durch Anreize weiter beschleunigen. Vor allem in der Zementindustrie ergeben sich große Einsparpotenziale, da diese in vielen Entwicklungsländern den höchsten Anteil an den energiebedingten CO_2-Emissionen aufweist. Das Referenzszenario muss hier von Fall zu Fall Annahmen über die Restlaufzeit der Anlagen und die im Referenzfall bei Neuinvestition zu erwartende Effizienzsteigerung treffen. Problematisch ist auch hier wieder das Regelungsumfeld. Energiesubventionierung kann die Ausschöpfung von Effizienzpotenzialen für lange Zeit verhindern. Die Subventionierung von Energie behindert die autonome Effizienzsteigerung von Produktionsprozessen und verzerrt damit die Entwicklungen, die auf einem unregulierten Markt eintreten würden. Bei der Erstellung des Referenzszenarios sollte jedoch ein verzerrungsfreies Szenario unterstellt werden, um eine klimapolitisch falsche Vorgabe nicht zu stabilisieren (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 15 f.).

Umstellung im Agrarbereich

Im Agrarbereich kann beispielsweise durch geeignete Fütterung der bei intensiver Tierproduktion besonders hohe Methanausstoß von Rindern drastisch verringert werden. Die Methanproduktion des Nassreisanbaus hängt stark von der Art der Bewässerung ab. Auch die Produktion von Lachgas (N_2O) ist hauptsächlich vom Düngereinsatz in der Landwirtschaft abhängig. Gerade im

Agrarbereich, in dem es durch Abschottung nationaler Märkte zu hohen Ineffizienzen kommt, sind große Kostenunterschiede und daher hohe Potenziale für CDM zu erwarten. Probleme im Zusammenhang mit dieser Projektform liegen in den Bereichen des Nachweises und der damit verbundenen Messunsicherheiten (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 16).

3. Offene Fragen des CDM

Resultierend aus der Verhandlungsgeschichte wurden **strittige Fragen der Umsetzung zunächst ausgeklammert** und auf spätere Vertragsstaatenkonferenzen vertagt. Artikel 12 des Kyoto-Protokolls beschreibt jedoch schon Funktionen und vergibt teilweise Namen für Organe, die mit seiner Umsetzung beschäftigt sein werden (wie etwa der CDM-Aufsichtsrat). Es bleibt allerdings offen, für welche Funktionen neue Organe nötig sind und welche von bestehenden supranationalen Gremien übernommen werden können. Effizienzerwägungen sprechen für eine dezentralisierte Organisation und gegen die Schaffung zu vieler neuer Instanzen. Eine Einbeziehung privater Träger zur Erfüllung definierter Aufgabenbereiche könnte die Verwaltungskosten verringern. Der Organisationsbedarf wird dabei erheblich von der konkreten Ausgestaltung der Projektkooperation abhängen. Nachfolgend wird zwischen Aufgabenstellungen auf internationaler und nationaler Ebene unterschieden (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 17).

3.1 Organisation des CDM auf internationaler Ebene

Es gibt eine Reihe von Vorschlägen zur **internationalen Ausgestaltung** des CDM, die hier nach dem Kriterium der Reglementierung eingeteilt werden. Die verschiedenen Optionen sind nicht vollständig inkompatibel und können deshalb auch in gewissen Grenzen kombiniert werden (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 21). Nach dem Bonner Abkommen sind alle Varianten nebeneinander zulässig.

Unilateraler CDM

Alle Nicht-Annex-I-Länder können CDM-Projekte durchführen und CER verkaufen, ohne dass es einer anfänglichen Investition seitens eines Annex-I-Landes bedarf. Viele Entwicklungsländer sprechen sich für die Option aus, ohne Beteiligung eines ausländischen Investors CDM-Projekte im eigenen Land

durchzuführen. Dieses wird allerdings von der EU abgelehnt. Costa Rica hat mit der Schaffung von "Certified Tradable Offsets" (CTOs) schon 1996 versucht, diese Idee umzusetzen. Die Befürworter des Unilateralen CDM argumentieren, dass Transaktionskosten minimiert werden können, da die landesspezifischen Barrieren den heimischen Akteuren besser bekannt sind als ausländischen Investoren und somit von den ersteren leichter überwunden werden. Die Gegner argumentieren, dass es ein höheres Risiko von Projekten mit fiktiven Emissionseinsparungen gibt. Dasselbe Risiko besteht jedoch auch bei anderen CDM-Formen auf der Seite der Investoren (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 17 f.).

Bilateraler CDM

CDM-Projekte benötigen die Beteiligung eines Investors aus einem Annex B-Land. Der Bilaterale CDM erlaubt Ländern, einen Rahmenvertrag über Projektarten und die Aufteilung der CER abzuschließen. Die Projekte werden dann von den Vertragspartnern frei ausgehandelt. Die Vertragsformen unterscheiden sich hauptsächlich in der Anzahl der beteiligten Instanzen beim Vertragsabschluss. So könnte ein Vertrag direkt zwischen den Regierungen beider Länder ausgehandelt werden, oder lokale Regierungen, Nicht-Regierungsorganisationen (NGO) und Unternehmen könnten Vertragspartner sein. Rahmenverträge zwischen den Regierungen der Staaten bleiben aber eine Grundvoraussetzung (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 18 f.).

CDM-Projektbörse

Alle Projektangebote müssen publiziert werden. Die Projektbörse würde allen potenziellen Investoren ermöglichen, schnell umfassende Information über alle derzeit angebotenen Projekte zu erhalten, während Projektanbieter das Niveau der Nachfrage nach CER abrufen könnten. Bei Vertragsabschluss zahlen die Teilnehmer eine Verwaltungsgebühr (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 19).

Clearinghouse-CDM

Anbieter und Investoren müssen über eine multilaterale Vermittlungsstelle kooperieren. Die Vermittlungsstelle würde Projektangebote entgegennehmen und evaluieren und die für gut befundenen Projekte für Investoren ausschreiben. Im Vergleich zum Bilateralen CDM würden die höheren Verwaltungskosten durch die Senkung der Transaktionskosten für die Investoren kompensiert. Somit

würden Markteintrittsbarrieren reduziert. Mit zunehmender Zahl an Projekten würden auch die Verwaltungskosten fallen (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 19).

CDM-Fonds

Ein multilateraler Fonds sammelt die Investitionen und schreibt Emissionsverringerungsprojekte aus. Vor allem kleinere Entwicklungsländer bevorzugen die Idee eines CDM-Fonds. Investorländer können hier CER nur durch Investition in einen Fonds erwerben, der dann einen Wettbewerb der Gastgeberländer um die billigsten Projekte ausschreibt. Die Projektauswahl kann auch Externalitäten und regionale Quoten berücksichtigen, wenn dies politisch gewünscht wird. Jedes Investorland erhält CER entsprechend dem Anteil am gesamten Projektportfolio. Die Projektrisiken würden somit gestreut.

Ein CDM-Fonds verhindert, dass Investorländer Projekte anhand ihrer Präferenzen aussuchen können, die häufig Elemente wie Markterschließung und bestehende Wirtschaftsbeziehungen enthalten. Ein Fonds würde voraussichtlich Großprojekte aufgrund der niedrigeren Verwaltungskosten bevorzugen. Dies dürfte zu einer Verringerung der Projektvielfalt führen. Andererseits ermöglicht der Fonds durch die Streuung der Projektrisiken auch konservativen und kleineren Investoren eine Beteiligung. Die Transaktionskosten könnten aufgrund der größeren Projektanzahl gegenüber dem bilateralen Ansatz schneller fallen. Dabei wäre die Entwicklung eines Mustervertrages für CDM-Projekte hilfreich (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 19 f.).

3.2 Institutionelle Ausgestaltung des CDM auf internationaler Ebene

Mit der Etablierung des CDM werden eine Reihe neuer Institutionen zu schaffen sein, deren konkrete Ausgestaltung noch offen ist.

Zertifizierung

Im Gegensatz zu den anderen Kyoto-Mechanismen werden bei CDM-Projekten zusätzliche Emissionsrechte kreiert. Ihre Vergabe muss daher mit besonderer Sorgfalt vonstatten gehen. Während im Falle von JI das Gastland grundsätzlich ein Interesse daran hat, nur wirkliche Emissionsverringerungen anzuerkennen, ist aufgrund der fehlenden Emissionsziele bei Entwicklungsländern die Gefahr

einer missbräuchlichen Vergabe von CER besonders hoch, da sowohl Investoren als auch Projektanbieter ein Interesse an einer maximalen Gutschrift haben. Im Gegensatz zu JI schreibt das Kyoto-Protokoll für CDM-Projekte daher eine Zertifizierung vor. Allerdings fordern einige Staaten, darunter auch die EU, eine Zertifizierung auch für JI. Der **Zertifizierungsprozess** ist in Art. 12 relativ klar dargelegt. Er besteht aus **vier Stufen**: Validierung, Monitoring, Verifikation und Zertifizierung. Bis auf die zweite werden alle von **unabhängigen, akkreditierten Zertifizierern** durchgeführt (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 12 f.).

Validierung ist eine ex ante Begutachtung auf der Basis von Informationen seitens der Projektbeteiligten. Geprüft wird, ob ein Projekt:

– die nationalen und internationalen CDM-Kriterien erfüllt und von Gast- sowie Investorland genehmigt worden ist,
– ein unter Berücksichtigung der internationalen Bestimmungen korrekt erstelltes Referenzszenario nachweisen kann.

Der zweite Schritt - nach Projektbeginn - bedarf eines **Monitoringprotokolls**, das spezifiziert, welche Projektdaten wie häufig und mit welchen Unsicherheiten erhoben werden. Die regelmäßig oder auf Antrag der Projektteilnehmer durchgeführte **Verifikation** umfasst die Prüfung der beim Monitoring erhobenen Daten und Messeinrichtungen sowie der Anpassung des Referenzszenarios. Der abschließende Schritt ist die **Bescheinigung** der erreichten Emissionsverringerungen, die so verbrieft zur CER werden.

Offen ist die Frage nach der **Akkreditierungsinstanz für Zertifizierer**. Die Zertifizierer können entweder vom CDM-Aufsichtsrat oder internationalen und nationalen Akkreditierungsinstanzen zugelassen werden. Ersteres würde für die enge Koppelung mit dem Klimaregime sorgen und garantieren, dass die Standards weltweit einheitlich sind. Für die Nutzung einer bereits existierenden Instanz könnte deren akkumulierte Erfahrung sprechen (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 23).

Internationale Aufsicht des CDM

Artikel 12 (4) des Kyoto-Protokolls legt die Existenz eines **CDM-Aufsichtsrats** fest. Offen ist allerdings, welche konkreten Aufgaben von ihm übernommen werden sollen. Um einen reibungslosen Gebrauch des CDM zu ermöglichen, lägen die folgenden Kompetenzen sinnvoll beim Aufsichtsrat (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 23):

– Definition von Regeln für die Anwendung von Referenzszenarien,

– Definition der Monitoringprotokolle,
– die Zuteilung von CER (auf Empfehlung der Zertifizierer),
– Schlichtung in Streitfällen.

Haftung

Die Haftung für die Qualität von CER könnte entweder bei den Zertifizierern oder den Käufern liegen. Die Regierung des Gastgeberlandes wäre ungeeignet, da sie aufgrund fehlender eigener Emissionsziele keinerlei Anreiz hat, die Zahl der CER zu minimieren. Da die Käuferhaftung die Zertifizierung überflüssig machen würde, entfällt auch diese Option. Somit sollten die **Zertifizierer für die Güte der vergebenen CER haften** (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 23).

Handelbarkeit von CER

Die Frage, ob die im Rahmen von CDM-Projekten erworbenen CER mit den aus anderen Mechanismen resultierenden Emissionseinheiten (AAU und ERU, siehe Kap. VI.1) kompatibel sind, wurde im Bonner Abkommen geklärt. Die **freie Handelbarkeit** erhöht die Attraktivität von CDM-Projekten für Investoren aus aller Welt, da CDM-Investitionen auch einfach als Kapitalanlage getätigt werden könnten. Gleichzeitig haben im Fall der freien Handelbarkeit auch die Gastgeberländer ein Interesse daran, einen Anteil der CER aus Projekten in ihren Ländern als Abgabe einzubehalten. Dieser Aspekt ist insbesondere hinsichtlich der Option eines unilateralen CDM von Bedeutung (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 23 f.).

3.3 Offene inhaltliche Fragen

Bei der Ausgestaltung und Genehmigung von CDM-Projekten besteht noch eine Reihe von offenen Fragen, die im Folgenden kurz skizziert werden.

Bestimmung des Referenzszenarios

Auf den ersten Blick erscheint die Kalkulation der Emissionsverringerung bei einem CDM-Projekt einfach. Man misst die Emission der neuen Anlage und zieht diejenige der alten Anlage ab, die sonst weitergelaufen wäre. Letzteres ist das so genannte Referenzszenario. Es gibt aber eine Reihe von Fällen, in denen

die Berechnung dieses Szenarios unklar ist. Nehmen wir beispielsweise den Fall eines Windparks. Dieser erzeugt nahezu emissionsfreien Strom. Jetzt stellt sich aber die Frage, welches Kraftwerk durch den Windpark verdrängt wird. Handelt es sich um ein Kohlekraftwerk, ist die Emissionsverringerung hoch, während sie bei einem Kernkraftwerk null wäre. Noch komplizierter wird es, wenn man den gesamten Zeitraum der Stromeinspeisung berücksichtigt, in dem das Referenzkraftwerk wechseln kann. Es könnten sowohl die durchschnittlichen Emissionen pro erzeugter Kilowattstunde des gesamten Kraftwerkparks zugrunde gelegt werden, als auch nur die durchschnittlichen Emissionen der neu hinzutretenden Kraftwerke. Welche Annahme die konservativere ist, hängt vom Einzelfall ab. Das Beispiel zeigt, dass die Erstellung von Referenzszenarien stark auf Annahmen beruhen. Der Emissionsverlauf des Referenzfalles (in Abwesenheit des Projektes) wird als **Baseline** bezeichnet. Zur Errichtung der Baseline gibt es umfangreiche Literatur. Baseline-Optionen unterscheiden sich in Genauigkeit, Gültigkeit, Dauer und Kosten (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 27).

Zusätzlichkeit der Investition

Die in Berlin getroffene Entscheidung sah vor, dass nur Projekte als AIJ anerkannt werden, deren Finanzierung aus "zusätzlichen" Mitteln erfolgt. Dies sollte der Befürchtung entgegenwirken, dass Entwicklungshilfemittel zur Finanzierung von AIJ umgewidmet oder umdeklariert werden. Eine ähnliche Klausel soll auch für den CDM gelten, wobei einige Industrieländer (allen voran Japan) gerne Entwicklungshilfegelder einsetzen würden. Allerdings ist die Umdeklarierung von Haushaltsposten immer möglich, da die Industrieländer ein Mindestbudget für Entwicklungshilfeleistungen, entsprechend ihrer 1992 in Rio geleisteten Selbstverpflichtung auf 0,7 % des BSP, ablehnen. Es ist zu erwarten, dass viele Projekte eine Mischfinanzierung haben (Basisprojekt Entwicklungshilfe, CDM-"Aufsatz"). Zusätzlichkeit hat die Aspekte der **Programmzusätzlichkeit** und der **finanziellen Zusätzlichkeit**. So können prinzipiell die Erfüllung staatlicher Auflagen oder von der Privatwirtschaft ohnehin geplante klimawirksame Investitionen nicht als zusätzlich gelten (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 29).

Nachhaltigkeitskriterien

Artikel 12 (2) des Kyoto-Protokolls definiert den Beitrag des CDM zur nachhaltigen Entwicklung des Gastgeberlandes als zentrales Kriterium. Über die recht allgemein gehaltenen Definitionen dieses Begriffes im Bericht der Brundtland-

Kommission aus dem Jahr 1988 und der Agenda 21 von 1992 hinaus kann **Nachhaltigkeit nur im nationalen Rahmen mit Inhalt gefüllt werden**. Dies ergibt sich aus der Berücksichtigung regionaler Gegebenheiten, vor allem aber aus Souveränitätserwägungen. Aus ihnen ergibt sich auch die Genehmigungspflicht durch das Gastgeberland (Art. 12 [5a]) und dessen Recht, bestimmte Projektformen a priori auszuschließen. Die Kompatibilität von Klimaschutzmaßnahmen mit nationalen Entwicklungsplänen ist daher vom Projektentwickler nachzuweisen. Darüber hinaus gibt es einige allgemeingültige Indizien für Nachhaltigkeit, wie die Schaffung von Arbeitsplätzen, die Sicherung natürlicher Ressourcen, die Minimierung negativer Umwelteinflüsse, die Respektierung der Rechte nationaler Minderheiten, die partizipatorische Umsetzung auf regionaler Ebene und die Langfristigkeit des angestrebten Effekts, wie sie auch in Artikel 12 (5b) gefordert wird (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 32).

Anrechnung von Forstprojekten

Um die Anrechnung von Forstprojekten im Klimaschutz haben sich in der Vergangenheit erhitzte Debatten entzündet. Neben den in allen Klimaprojekten entstehenden Unsicherheiten bei der Bestimmung des Referenzszenarios stellt sich im Forstbereich in besonderer Weise das **Problem der Ausweichemissionen**. Finden z.B. Aufforstungsmaßnahmen in einem Gebiet statt, besteht die Gefahr, dass die hierbei verlorengehende Fläche durch neuen Flächenverbrauch an anderer Stelle kompensiert wird. Im schlimmsten Fall werden dabei bestehende Urwälder durch Kohlenstoffplantagen von geringer Artenvielfalt ersetzt. Ein weiteres spezielles Problem im Zusammenhang mit Senkenprojekten ist die **Dauerhaftigkeit der Kohlenstoffbindung**. Denn brennt die Projektfläche ab, sind die Bindungserfolge von Jahren dahin (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 33). Beiden Problemfeldern muss daher im Projektdesign (insbesondere Einbeziehung möglicher Ausweichflächen ins Monitoring) und in der Zertifizierung der entstehenden Emissionsrechte glaubhaft Rechnung getragen werden.

Anpassungsabgabe

Artikel 12 (8) sieht vor, dass ein Teil der Erträge aus dem CDM für Anpassungsmaßnahmen in den vom Klimawandel am meisten betroffenen Entwicklungsländern verwendet werden soll. Die Palette möglicher Anpassungsmaßnahmen ist breit und wissenschaftlich bisher nicht ausgelotet. Sie reicht vom Hochwasserschutz über die Renaturierung von Wasserläufen, die Befestigung

von Gebäuden, Infrastruktureinrichtungen und landwirtschaftlichen Nutzflächen gegen Sturmschäden bis zur Entwicklung von hitze- und trockenheitsresistentem Saatgut. Mitunter können auch Klimaprojekte selbst regionale Anpassungseffekte zeitigen, wie etwa bei der Regenerierung oder Neuanpflanzung von Wäldern. Die Anpassungsabgabe kommt einer internationalen Steuer auf CDM-Projekte gleich. Es läge in der Logik des Kyoto-Protokolls, alle flexiblen Mechanismen, zumindest aber alle projektgebundenen, mit dieser Steuer zu belegen. Die Höhe dieser Abgabe könnte danach ausdifferenziert werden, welchen Anpassungseffekt die jeweilige Projektform für die Zielregion ausübt (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 35 f.). Das Bonner Abkommen entschied jedoch, dass die Abgabe ausschließlich auf CDM-Projekte erhoben wird.

Einschränkungen der Nutzung internationaler Klimaschutzmaßnahmen

An mehreren Stellen des Kyoto-Protokolls werden Formulierungen gebraucht, denen zufolge **Flexibilisierungsmechanismen ergänzend zu heimischen Maßnahmen** genutzt werden sollen. In den Verhandlungen bestand bislang vor allem die EU auf der Operationalisierung dieser Klauseln und traf damit auf eine partielle Interessengleichheit mit den in der Gruppe der 77 und China organisierten Entwicklungsländern. Dem entgegen stand die JUSCANNZ-Gruppe unter Führung Nordamerikas und Japans, die aus Effizienzgesichtspunkten auf eine Definition dieser Beschränkung verzichten wollten. Außer der Obergrenze für Aufforstungsprojekte und CDM wurde im Bonner Abkommen keinerlei Einschränkung der Kyoto-Mechanismen festgelegt.

Die größten Probleme werden jedoch in der praktischen Umsetzung entstehen. Klimaprojekte haben unterschiedlich lange Laufzeiten, auf dem Emissionsmarkt werden spekulationsbedingte Preisschwankungen auftreten, und eine Feinsteuerung der Nutzung oder Nichtnutzung durch die beteiligten Wirtschaftssubjekte ist nahezu unmöglich (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 35).

3.4 Organisation des CDM auf nationaler Ebene

Es gibt eine große Anzahl von Akteuren in den verschiedenen Etappen der Umsetzung eines CDM-Projekts. Die Interessen der unterschiedlichen Akteure sind in Tabelle 34 zusammengefasst (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 24 f.).

Tab. 34: Interessen der Akteure

Akteure	*spezifische Interessen*
Regierungen der Annex B-Länder Große Länder (Große Emittenten)	- Maximierung von CER - Bilateraler CDM, da fallende Transaktionskosten bei steigender Projektzahl - Exportförderung
Regierungen der Annex B-Länder Kleine Länder (Kleine Emittenten)	- multilateraler, transparenter CDM, da geringe Transaktionskosten - Risikostreuung (Fondsmodell)
Regierungen der Gastgeberländer	- Maximierung der positiven Externalitäten - Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Gastgeberländern
Regierungen der Gastgeberländer mit hohem Potenzial für kostengünstige CDM-Projekte	- unilateraler CDM, um individuell CER zu schaffen
NGOs	- Kritik an uni- bzw. bilateralem CDM, da Gefahr fiktiver Klimagasreduktion - umweltpolitische Integrität und entwicklungspolitischer Zusatznutzen
Finanzintermediäre	- bilateraler CDM - geringe Konkurrenz mit dem Dienstleistungsangebot multilateraler Initiativen

Quelle: nach Michaelowa/Dutschke 2000, S. 24 f.

Eine notwendige Bedingung für den Erfolg eines nationalen CDM-Programms ist die Existenz förderlicher gesetzlicher Rahmenbedingungen. Costa Rica änderte sowohl sein Energie- als auch sein Forstgesetz, um Klimaschutzprojekte attraktiv zu machen. Ohne eine gesicherte Stromeinspeiseregelung sind Projekte im Bereich erneuerbarer Energie nicht attraktiv. Im Forstsektor wurde der Begriff "Umweltdienstleistung" geschaffen, der eine Entlohnung der Treibhausgasspeicherung ermöglicht. Zollerleichterungen für Importe sind ebenfalls wichtig, um Projekte in den Bereichen Energieeinsparung und erneuerbare Energie zu fördern (Michaelowa/Dutschke 2000, S. 25).

4. Fazit

Als einer der ersten international ausgehandelten und anerkannten Instrumente zum Klimaschutz stellt der CDM eine **vielversprechende umwelt- und entwicklungspolitische Innovation** dar. Als Voraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung des CDM muss noch ein gemeinsamer Nenner von allen beteiligten Interessengruppen gefunden und ein institutioneller Rahmen geschaffen werden. Von der Ausgestaltung des Letzteren wird es abhängen, ob der CDM sich zu einem wirkungsvollen Klimaschutzinstrument entwickelt oder zum Vorteil einzelner Interessengruppen missbraucht wird. CDM-Maßnahmen werden v.a. Auswirkungen in Entwicklungsländern haben, weshalb nachfolgend die besonderen Umstände in den entsprechenden Kontinenten noch einmal diesbezüglich umrissen werden.

CDM und Asien: In einigen asiatischen Ländern wird das Konzept der CDM-Maßnahmen eher mit Zurückhaltung bewertet, nicht zuletzt wegen negativer Erfahrungen vergangener Technologietransferprojekte, die allzu oft im Export veralteter, nicht angepasster Technik bestanden, welche für die örtlichen und regionalen Bedürfnisse und Anforderungen zum Teil ungeeignet waren und heute vielfach als Investitionsruinen oder Müll im Land verblieben sind. Der Wunsch nach nationaler Souveränität sowie größerer Zurückhaltung gegenüber Investoren aus dem Privatsektor stellt ebenfalls ein Hindernis eines künftigen Technologietransfers dar. In vielen Staaten Asiens besteht u.a. deshalb das Bedürfnis nach Schaffung eines strikten rechtlichen Rahmens für die Durchführung von CDM-Maßnahmen, um vorwiegend Aktivitäten von Privatinvestoren besser zu regeln und abzustimmen. Mehr als bisher erfolgt, wünschen die asiatischen Staaten eine stärkere Einbeziehung ihrer Ideen zur Umsetzung von CDM-Projekten (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 123).

CDM und Afrika: Die Mehrheit der afrikanischen Staaten steht dem CDM-Konzept sehr offen und aufgeschlossen gegenüber. Sie wünschen volle und verstärkte Integration im Verlauf weiterer Verhandlungen und eine größere internationale Aufmerksamkeit in Bezug auf Investitionen, die sich in der Vergangenheit zu einem großen Teil auf Brasilien und Indien konzentrierten und die Staaten Afrikas kaum in größerem Umfang berücksichtigt haben. Viele afrikanische Staaten befürchten jedoch, dass wegen der geringen vorhandenen Reduktionspotenziale Investitionen in CDM-Projekte erneut an ihren Ländern vorbeiführen, um sich auf jene mit einem hohen Reduktionspotenzial zu konzentrieren (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 123).

CDM und Lateinamerika: Lateinamerikanische Staaten - mit Ausnahme sehr armer Länder wie beispielsweise Bolivien, Peru sowie von Staaten Mittelamerikas - unterscheiden sich von Ländern Afrikas und Asiens durch einen bereits strukturierten Energiemarkt sowie eine zunehmende Involvierung des Privatsektors, der wirtschaftliches Wachstum ermöglicht. Dementsprechend offen sind die Regierungen in Bezug auf Industriebeteiligung im Sinne von CDM-Maßnahmen. Die Industrie und in diesen Ländern ansässige Firmen, die einer Projektbeteiligung und -umsetzung prinzipiell zustimmen, haben jedoch nur Interesse an einer Involvierung, falls die Projektkosten niedrig gehalten werden können (Ullrich/Kaltschmitt 2001, S. 123).

VII. Handlungsmöglichkeiten

Dieser Bericht beschäftigt sich mit den Perspektiven von Bioenergieträgern in Entwicklungsländern sowie den technischen Potenzialen der in diesem Zusammenhang eingesetzten Konversionstechniken (Kap. II u. III). Welche Hemmnisse der Ausschöpfung dieser Potenziale entgegenstehen und wie sie überwunden werden könnten, wird unter den Gesichtspunkten der Entwicklungszusammenarbeit bzw. des Umwelt- und Klimaschutzes diskutiert (Kap. IV u. V). Der Clean Development Mechanism (Kap. VI) kann als integriertes umwelt- und entwicklungspolitisches Instrument verstanden werden und stellt neue Anforderungen an die Kooperation verschiedener Politikbereiche. Fragen des Klimaschutzes oder der Handel mit Emissionsrechten liegen im Kompetenzbereich des BMU bzw. der EU, während die Schwerpunkte in der Entwicklungszusammenarbeit vom BMZ festgelegt werden. Da es sich insbesondere beim Treibhauseffekt um ein internationales Problem handelt, beschränken sich die nachfolgend diskutierten Handlungsmöglichkeiten nicht auf die nationale Politikgestaltung. Gerade wenn es um Joint Implementation oder den Clean Development Mechanism sowie den internationalen Handel mit Emissionsrechten geht, müssen Politiken auf multinationaler Ebene abgestimmt werden. In diesem Kapitel sind die Handlungsmöglichkeiten daher nach Bezugsebenen (nationale und internationale Handlungsmöglichkeiten) und innerhalb dieser Kategorien nach Politikbereichen (national) bzw. Themengebieten (international) gegliedert.

1. Nationale Ebene

Im Falle des CDM gelten die Handlungsmöglichkeiten in gleicher Weise auch für andere Industrieländer neben Deutschland. Sollte sich der internationale Handel mit Emissionsrechten lediglich auf den zwischenstaatlichen Austausch beschränken, bliebe es den nationalen Regierungen überlassen, welche Instrumente zur Erreichung der im Kyoto-Protokoll festgelegten Reduktionsziele eingesetzt werden. Im Falle eines uneingeschränkten Handels mit Emissionsrechten auch auf Unternehmensebene kann es dagegen im Einzelfall zu Konflikten mit dem bestehenden Ordnungsrahmen (z.B. dem europäischen und deutschen Anlagengenehmigungsrecht) kommen. Die EU-Kommission veröffentlichte Anfang 2000 ein Grünbuch über den Handel mit Treibhausgasemis-

sionsrechten, in dem sie die gemeinschaftsweite Einführung eines entsprechenden Systems zur Diskussion stellte. Bisher haben jedoch nur neun EU-Staaten Stellung dazu bezogen. Fest steht allerdings, dass die EU an ihrer Selbstverpflichtung, die CO_2-Emissionen bis 2012 um acht Prozent gegenüber 1990 zu senken, weiterhin festhält. Die innereuropäische Lastenverteilung sieht dabei vor, dass Deutschland 21 % dieser Reduktion übernimmt. Bei den **umwelt- und klimapolitischen Handlungsmöglichkeiten** (Kap. VII.1.1) geht es deshalb darum, wie die nationale Politikgestaltung in den internationalen Rahmen eingepasst werden kann.

Weniger von internationalen Regelungen beeinflusst ist die Gestaltung der Entwicklungszusammenarbeit. Je nach Art der Genehmigung von CDM-Projekten (Kap. VI.3.1) werden dann nationale Institutionen, z.B. im Geschäftsbereich des BMZ, Einfluss auf die Vertragsgestaltung haben und sich dabei auch mit umweltpolitischen Zielsetzungen auseinandersetzen müssen. Dabei sollten möglichst die aus der Vergangenheit angesammelten Erfahrungen aus der Entwicklungszusammenarbeit berücksichtigt werden. Außerdem gibt es bei den Bioenergieträgern auch außerhalb des CDM neue Ansatzpunkte für die Entwicklungshilfe. Alle identifizierten Gestaltungsoptionen werden unter **entwicklungspolitischen Handlungsmöglichkeiten** (Kap. VII.1.2) diskutiert.

Vor allem im Bereich der Konversionstechnik und Verfahrensgestaltung für Bioenergieträger besteht in vielen Entwicklungsländern noch erheblicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Dieser sollte teilweise von den betroffenen Ländern selbst übernommen, teilweise in Zusammenarbeit mit den Industrieländern bearbeitet und teilweise durch Technologietransfer aus den Industrieländern gedeckt werden. Unter den **forschungs- und technologiepolitischen Handlungsmöglichkeiten** (Kap. VII.1.3) wird gefragt, wie die deutsche Forschungs- und Entwicklungsförderung für Bioenergieträger so gestaltet werden könnte, dass möglichst viele Erkenntnisse auch für eine Nutzung in Entwicklungsländern gewonnen werden. Zusätzlich wird Forschungsbedarf im wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Bereich zur Ausgestaltung des Handels mit Emissionsrechten und des CDM festgestellt.

Schließlich ergeben sich insbesondere durch den CDM neue **Querschnittsaufgaben** (Kap. VII.1.4), die zu gestalten sind.

1.1 Umwelt- und klimapolitische Handlungsmöglichkeiten

Handlungsmöglichkeiten im umwelt- und klimapolitischen Bereich ergeben sich insbesondere aus den in Kapitel VI dargelegten Überlegungen zum Clean Development Mechanism. Dieser stellt eine der Säulen des geplanten internationalen Handels mit Emissionsrechten dar und erfordert, dass nationale und internationale Umweltpolitik weitgehend kompatibel gestaltet werden bzw. ökonomische Anreize aus dem internationalen System auf das nationale übertragen werden. Ob sich ein verstärkter Einsatz von Bioenergieträgern in Entwicklungsländern positiv auf die Wirtschafts- und Arbeitsmarktsituation in Deutschland auswirkt (Kap. V.2.2), hängt nicht zuletzt von dem Ausmaß der Beteiligung der deutschen Wirtschaft an dieser Entwicklung ab. Die folgenden Handlungsmöglichkeiten zielen auf die Schaffung von Voraussetzungen in Deutschland, damit eine verstärkte Nutzung von Bioenergieträgern (u.a. im Rahmen von CDM) in Entwicklungsländern erreicht werden kann.

Schaffung eines günstigen nationalen umwelt- bzw. klimapolitischen Rahmens für den CDM und den internationalen Handel mit Emissionsrechten

Die Weitergabe des nationalen Emissionsziels an die einzelnen Wirtschaftssubjekte (insbesondere Unternehmen) ist eine entscheidende Voraussetzung, dass der CDM für Investoren aus Industrieländern attraktiv wird. Nur wenn diese im Rahmen von heimischen klimapolitischen Instrumenten gezwungen sind, Emissionen zu reduzieren, werden sie sich um kostengünstigere Verringerungsoptionen im Ausland bemühen. Hinsichtlich ihrer **Kompatibilität mit den Kyoto-Mechanismen** sind die verschiedenen denkbaren Instrumente einer deutschen Klimaschutzpolitik in unterschiedlicher Weise geeignet.

Besonders gut eignen sich solche Instrumente, die das heimische Emissionsziel entweder direkt an die einzelnen Wirtschaftssubjekte weitergeben (**nationales Zertifikatsystem**) oder aber eine direkte Berechnung der Kosten von Treibhausgasemissionen ermöglichen (**Emissionssteuer**). Schwieriger gestaltet sich die Anrechnung von CER auf eine **nationale Energiesteuer**, da hierzu eine Relation zwischen Energieverbrauch und Treibhausgasemission herzustellen wäre. **Ordnungspolitische Auflagen** sind in der Regel nicht über Auslandsprojekte zu erfüllen. Ob **Selbstverpflichtungen** einzelner Sektoren mit den Kyoto-Mechanismen kompatibel sind, hängt von ihrer Ausgestaltung ab. Während absolute Selbstverpflichtungen gut mit CER aus CDM-Projekten erfüllt werden

können, ergibt sich bei spezifischen Selbstverpflichtungen das Problem der Umrechnung von spezifischen Effizienzwerten in absolute Emissionsverringerungen. Die neue Selbstverpflichtung der deutschen Industrie, bis 2005 eine Minderung der spezifischen CO_2-Emissionen um 28 % und bis 2012 um 35 % zu erzielen, lässt sich nur umständlich mit den Kyoto-Mechanismen kombinieren.

Mit der **nationalen Emissionshandelsgruppe des Bundesumweltministeriums** besteht ein Ansatzpunkt zur Klärung der offenen Fragen. An dieser Arbeitsgruppe sind neben dem BMU Vertreter von Umweltorganisationen und der Industrie beteiligt, und sie hat die Aufgabe, möglichen Formen eines Systems für den Emissionshandel (inkl. CDM und JI) in Deutschland zu diskutieren. Von der Ausgestaltung des deutschen Systems für den Emissionshandel hängt es entscheidend ab, in welchem Maße sich private Investoren zur Durchführung von CDM- und JI-Projekten motivieren lassen. Daher sollte dieser Diskussionsprozess intensiviert werden, Vorschläge zur deutschen Klimaschutzpolitik sollten entwickelt und die Öffentlichkeitswirkung sollte verstärkt werden.

Umsetzung nationaler umwelt- bzw. klimapolitischer Ziele als Voraussetzung für Technologieentwicklungen

Nur nationale klimapolitische Maßnahmen schaffen die Notwendigkeit zur Energieeinsparung und Nutzung erneuerbarer Energien in den Industriestaaten selbst. In diesem Zusammenhang ist auch die Diskussion um **fixe Obergrenzen für die Nutzung der Kyoto-Mechanismen** zu sehen, die im Bonner Abkommen jedoch abgelehnt wurden. Die Sicherung eines hohen Anteils an heimischen Maßnahmen ließe sich mittelfristig statt durch fixe Obergrenzen (sog. Caps) effizienter durch ein **System langfristig steigender Emissionssteuern und sinkender Gutschriften aus Auslandsprojekten** erzielen. Nur bei hohen Reduktionspflichten in den Industrieländern entstehen entsprechende **Anreize für Technologieentwicklungen** bei regenerativen Energieträgern (und damit auch bei Bioenergieträgern), die dann auch für den Technologietransfer in Entwicklungsländer von hoher Relevanz sein können.

1.2 Entwicklungspolitische Handlungsmöglichkeiten

Der Energiesektor der Entwicklungsländer steht heute vor tiefgreifenden Veränderungen. Die **technische Entwicklung** hat zu einer einschneidenden Veränderung der Kostenstrukturen geführt, so dass kleine, dezentrale Kraftwerke

immer wettbewerbsfähiger werden. Somit bestehen zunehmende Chancen für kleinere, eventuell sogar unabhängige Energieversorgungssysteme, die direkt für den lokalen Bedarf produzieren. Damit ist die Hoffnung verbunden, dass nicht nur die CO_2-Belastungen reduziert werden können, sondern auch die etwa zwei Milliarden Menschen, die heute noch keinen Zugang zu modernen Energieträgern haben, diesen in absehbarer Zeit erhalten könnten. Diese technischen Potenziale können jedoch nur realisiert werden, wenn die **politischen Rahmenbedingungen** (Kap. VII.2.2) dies fördern.

Die Planung und Verbesserung der Energieversorgung auf der Basis von Bioenergieträgern hat weitreichende Auswirkungen für die **Armutsbekämpfung**. Biomasse ist der wichtigste Energieträger gerade ärmerer Bevölkerungsschichten. Sie erhalten weniger Energieserviceleistungen von geringerer Qualität. Die schlechte Versorgung mit Energie wird als Ursache und Auswirkung von Armut und eine Verbesserung als eine wichtige Voraussetzung zu ihrer Überwindung bewertet. Die Kosten pro Energieeinheit liegen bei traditioneller Verwendung von Biomasse oftmals höher als bei modernen Energieträgern. Der Zugang zu modernen Energieträgern ist für ärmere Haushalte jedoch durch die hohen Initialkosten erschwert. Diesen Zugang zu verbessern ist zwar möglich, aber kompliziert. In Form von Gas oder Strom haben Bioenergieträger ein erhebliches Potenzial, das Angebot moderner Energieträger zu verbessern. Dies sollte jedoch nicht auf Kosten der bisherigen Nutzer(innen) erfolgen.

Unter dem **Leitbild der nachhaltigen Entwicklung** und der zunehmenden CO_2-Belastungen gibt es einen breiten Konsens, die Nutzung regenerativer Energiequellen in Entwicklungsländern deutlich auszuweiten. Durch das **CDM-Konzept** eröffnet sich eine ausgesprochen gute Möglichkeit, Projekte zur Bioenergienutzung umzusetzen, auch wenn wichtige Detailfragen dazu auf internationaler Ebene noch nicht geklärt sind (Kap. VII.2.1). Die Verbesserung der Bioenergienutzung und die Einbettung der Projekte in CDM sind eng miteinander verzahnt. Darüber hinaus gibt es zusätzlich Möglichkeiten einer bilateralen Zusammenarbeit sowie einer auf privatwirtschaftlicher Ebene abgestimmten Zusammenarbeit unabhängig vom CDM.

Aus dieser Situationsbeschreibung ergibt sich die Aufgabe, entsprechende Schwerpunkte in der Entwicklungszusammenarbeit (EZ) zu setzen. In der Entwicklungspolitik können zwei Schwerpunkte für mögliche Handlungsoptionen identifiziert werden, zum einen Maßnahmen zur Implementation und Nutzung von CDM und zum anderen die Entwicklung von Fördermaßnahmen zu Bioenergieträgern. Mögliche Maßnahmen werden im Folgenden diskutiert. Um Fehlschläge zu vermeiden, sollte bei der praktischen Implementierung sicher-

gestellt werden, dass die Projektträger die umfangreichen **Erfahrungen** aus über 40 Jahren **Entwicklungszusammenarbeit** nutzen können.

Unterstützung beim Aufbau von CDM-Sekretariaten und bei der Durchführung von CDM-Projekten

Um die Förderung der Bioenergienutzung im Rahmen von CDM zu etablieren, gibt es eine Reihe von Handlungsmöglichkeiten. Diese haben das Ziel, Entwicklungsländer beim Aufbau von CDM-Sekretariaten zu unterstützen sowie möglichst frühzeitig Erfahrungen mit CDM-Projekten zu sammeln. Die Entwicklungszusammenarbeit könnte hier insbesondere dazu beitragen, wirksame Strategien im Umgang mit nicht-technischen Hemmnissen bei der Umsetzung des CDM zu entwickeln. Hierbei handelt es sich nicht nur um eine Aufgabe in den Entwicklungsländern; auch potenzielle Investoren in Deutschland wären für entwicklungspolitische Zielsetzungen zu sensibilisieren und entsprechende Rahmenbedingungen für die vertragliche Ausgestaltung von CDM-Projekten wären zu schaffen. Im Einzelnen bestehen folgende Handlungsmöglichkeiten:

- **Unterstützung bei der Einrichtung von CDM-Sekretariaten in Entwicklungsländern:** Nicht alle Entwicklungsländer werden aus eigener Kraft CDM-Sekretariate aufbauen können. Die Sekretariate sollen eine Erstbewertung von Projektvorschlägen hinsichtlich ihrer Eignung unter CDM vornehmen. Dies bedeutet, dass Entwicklungsländer hier die Projektvorschläge bezüglich ihres Beitrags zur nachhaltigen Entwicklung beurteilen und die infolge der Projektdurchführung zu erwartenden Certified Emission Reductions (CERs) bestimmen. Investoren aus Industrienationen sollen sie eine kompetente Anlaufstelle in diesen Ländern bieten. Entsprechende Unterstützungsmaßnahmen bilden also eine wichtige Grundlage für das Zustandekommen von CDM-Projekten.
- **Frühzeitige Zusammenarbeit mit CDM-Sekretariaten in Entwicklungsländern und Etablierung erster Projekte:** Die Etablierung von CDM-Sekretariaten vollzieht sich derzeit besonders in Staaten Afrikas, der Karibik und des pazifischen Raumes. Diese Länder werden durch Schaffung dieser institutionellen Einrichtungen zeitig für die Durchführung erster CDM-Projekte vorbereitet sein. Deutschland kann in diesen Ländern mit Investitionen in die Biomassenutzung beginnen. In einigen Ländern Afrikas gibt es bereits konkrete Projektvorschläge, die sich vorwiegend auf die Verbesserung der Effizienz von Biomasseanlagen oder die Holzkohlepro-

duktion konzentrieren. Konkrete Vorschläge für Biomasseprojekte sollten immer mit den Entwicklungsländern abgestimmt werden, um die Aspekte des Klimaschutzes in den Kontext von wirtschaftlichen Zielsetzungen und Entwicklungsprioritäten zu stellen.

– **Netzwerkbildung und Ausschreibungen zum CDM**: Das CDM-Konzept besitzt im deutschen Industriesektor zum gegenwärtigen Zeitpunkt einen recht unterschiedlichen Bekanntheitsgrad. Da für die Umsetzung von Bioenergieprojekten in Entwicklungsländern Firmen für diese Investitionen gewonnen werden müssen, sollten diese auch bezüglich der Vor- und Nachteile von CDM informiert und sensibilisiert werden. Daher ist in dieser Hinsicht die Suche geeigneter Firmen eng mit Bildungs- und Informationsprogrammen für den privatwirtschaftlichen Sektor verbunden, die Deutschland unterstützen sollte. Die Bundesregierung könnte auch über öffentliche Ausschreibungen Privatinvestoren für die Durchführung von Bioenergieprojekten in Entwicklungsländern gewinnen. So könnte z.B. das BMZ oder GTZ in Zukunft Anlaufpunkt für Investoren werden, die durch die umweltpolitischen Rahmenbedingungen zu Investitionen in CDM- oder JI-Projekte neigen. Die Koordination einer solchen Entwicklung ist jedoch nur durch die Schaffung entsprechender Informationskanäle und Netzwerke zu gewährleisten.

Konzeptionelle Ausrichtung von Fördermaßnahmen im Bioenergiebereich

Sowohl für den Bereich CDM als auch für bilaterale Maßnahmen im Bereich Bioenergieträger sollten die folgenden Punkte bei der konzeptionellen Ausrichtung der Entwicklungszusammenarbeit beachtet werden, die sich aus der Diskussion der nicht-technischen Hemmnisse (Kap. IV) und den gesammelten Erfahrungen aus der Entwicklungszusammenarbeit ergeben:

– **Verstärkung der Nutzerorientierung:** Hier geht es um einen Wechsel des Ausgangspunktes der Betrachtung. Ziel sollte nicht der Einsatz energiesparender Technologien oder die technische Lösung eines Energieproblems sein, sondern die möglichst energieeffiziente Lösung eines konkreten Anwendungsproblems. Der große Unterschied besteht darin, dass im ersten Fall eine bestimmte Technik oder Technologie den Ausgangspunkt der Betrachtung darstellt. Aspekte wie Benutzerfreundlichkeit und der sozialen Einpassung können dabei schnell in den Hintergrund rücken. Im zweiten Fall hingegen liegt der Ausgangspunkt der Betrachtung in der konkreten

Problemstellung aus Sicht der Anwender, und darauf aufbauend kann unter allen möglichen technischen Lösungen die effizienteste ausgesucht werden. Von Maßnahmen im Energiesektor sind oftmals vorrangig Frauen betroffen, so dass diese in den entsprechenden Fällen in geeigneter Weise in die Projektplanung und -durchführung einbezogen werden sollten.

– **Berücksichtigung von Systembetrachtungen des Energiesektors:** Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Systembetrachtung des Energiesektors bei der Planung von Projekten. Energieträger sind in hohem Maße austauschbar, und jegliche Preisveränderung eines Energieträgers führt zu Veränderungen des Gesamtgefüges. Die Systembetrachtung bedeutet, dass alle Optionen bei der Lösung eines Energieproblems einbezogen werden und die Rückwirkungen auf andere Energieträger berücksichtigt werden müssen. Darüber hinaus ist eine Stufenplanung sinnvoll. Wichtig ist es, die Trends für die mittel- und langfristige Planung zu berücksichtigen. Konkret heißt dies, Technologien auszuwählen, die sich an die zukünftigen Veränderungen anpassen können. Dies gilt gleichermaßen bei der Ausgestaltung des institutionellen Rahmens. Dieser sollte Planungssicherheit garantieren, um eine mittel- und langfristige, aber flexible Planung der einzelnen Unternehmen und Haushalte zu ermöglichen.
– **Ausrichtung auf Projekte mit Multiplikatorfunktion:** Angesichts des enormen Gesamtbedarfs an umweltfreundlicher Energie können einzelne Projekte nur eine katalysierende Funktion haben. Erreicht werden sollte ein sich selbst tragender Diffusions- und Innovationsprozess, der eine an den jeweiligen Bedürfnissen und Präferenzen ausgerichtete Technologie voraussetzt, wie sie nur durch eine Technologieentwicklung und -anpassung vor Ort unter Beteiligung der Anwender erreicht werden kann.

Allgemeine Förderansätze im Bioenergiebereich

Neben inhaltlichen Schwerpunkten (s.u.) sind allgemeine Förderansätze im Bereich der regenerativen Energien sowie speziell der Bioenergieträger von großer Bedeutung. Es handelt sich dabei um die Bereiche Informationszugang, Technologieentwicklung und Ausbildungsverbesserung. Hier könnte die deutsche Entwicklungszusammenarbeit teilweise eigene Aktivitäten entwickeln und teilweise internationale Initiativen anregen:

– **Informationszugang:** Eine entscheidende Restriktion für den Einsatz neuer Technologien im Energiebereich ist der Mangel an Informationen bei den

potenziellen Nutzern bzw. Unternehmen, die im Energiebereich investieren könnten. **Institutionen, die den Informationsaustausch fördern** wollen, sind in vielen Bereichen vorhanden. Diese könnten stärker als bisher anregen, dass eine nutzerorientierte, nachhaltige Energieversorgung auf die Agenda gesetzt wird und entsprechende Studien und Untersuchungen durchgeführt werden. Es fehlen insbesondere vergleichende Studien zur Nachfrage nach Energie und zu geeigneten Ansätzen, mit denen Nutzer in den Planungsprozess mit einbezogen werden.

– **Technologieentwicklung und -anpassung**: Für die Technologieentwicklung gibt es unterschiedliche Vorschläge, wie diese international gefördert werden kann. Manche Autoren führen an, dass für viele regenerative Technologien grundlegende Forschung gemeinsam durchgeführt werden sollte, etwa in einer entsprechenden **Internationalen Agentur**. Aufbau und Finanzierung könnten vergleichbar mit der Internationalen Atomagentur bzw. mit den Internationalen Agrarforschungszentren sein. Ein anderer Vorschlag sieht so genannte **Regional Centers of Excellence** vor. In den einzelnen Ländern und Lokalitäten müssten die Technologien dann noch gemeinsam mit den Nutzern an die jeweiligen lokalen Bedingungen angepasst werden. Mittels solcher Zentren lässt sich Forschungserfahrung bündeln, und junge Forscher aus verschiedenen Ländern können sich unter erfahrener Anleitung auf den Aufbau entsprechender Forschungskapazitäten in ihren jeweiligen Ländern vorbereiten. Wichtig wäre hierbei, dass die Anwendungsorientierung im Mittelpunkt steht.
– **Ausbildung:** Forschungszentren können zur Ausbildung von Forschern und Entwicklern beitragen. Vorrangig dürfte vor allem aber sein, die **Ausbildung der Berater und der Bevölkerung** im Hinblick auf die Bioenergie zu verbessern. Entsprechende Curricula können international entwickelt und verbreitet sowie in den einzelnen Ländern jeweils angepasst werden. Ebenfalls international gefördert werden könnte die Integration von Elementen einer nachhaltigen Energieversorgung und der Möglichkeiten zur Steigerung der Effizienz bei den Nutzern in die Grundschulbildung.

Schwerpunktsetzungen bei der Förderung des Einsatzes von Bioenergieträgern in der Entwicklungs- bzw. technischen Zusammenarbeit

Die Minderung klimawirksamer Emissionen durch technisch verbesserte Bioenergieanlagen lässt sich im Vergleich zur Etablierung anderer regenerativen Energietechnologien (z.B. Solarenergienutzung) in der Regel mit vergleichsweise

geringeren Kosten erreichen. Unter Berücksichtigung der in der Vergangenheit gesammelten Erfahrungen, des erwarteten Nutzens und der Projektdurchführbarkeit, welche stark von rechtlichen und anderen Restriktionen abhängt, haben die möglichen Investitionsbereiche jedoch unter CDM sehr unterschiedliche Erfolgsaussichten. Die nachfolgend aufgeführten Bereiche erscheinen besonders erfolgsversprechend:

– **Herdverbesserungsprogramme**: Obwohl entsprechende Programme in den vergangenen Jahren in verschiedenen Entwicklungsländern durchgeführt wurden, blieb von einigen interessanten Ausnahmen, wie z.B. China abgesehen, durchgreifende Erfolge größtenteils aus. Im Rahmen von CDM wären solche Projekte nur dort akzeptabel, wo Brennmaterial auch aus Sicht der Nutzer(innen) knapp ist. Hauptansatzpunkt sollte die Unterstützung des Privatsektors sein, um die Effizienz in Herstellung und Vertrieb verbesserter Herde zu erhöhen. Bei der Optimierung des Verbrennungsprozesses sollten alle anwendungsrelevanten Kriterien, wie Reduzierung der Gesundheitsbelastung und Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit gleichermaßen berücksichtigt werden. Da die Reduzierung klimarelevanter Emissionen aus Sicht der Anwender(innen) in den seltensten Fällen eine Rolle spielt, sollte sie sozusagen die Begleiterscheinung von Verbesserungen der obengenannten Eigenschaften sein. Der Herdbau sollte die Ausbildung der Menschen vor Ort fördern und zu verbesserten Lebensbedingungen beitragen. Entsprechende Programme sollten alle Ebenen (z.B. Regierung, Handwerksverbände, Gemeinden, Händler, Nutzer) und verschiedene Sektoren (z.B. Energie, Forst, Landwirtschaft) einbeziehen.
– **Gewerblich genutzte Biomasseverbrennungsanlagen**: Im gewerbetreibenden bzw. industriellen Sektor kommt die Nutzung fester Biomasse zur Wärme- und Stromerzeugung, zur werkseigenen Energiebereitstellung von z.B. Sägewerken und Trocknungsbetrieben in Frage. Diese Art von Investitionen scheinen im Rahmen von CDM sehr vielversprechend zu sein. Auch hier ist eine angepasste Technologie und die Berücksichtigung der örtlichen Rahmenbedingungen von zentraler Bedeutung. Längerfristig könnte die Nutzung fester Biomasse zur Wärme- und Stromerzeugung u.a. aus werkseigenen Nebenprodukten (z.B. Sägewerke und Trocknungsbetriebe) eine interessante Option sein. Selbst wenn die technischen Probleme gelöst sind, beschränken allerdings klimatische und strukturelle Gegebenheiten die Möglichkeiten, so dass die Koppelung von Strom- und Wärmeproduktion kein Allheilmittel darstellen wird.

- **Anlage von Energiepflanzenplantagen**: Diese Maßnahme hat vornehmlich zum Ziel, die Ressourcen natürlicher Waldbestände auf lange Sicht zu schonen bzw. Neuzuwächse zu gestatten und den Anteil nicht-nachhaltiger Biomassenutzung aus Wäldern sukzessive zu verringern. Zu beachten ist insbesondere, dass die Energiepflanzenplantagen nicht in Konkurrenz zur Nahrungsmittelerzeugung treten. Die Nutzung landwirtschaftlicher Flächen zur Anpflanzung von energieliefernden Pflanzen kommt vor allem auf Grenzstandorten sowie als Aufforstung degradierter Flächen in Frage. In vielen Fällen dürfte ein Anbau in Mischkulturen gegenüber Monokulturen vorzuziehen sein. Die Biomasse aus Plantagen kann die Grundlage für die Verwertung in nahe gelegenen Trocknungs- anderen kleingewerblichen Anlagen sowie zur Vermarktung bilden. Für solche Plantagen, die neben der energetischen Nutzung der Biomasse als Senken für CO_2 dienen könnten, ist es bisher noch fraglich, ob sie unter CDM akzeptiert werden.
- **Substitution von Holzkohle durch genormte Biofestbrennstoffe**: Neben einer Verbesserung der Effizienz in der Holzkohlebereitung wäre mittel- und langfristig auch der Einsatz genormter Biofestbrennstoffe (z.B. Pellets für die Kochenergiebereitstellung in städtischen Haushalten oder als Brennstoff für kleingewerbliche Anlagen) denkbar. Damit könnte die Anwendung von Holzkohle z.T. verdrängt und deren hohe Karbonisierungsverluste (von bis zu 70 %) vermieden werden. Voraussetzung wäre allerdings, dass die derzeit in der Regel hohen Kosten durch den Sammel-, Transport- und Verarbeitungsaufwand gesenkt und die Anwendungseigenschaften hinsichtlich Rauchentwicklung und Funkenbildung bei städtischer Nutzung verbesserten werden können. Diese Maßnahmen könnten unter CDM Akzeptanz finden und zusätzlich vielen Menschen in den Bereichen Herstellung und Vertrieb eine berufliche Zukunft bieten.
- **Schaffung nachhaltiger Waldmanagementsysteme**: Nachhaltige Waldmanagementsysteme, die die Komponente Aufforstungen integrieren, sind wegen der z.T. fehlenden Akzeptanz gegenwärtig nicht als CDM-Projekte geeignet. Sie könnten aber durchaus in Zukunft als solche realisiert werden, wenn sich die Internationale Staatengemeinschaft beispielsweise auf eine begrenzte Anzahl solcher Projekte einigen sollte. Gegenwärtig lassen sich solche Maßnahmen im Rahmen anderer Programme besser umsetzen; beispielsweise können sie in ländliche Entwicklungsprogramme integriert werden oder im Rahmen von Forstprogrammen eine Umsetzung erfahren, wie dies bereits vereinzelt der Fall ist. Die Betonung liegt jedoch auf der Initiierung einer möglichst großen Anzahl solcher Projekte, damit eine

CO_2-Reduktion auch global spürbar wird. Ein gutes Waldmanagement sowie kontinuierliche Aufforstungen sind äußerst wichtig und notwendig, da in vielen Ländern die Bevölkerung durch die Besitzverhältnisse nur wenig Anreize für eine nachhaltige Nutzung der Holzressourcen hat. Oftmals sind als Voraussetzung geänderte Rahmenbedingungen (z.B. Teilprivatisierungen) notwendig, damit Nutzer und Gemeinden selbst Verantwortung für ihre Wälder und deren Bewirtschaftung übernehmen können und somit motiviert werden, mit ihren Holzressourcen schonend umzugehen.

– **Biogasanlagen für die Nahrungs- und Biorohstoffindustrie**: Vor dem Hintergrund des hohen technischen Entwicklungsstandes der Biogastechnologie in Deutschland stellt der Bedarf an großtechnischen Verfahrenslösungen zur Behandlung stark organisch belasteter Abwässer und organische Rest- und Abfallstoffe aus der Nahrungs- und Biorohstoffindustrie vieler asiatischer Staaten ein Potenzial für zukünftige Investitionen im Rahmen des CDM dar. Technologietransfer sollte vorrangig angestrebt werden und ein Export nur dann erfolgen, wenn die betreffenden Anlagen nicht auch vor Ort hergestellt werden können.
– **Biogasanlagen für Haushalte und Gemeinden**: In vielen Entwicklungsländern sind die Potenziale für die Biogasproduktion bei weitem nicht ausgeschöpft. Im Kleinanlagenbereich, d.h. bei kleinen Biogasreaktoren bzw. den Techniken zur direkten Nutzung des Biogases (Gasöfen, Gaslampen) und zur Stromerzeugung aus Biogas (z.B. mit robusten Gasmotoren), kommt es darauf an, dass diese von lokalen oder regionalen Unternehmen mit vor Ort verfügbaren Materialien errichtet bzw. hergestellt werden. Projekte sind somit jeweils auf die örtlichen bzw. regionalen Gegebenheiten abzustimmen. Diese Art von Projekten dürfte im Rahmen von CDM sehr vielversprechend sein.

1.3 Forschungs- und technologiepolitische Handlungsmöglichkeiten

Bei den forschungspolitischen Handlungsoptionen geht es hier um Nutzungsmöglichkeiten für Entwicklungsländer, also nicht um Verbesserungen bei der Forschung und Entwicklung zu Bioenergieträgern in Deutschland. In Kapitel III wurde gezeigt, dass vor allem im Bereich der Konversionstechnik und Verfahrensgestaltung in vielen Entwicklungsländern noch erheblicher Optimierungsbedarf besteht. Hier ist im Einzelfall zu klären, bis zu welchem Grad diese

Aufgabe von den Betroffenen selbst übernommen werden kann, inwieweit eine Zusammenarbeit möglich ist und wo von deutschen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten profitiert werden kann. Zusätzlich lassen sich forschungspolitische Optionen im wirtschafts- und sozialwissenschaftlichen Bereich aus Kapitel IV und VI ableiten. Hier geht es um die Klärung von Grundlagen für eine optimale Ausgestaltung des Handels mit Emissionsrechten und des CDM.

– **Forschungsschwerpunkt zum Handel mit Emissionsrechten und zur Ausgestaltung von CDM**: Der internationale Handel mit Emissionsrechten wird ein weiterer Schritt zur Öffnung der Märkte und damit zur Globalisierung sein. Ungeachtet der politischen Kontroverse über dieses Thema können die Folgen dieser Entwicklung nur dann befriedigend abgeschätzt werden, wenn wissenschaftlich fundierte Kenntnisse in ausreichendem Maß gesammelt und aufbereitet werden. Empirische Forschung wie z.B. die Analyse der ersten Erfahrungen aus CDM-Projekten und die Auseinandersetzung mit den Erfahrungen anderer Länder (z.B. das SO_2 Allowance Trading Program der USA) mit dem Emissionsrechtehandel wären als Basis für die Umsetzung auf nationaler Ebene wichtig.
– **Forschungsschwerpunkt zur transfergeeigneten Technologieentwicklung**: In Deutschland wird Forschung und Entwicklung zu Bioenergieträgern hauptsächlich durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe gefördert. Die produktions- und verwendungsorientierten, anwendungsbezogenen Forschungs-, Entwicklungs- und Demonstrationsvorhaben, die mit Fördermitteln des BMVEL durchgeführt werden, zielen auf Anwendungen in Deutschland. Wenn ein verstärkter Technologietransfer in Entwicklungsländer gewünscht wird, sollten entsprechende Schwerpunkte oder Förderkriterien in dieses Programm aufgenommen werden. Bei **Biofestbrennstoffen** sollte dies dann vor allem darauf zielen, Anknüpfungspunkte für die Weiterentwicklung angepasster Technologien speziell für den gewerblichen Sektor zu liefern. Bei **Biogas** gewinnen vor allem großtechnische Verfahrenslösungen in den asiatischen Entwicklungsländern an Bedeutung. Die Zusammensetzung der Substrate und die klimatischen Bedingungen können hier recht unterschiedlich und speziell sein. Um das Scheitern von nicht oder nur schlecht angepassten Technologien zu verhindern, sollten diese Fragen besonders berücksichtigt werden.

1.4 Querschnittsaufgaben

Insbesondere durch den CDM entsteht eine Reihe von Querschnittsaufgaben, die eine Zusammenarbeit zwischen den betroffenen Ministerien erfordern. Dies gilt vor allem für folgende Bereiche:

- **Klimapolitik**: Wenn die Chancen des CDM für einen verstärkten Ausbau regenerativer Energien und hier insbesondere von Bioenergieträgern in Entwicklungsländern sowie für eine kostengünstige Erfüllung von Reduktionspflichten der deutschen Unternehmen genutzt werden sollen, müsste auch die nationale Klimapolitik dafür günstige Voraussetzungen schaffen, was ein kooperatives Zusammenwirken der Entwicklungs- und Umweltpolitik erfordern würde. Eine enge Abstimmung wäre ebenso zwischen der deutschen und der europäischen Politik notwendig.
- **Gewinnung von Investoren für CDM-Projekte**: Um Firmen für die Umsetzung von Bioenergieprojekten in Entwicklungsländern zu gewinnen, müssen diese bezüglich der Vor- und Nachteile von CDM informiert und sensibilisiert werden. Daher ist die Suche nach geeigneten Unternehmen für Investitionen in Bioenergietechnologien eng mit Bildungs- und Informationsprogrammen für den privatwirtschaftlichen Sektor verbunden. Hier ist eine Zusammenarbeit von BMWi, BMU und BMZ erforderlich.
- **Technologietransfer in Entwicklungsländer**: Hier wären geeignete Unternehmen bzw. Forschungsgruppen, die an der Entwicklung von Technologien für Bioenergieträger in Deutschland arbeiten, zu identifizieren, für die Problemstellungen in Entwicklungsländern zu sensibilisieren und mit entsprechenden Partnern in diesen Ländern zusammen zu bringen. Dies erfordert eine Zusammenarbeit zwischen BMVEL und BMZ bzw. ihren nachgeordneten Institutionen. Für die konkrete Umsetzungsarbeit in Entwicklungsländern sollte angestrebt werden, die Kompetenz und Erfahrungen aus der bisherigen Entwicklungszusammenarbeit zu nutzen.
- **Forschung und Entwicklung zu Bioenergieträgern**: Wenn eine stärkere Berücksichtigung der Nutzungsmöglichkeiten von Bioenergietechnologien in Entwicklungsländern bei der deutschen Forschungsförderung angestrebt wird, erfordert auch dies eine ressortübergreifende Zusammenarbeit.

2. Internationale Ebene

Auf internationaler Ebene gibt es zwei zentrale Problembereiche:

– die noch offenen Ausgestaltungsfragen des CDM (Kap. VI) sowie
– die Umgestaltung der nationalen Energiepolitik in Entwicklungsländern (Kap. IV).

Bei der Ausgestaltung des CDM (Kap. VI.2.1) geht es darum, möglichst günstige Bedingungen u.a. für Projekte mit Bioenergieträgern zu schaffen. Bei der Umgestaltung nationaler Energiepolitik in Entwicklungsländern (Kap. VI.2.2) wäre das Ziel, die Wettbewerbschancen von regenerativen Energieträgern (und damit auch von Bioenergieträgern) zu verbessern. Die notwendigen Maßnahmen könnten durch entsprechende Projekte im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit unterstützt werden. Die diskutierten Handlungsmöglichkeiten könnten damit auch einen wesentlichen Beitrag zum Abbau nicht-technischer Hemmnisse leisten.

2.1 Ausgestaltung des CDM

Auf internationaler Ebene sollten die in Kapitel VI diskutierten offenen Fragen des CDM in einer Weise geklärt werden, die eine möglichst breite Nutzung erlaubt und gleichzeitig die Möglichkeiten des Missbrauchs reduziert. Die Bundesregierung sollte dementsprechend in den internationalen Verhandlungen an folgenden Punkten zur Ausgestaltung des CDM mitwirken:

- Die **institutionelle Ausgestaltung des CDM** sollte möglichst vielfältige Anwendungsmöglichkeiten bieten. Am ehesten erreicht man dies, wenn verschiedene Optionen, also sowohl bilaterale Verträge als auch multilaterale Fonds und unilateral angebotene CDM-Projekte zugelassen werden. Dies käme den Interessen unterschiedlicher Investoren und Projektanbieter entgegen.
- Die **Zusammensetzung** und die **Aufgaben** des **CDM-Aufsichtsrates** sind noch zu bestimmen. Er sollte eine möglichst große Breite von beteiligten Akteuren repräsentieren. Als Mitglieder kämen Vertreter von Regierungen, Unternehmen, Umwelt- und Entwicklungs-NGOs aus verschiedenen Regionen der Welt in Frage. Der Aufsichtsrat sollte insbesondere für die Regeln zur Anwendung von Referenzszenarien, für die Regeln zur Erstellung von

Monitoringprotokollen, für die Zuteilung von CERs und für die Entscheidung von Streitfällen zuständig sein.

- Die **Ausgestaltung des Zertifizierungsprozesses** ist festzulegen. Die Zertifizierer sollten belegen müssen, dass sie von den Projektbeteiligten unabhängig sind. Nach der Überprüfung des Referenzfalls ("Validierung") vor Beginn des Projekts sollten die Zertifizierer die Ergebnisse des Projekts in Abständen, die mit den Projektbeteiligten vereinbart werden, überprüfen. Emissionsgutschriften sollten erst nach einer Zertifizierung entstehen. Der CDM-Aufsichtsrat sollte Mindeststandards für Zertifizierer festlegen und die Zertifizierer akkreditieren.
- Die **Festlegung des Referenzfalles**, der für die Berechnung der Emissionsverringerung entscheidend ist, stellt eine grundlegende Determinante für Erfolg oder Scheitern des CDM dar. Referenzfälle sollten auf transparente Weise errechnet werden. Häufige Überarbeitungen des Referenzfalls würden die Reduktion von Unsicherheiten ermöglichen, aber die Kosten und Risiken für die Projektpartner erhöhen. Der Aggregationsgrad der Referenzfallberechnung ist von hoher Bedeutung. Hochaggregierte Szenarien (z.B. auf gesamtstaatlicher Ebene) decken einen hohen Teil der Ausweicheffekte ab, benötigen aber eine Menge von Daten und Bearbeitern. In diesem Fall würden die Kosten weitgehend bei Regierungsstellen anfallen, während sie für die Projektanbieter gering wären. Es gäbe ein Betrugspotenzial bei der Auswahl der Parameter, aber nicht auf individueller Projektebene. Bei gering aggregierten Referenzfällen (z.B. auf der Projektebene) wären die Kosten für die Projektpartner wahrscheinlich höher, könnten aber durch die Standardisierung gewisser Parameter gesenkt werden. Die Betrugsmöglichkeit seitens der Projektpartner wäre höher.
- Viele Entwicklungsländer möchten einen Anteil der **Emissionsgutschriften** aus CDM-Projekten. Um diese verwerten zu können, müssen sie frei handelbar sein. Eine Aufteilung der Gutschriften würde die Angst der Entwicklungsländer reduzieren, dass CDM-Projekte die billigsten Optionen zur Emissionsverringerung abschöpfen, ohne dem Gastgeberland ein adäquates Einkommen zu ermöglichen. Wenn das Gastgeberland später ein Emissionsziel erreichen müsste, blieben ihm nur teure Optionen übrig. Um dies zu vermeiden, wären Verträge denkbar, die dem Gastgeberland mit der Zeit einen wachsenden Anteil der Gutschriften überschreiben. Für die Gastgeberländer besteht allerdings die Gefahr, durch ihre Forderung nach einer Aufteilung der Emissionsgutschriften Wettbewerbsnachteile gegenüber Emissionsrechtshandel und JI hervorzurufen.

- Die **Anpassungs- und Verwaltungssteuer** des CDM stellt eine Belastung dar. Diese sollte auf die anderen Mechanismen ausgedehnt werden, um Wettbewerbsverzerrungen zu vermeiden.
- Es ist zu befürchten, dass für Kleinprojekte der Aufwand einer Beantragung so hoch sein wird, dass eine Förderung nur in Ausnahmefällen erfolgt. Um die Implementierung von differenzierten, lokal angepassten **Kleinprojekten** zu ermöglichen, sollten für sie **Erleichterungen** eingeführt werden. Dieser Vorschlag könnte bedeuten, dass prinzipiell alle Projekte, die bis 20 oder 30 MW mit regenerativen Energien bereitstellen, als zusätzlich im Sinne des CDM bewertet werden, dass sie auch ohne vorherige Überprüfung durch Dritte direkt eingereicht werden könnten und dass mehrere Kleinprojekte zusammenfassbar und als gemeinsamer Vorschlag beantragt werden können, solange die Gesamtgröße 20-30 MW nicht übersteigt.
- Für viele Entwicklungsländer wird es notwendig sein, dass sie eine **Unterstützung zur Einrichtung von CDM-Sekretariaten** erhalten. Durch eine solche Unterstützung könnte die praktische Umsetzung von CDM-Projekten vorbereitet werden. CDM-Sekretariate sollen eine Erstbewertung von Projektvorschlägen hinsichtlich ihrer Eignung unter CDM vornehmen. Investoren aus Industrienationen bieten sie eine kompetente Anlaufstelle im Gastgeberland und beim projektbegleitenden Monitoring sowie bei einer abschließenden Beurteilung.
- Die Frage, wer für die **Aus- und Weiterbildung von Mitarbeitern nationaler CDM-Institutionen** aufkommt, verdient ebenso Beachtung. In der AIJPilotphase wurde klar, dass mangelnde Ausbildung ein erhebliches Hindernis für die Genehmigung und Umsetzung von Projekten ist. Hier bedarf es koordinierter Nationalprogramme. Das Weltbank-Programm für nationale CDM-Strategiestudien ist dafür ein guter Anfang. Allerdings besteht eine realistische Gefahr, dass Entwicklungshilfe dafür umgewidmet wird, wie dies in den USA bereits der Fall ist. Es könnte also sinnvoll sein, die "Verwaltungsabgabe" auch hierfür einzusetzen.

2.2 Energiepolitik der Entwicklungsländer

Entwicklungsländer können durch eine **Umgestaltung ihrer nationalen Energiepolitik**, selbst ohne umfangreiche staatliche Investitionen, entscheidende **Impulse zur verstärkten und effizienteren Nutzung von Bioenergieträgern** setzen. Die folgenden Maßnahmen beziehen sich auf eine nationale Umsetzung

in den Entwicklungsländern. Diese könnten **durch spezielle Projekte der Entwicklungszusammenarbeit entsprechend unterstützt** werden. Es ist davon auszugehen, dass die meisten Maßnahmen nicht in den Rahmen des Clean Development Mechanism fallen, jedoch komplementär zu diesem sinnvoll bzw. erforderlich werden könnten. **Voraussetzung wäre, dass mit der nationalen Energiepolitik die folgenden Ziele verfolgt werden**:

– Die Nachhaltigkeit der Energieversorgung zu erhöhen;
– den Zugang ärmerer Haushalte zu ermöglichen;
– die Energieversorgung im ländlichen Raum zu verbessern.

Von zentraler Bedeutung wären die folgenden politischen Optionen zur Umgestaltung nationaler Energiepolitiken in den Entwicklungsländern.

Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit regenerativer Energieträger

Zur Erreichung dieser Ziele muss die Wettbewerbsfähigkeit regenerativer Energieträger erhöht werden. Durch einen **Abbau von Subventionen zugunsten fossiler Energieträger** sollten Preisverzerrungen abgebaut und die Benachteiligung insbesondere auch moderner Bioenergietechnologien reduziert werden. Gleichermaßen können **Externalitäten**, vor allem Umweltkosten fossiler Energieträger, **internalisiert** werden, indem z.B. entsprechende Filter vorgeschrieben oder Steuern zur Deckung der entstehenden Kosten erhoben werden. Umweltpolitische Maßnahmen, die sich in Industrieländern bewährt haben, können auch in Entwicklungsländern in angepasster Form erfolgreich sein. Energiepreise sollten nicht staatlich niedrig gehalten werden, sondern mindestens Kostendeckung gewährleisten. Nur auf diesem Weg lassen sich zum einen Anreize zur Einsparung von Energie an die Nutzer weitergeben und zum anderen die installierten Kapazitäten in Stand halten. Weiterhin dürften **kostendeckende Energiepreise** zu einer besseren Kapitalausstattung der Energieanbieter führen. Dieses Kapital kann zum einen zum Ausbau des Versorgungsnetzes beitragen und ermöglicht zum anderen auch eine Erhöhung der Qualität durch verbesserte Wartung und Reparatur. Durch einen Ausbau der Versorgungsnetze verbessert sich der Zugang insbesondere ärmerer Haushalte zu modernen Energieträgern.

Ausdehnung des Energieangebotes

Eine Ausdehnung des Energieangebotes kann erreicht werden, indem **private Anbieter von Energie Zugang zu den bestehenden Netzen erhalten**. Wichtig ist hier, dass Investitionen in Kraftwerke, gleich welcher Art, mit hohen spezifischen Kosten verbunden sind. Solche Investitionen werden also nur erfolgen, wenn ein Minimum an **Absatzsicherheit** besteht. Maßnahmen, die Anreize zu privater Investition bieten, sind z.B. Abnahmeverträge über mehrere Jahre oder kompetitiv ausgeschriebene Konzessionen für bestimmte Regionen, die ebenfalls für einige Jahre abgesichert sind.

Mindestquoten oder erhöhte Abnahmepreise für regenerative Energien

Die Wettbewerbsfähigkeit regenerativer Energien kann darüber hinaus explizit gefördert werden, indem eine Mindestquote an Strom aus regenerativen Energien vorgeschrieben wird. Das Instrument einer Quote hat den Vorteil, dass die regenerativen Energieträger untereinander konkurrieren und der technische Fortschritt gefördert wird. In dem Maße, wie diese Technologien kostengünstiger angeboten werden, kann durch eine Erhöhung der Quote auch der Anteil regenerativer Energieträger erhöht werden. Eine Alternative ist die Einführung von garantierten, erhöhten Abnahmepreisen für Strom aus regenerativen Energieträgern, die ebenfalls einen starken Anreiz zum Ausbau der regenerativen Energiebereitstellung darstellen.

Subventionierung von Erschließungskosten

Alle zuvor genannten Maßnahmen können in gleicher Weise für noch nicht an ein Versorgungsnetz angeschlossene Regionen umgesetzt werden. Die Kosten werden in diesen Regionen zunächst höher liegen als in den bereits erschlossenen Gebieten. Dies kann Subventionen erforderlich machen. Der Nutzen dieser Subventionen kann maximiert werden, indem sie für die Erschließungskosten verwendet werden und möglichst viele Anbieter um die Subvention konkurrieren. Außerdem sollten die Abnehmer sowohl am Entscheidungsprozess, insbesondere der Technologiewahl, als auch an der Finanzierung der Maßnahme beteiligt werden.

Ausbau der Kapitalmärkte und Finanzierungsmöglichkeiten

Neben der Förderung der Kapitalmärkte für Unternehmer kann der Staat entweder selbst für die Endverbraucher Finanzierungsmöglichkeiten schaffen oder Anreize kreieren, die es anderen Institutionen ermöglichen, Kredite zur Verbesserung der Energieversorgung anzubieten (Kap. IV.5).

Verbesserte Abstimmung von Energiepolitik und Forst- bzw. Landwirtschaftspolitik

Bioenergieträger speziell können von einer verstärkten Abstimmung der Energie- mit der Forst- bzw. Landwirtschaftspolitik profitieren. Fragen der Energienutzung sollten deshalb gezielt in Forschung und Beratung mit einbezogen werden. Staatlicherseits unterstützt werden kann auch die Erfassung der bereits existierenden Potenziale für eine optimale Nutzung von Nebenprodukten für die Energiebereitstellung und die gezielte Schaffung bzw. Förderung von Märkten für Biomasse. Eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Erhöhung des Angebots an Bioenergieträgern, insbesondere aus nachhaltiger Produktion, ist die klare Definition und Absicherung von Nutzungsrechten.

Literatur

1. In Auftrag gegebene Gutachten

KALTSCHMITT, M., BAUEN, A., HEINZ, A. (1999): Perspektiven einer energetischen Nutzung organischer Ernte- und Produktionsrückstände in Entwicklungsländern. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER) der Universität Stuttgart

MICHAELOWA, A., DUTSCHKE, M. (2000): Clean Development Mechanism: Ziele, Struktur, Nutzung und Entwicklungspotenziale der gemeinsamen Umsetzung von Klimaschutzmaßnahmen. Hamburger Welt-Wirtschafts-Archiv (HWWA), Institut für Wirtschaftsforschung, Hamburg

RÖSCH, C. (1998): Anbau von Ölpflanzen zur Verringerung von CO_2, Erhöhung der lokalen Wertschöpfung und Intensivierung entsprechender Wirtschaftskreisläufe in der Dritten Welt. Karlsruhe

RÖSCH, C. (2000): Biogasnutzung in Entwicklungsländern. Karlsruhe

SAUERBORN, J., GEMMER, J., STEINMÜLLER, N. (2000): Nutzung von Ölpflanzen als Energieträger. Institut für Pflanzenproduktion und Agrarökologie der Tropen, Universität Hohenheim

ULLRICH, S., KALTSCHMITT, M. (2001): Entwicklungspotenziale, Fördermöglichkeiten, Barrieren und Folgen der energetischen Nutzung land- und forstwirtschaftlicher Biofestbrennstoffe. Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart

VALDIVIA, S., WOLTERS, D. (2000): Einsatz und Perspektiven regenerativer Energien in Entwicklungsländern. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie (WI)

WITTMER, H., BERGER, T. (2000): Nichttechnische Hemmnisse und Umsetzungsrestriktionen bei einer verstärkten und verbesserten Nutzung von Bioenergieträgern in Entwicklungsländern. Zentrum für Entwicklungsforschung (ZEF), Bonn

2. Weitere Literatur

DUTT, G., RAVINDRANATH, N.H. (1994): Bioenergy Alternatives for Cooking. In: De Villa, Jill Gale (Ed.): Energy End Use, Manila

GATE (GERMAN APPROPRIATE TECHNOLOGY EXCHANGE) (2000): Information and Advisory Service on Appropriate Technology.
http://gate.gtz.de/isat/default.asp?dis=/biogas/reports/china.html

HELBERG, U. (1994): Einsatzmöglichkeiten der Purgiernuss (Jatropha curcas) in Erosionsschutz und Energiegewinnung in Mali. Diplomarbeit an der Universität Gesamthochschule Kassel, Fachbereich 11 (Aufbaustudiengang Ökologische Umweltsicherung)

HENNING, R.G. (1992): Förderung der Erosionsbekämpfung im Sahel durch Produktion und Nutzung von Pflanzenöl als Kraftstoff. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) mbH, Eschborn

KOBILKE, H. (1989): Möglichkeiten der Bestandsbegründung von Purgiernuss. Diplomarbeit, Universität Hohenheim

LOVINS, A., HENNICKE, P. (1999): Voller Energie, Vision: Die globale Faktor Vier-Strategie für Klimaschutz und Atomausstieg. Frankfurt a.M., New York

MÜNCH, E, KIEFER, J. (1986): Die Purgiernuss (Jatropha curcas L.): Mehrzweckpflanze als Kraftstoffquelle für die Zukunft. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) mbH, Eschborn; GTZ-Schriftenreihe Nr. 209, TZ-Verlagsgesellschaft, Roßdorf

PATIL, V., SINGH, K. (1991): Oil gloom to oil boom. Agro Forestry Federation Maharashtra and National Wastelands Development Mission, Ministry of Environment and Forests, Government of India, Satpur, India

REDDY, A. (1981): A Strategy for Resolving India's Oil Crisis. In: Current Science, 50(2), S. 50-53

REDDY, A. (1993): Revisiting a Strategy for Resolving India's Oil Crisis. In: De Villa, J. G. (Ed.): Energy End Use. Manila

THIROLF, F. (1996): Phänologie und Samenertrag zweier Ökotypen von Jatropha curcas L. auf verschiedenen Standorten in Nicaragua. Diplomarbeit, Fachhochschule Wiesbaden

WALTER, A., CORTEZ, L. (1999): An Historical Overview of the Brazilian Bioethanol Program. In: Renewable Energy for Development, Vol. 11(1), S. 2-4

WORLD BANK (1996): Rural Energy and Development - Improving Energy Supplies for Two Billion People. Washington D.C.

Anhang

1. Verzeichnis der verwendeten Einheiten

Vorsätze und Vorsatzzeichen

k = Kilo = 10^3 = Tausend	T = Tera = 10^{12} = Billion
M = Mega = 10^6 = Million	P = Peta = 10^{15} = Billiarde
G = Giga = 10^9 = Milliarde	E = Exa = 10^{18} = Trillion

Definierte Einheiten für Energie und Leistung

Joule	(J)	Energie, Arbeit, Wärmemenge
Watt	(W)	Leistung, Energiestrom, Wärmestrom

Weitere verwendete Einheiten

Barrel	(b) Öl	= 159 l Öl
Gigatonne of oil equivalent	(Gtoe)	= 41.868 EJ (siehe oben)
Hektar	(ha)	= 10.000 m^2

2. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Endenergieverbrauch in der Gruppe der Entwicklungsländer für 1995 37
Tab. 2: Primärenergieverbrauch in der Gruppe der Entwicklungsländer für 1995 (in Gtoe) 37
Tab. 3: Beitrag einzelner Entwicklungsregionen zum Primärenergieverbrauch der Entwicklungsländer für 1995 (nach IEA*-Bilanzmethode) 38
Tab. 4: Deskriptive Szenarien zum Primärenergieverbrauch bis 2050 nach Energieträgern in Entwicklungsländern (in Gtoe) 39
Tab. 5: Beiträge regenerativer Energien zum Primärenergieverbrauch in Entwicklungsländern für 1995 (in Gtoe) 40
Tab. 6: Perspektiven erneuerbarer Energien in Entwicklungsländern für das Jahr 2050 - Ergebnisse verschiedener Szenarienberechnungen 41
Tab. 7: Jährlich technisch nutzbare Potenziale biogener Festbrennstoffe (in EJ/a) in ausgewählten Ländern und Kontinenten 44
Tab. 8: Biomasseverbrauch in Afrika, Asien und Lateinamerika 1998 (in PJ/a) 47
Tab. 9: Sektoraler Verbrauch biogener Festbrennstoffe in Indien 1995 (in Mio. t/a) 50
Tab. 10: Exemplarisch ausgewählte verbesserte Herdtypen in Indien im Hausgebrauch 52
Tab. 11: Gesamtzahl der Installation verbesserter Herde im Vergleich zum technisch möglichen Potenzial (bis 31.03.1999) 54
Tab. 12: Pro-Kopf-Verbrauch an Biofestbrennstoffen in ausgewählten Dörfern bzw. städtischen Ansiedlungen in den Regionen Mashonaland und Manicaland in Simbabwe (in GJ/Kopf und Jahr) 58
Tab. 13: Exemplarisch ausgewählte traditionelle und verbesserte Herdtypen im Hausgebrauch in Simbabwe 59
Tab. 14: Wirkungsgrade exemplarisch ausgewählter traditioneller und verbesserter Herdtypen in Brasilien im Hausgebrauch 64
Tab. 15: Übersicht der pflanzenöltauglichen Motoren 74
Tab. 16: Potenzielle Ölpalmanbaufläche weltweit (in Mio. ha) 82
Tab. 17: Theoretische Gasausbeuten, Gaszusammensetzung und Heizwert 85
Tab. 18: Wirkungsgrade für verschiedene Gasanwendungen 89
Tab. 19: Typische Merkmale verschiedener Motoren für Biogas 89
Tab. 20: Anzahl der installierten Biogasanlagen in ausgewählten Entwicklungsländern 91

Tab. 21: Anzahl der betriebenen Biogasanlagen und Menge an substituiertem Brennholz in Indien 93
Tab. 22: Verteilung der Biogasanlagen in Indien nach Alter 93
Tab. 23: Attraktivität verschiedener Energieträger zum Kochen aus der Sicht der Nutzer(innen) 124
Tab. 24: CO_2-Emissionen unter gegenwärtigen und optimalen Bedingungen für die Nutzung von Biofestbrennstoffen in Asien und Indien 128
Tab. 25: CO_2-Emissionen unter gegenwärtigen und optimalen Bedingungen für die Nutzung von Biofestbrennstoffen sowie unter Ausnutzung der Biomassepotenziale in Afrika und Simbabwe 129
Tab. 26: CO_2-Emissionen unter gegenwärtigen und optimalen Bedingungen für die Nutzung von Biofestbrennstoffen sowie unter Ausnutzung der Biomassepotenziale in Lateinamerika und Brasilen 130
Tab. 27: Methanemissionen unter gegenwärtigen und optimalen Rahmenbedingungen für die Nutzung von Biofestbrennstoffen in den Entwicklungsländern 132
Tab. 28: Lachgasemissionen unter verschiedenen Rahmenbedingungen in den Entwicklungsländern 133
Tab. 29: Energieaufwand und Emissionen beim Ölpalmenanbau 136
Tab. 30: Reduktionspotenzial klimawirksamer Emissionen im Vergleich zur gegenwärtigen Situation (bei Ersatz von Kerosin) 140
Tab. 31: Substituierbarkeit von Energieträgern durch Biogas 141
Tab. 32: Übersicht über die flexiblen Mechanismen des Kyoto-Protokolls 147
Tab. 33: Entwicklung der Erprobungsphase von Activities Implemented Jointly 149
Tab. 34: Interessen der Akteure 164

3. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Verlauf des Endenergiebedarfs in allen Entwicklungsländern von 1995 bis 2050 39
Abb. 2: Prozentuale Anteile verschiedener Energieträger am Gesamt-Primärenergieverbrauch Indiens im Jahr 1999 49
Abb. 3: Prozentualer Anteil verschiedener Energieträger am Primärenergieverbrauch in Simbabwe 1997 57
Abb. 4: Anteil regenerativer Energien im Vergleich zu nicht erneuerbarer Energie an der Primärenergieproduktion Brasiliens für 1998 63
Abb. 5: Flussdiagramm der Gewinnung von Palm- und Palmkernöl 68

Abb. 6: Produktion von Pflanzenöl in Industrieländern 76
Abb. 7: Produktion von Pflanzenöl in Entwicklungsländern 77
Abb. 8: Produktionssteigerung von Pflanzenölen über den Zeitraum von 1968 bis 1998 78
Abb. 9: Pflanzenölproduktion im Jahr 1998 nach Ländern (in Mio. t)..... 79
Abb. 10: Biomasseverbrauch in Abhängigkeit des Pro-Kopfeinkommens in 80 Ländern 115
Abb. 11: Emissionsbilanzen von Palmölmethylester und Mischraffination 137

4. Abkürzungsverzeichnis

AAU	Assigned Amount Units
AFREPEN	African Energy Policy Research Network
AIJ	Activities Implemented Jointly
BIG/GT	Biomass Integrated Gasifier/Gas Turbine
CARMEN e.V.	Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing und Entwicklungs-Netzwerk
CDM	Clean Development Mechanism
CER	Certified Emission Reductions
CEST	Condensing Extraction Steam Turbine
CTO	Certified Tradable Offsets
DOE	Department of Energy, USA
ERU	Emission Reduction Units
FAME	Fatty Acid Methyl Ester
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GTZ	Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit
IEA	Internationale Energie Agentur
IRENA	Internationale Agentur für Erneuerbare Energien
JI	Joint Implementation
JUSCANNZ-GRUPPE	Japan, USA, Kanada, Australien, Norwegen, Neuseeland
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
NGO	Non-Governmental Organization
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Developement
PME	Pflanzenölmethylester
RWEDPA	Regional Wood Energy Development Programme in Asia
SIDA	schwedische Entwicklungshilfeorganisation
WEC	World Energy Council
WHO	World Health Organization

TAB

Büro für Technikfolgen-Abschätzung
beim Deutschen Bundestag

Neue Schönhauser Str. 10 · 10178 Berlin
Telefon: 0 30 / 28 49 10
Telefax: 0 30 / 28 49 11 1
e-mail: buero@tab.fzk.de
Internet: www.tab.fzk.de
ISSN-Print 2364-2599
ISSN-Internet 2364-2602