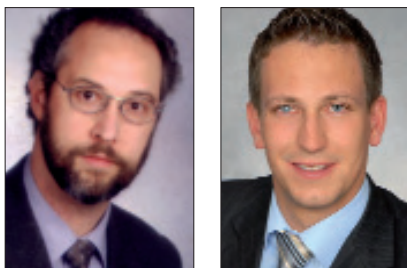


Kosteneffizienz von Beteiligungen an CDM-Projekten

Kosten- und Risikobewertung von CDM-Projekten im Bereich der erneuerbaren Energien

Teil 1

Die Mehrzahl der emissionshandelspflichtigen deutschen Unternehmen hat bisher zurückhaltend auf dem Markt für UN-Klimaschutzprojekte agiert. Mit der Vollversteigerung von CO₂-Emissionsberechtigungen im Energiesektor ab 2013 könnte die Attraktivität von Beteiligungen an Clean-Development-Mechanism-(CDM-)Projekten steigen. Vor diesem Hintergrund führen die Stadtwerke München gemeinsam mit der TU Braunschweig eine Kosten- und Risikoanalyse von CDM-Projekten durch. Als Ergebnis des Forschungsprojekts entsteht ein entscheidungsunterstützendes Modell, das die Vorteile von Regionen- und Technologieclustern für CDM-Projektbeteiligungen untersucht. – Im Folgenden wird der Modellaufbau erklärt, und es werden die Bewertungsergebnisse für den Einsatz erneuerbarer Energien in ausgewählten Entwicklungsländern diskutiert. Bevor auf die Kosten- und Risikobewertung eingegangen wird, werden die Anlagentypen und Regionen für die Analyse selektiert.



Prof. Dr.-Ing. **Michael Kurrat** (l.), Professur am Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen, und Dipl.-Wirtsch.-Ing., MBA **Peter Wiedenhoff**, Doktorand im Bereich der CDM-Projekte mit Fokus auf erneuerbare Energien am Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen, TU Braunschweig, Braunschweig.

Im Rahmen des CDM sind Zuteilungen von CO₂-Emissionsberechtigungen für jede Art der erneuerbaren Energien sowie in jedem Entwicklungsland möglich. Für die Modellierung wird auf relevante Regionen- und Technologiecluster fokussiert. Letztgenannte ergeben sich aus einer Analyse der bisher durchgeführten CDM-Projekte sowie des jeweiligen technologischen Entwicklungsstands von:

- Wind onshore,
- kleinen Laufwasserkraftwerken (< 15 MW)
- kleinen Dammkraftwerken (< 15 MW)
- Biomasse Bagasse,
- Biomasse Residuen,
- Photovoltaik,
- Solarthermie,
- Tiefengeothermie zur Elektrizitätserzeugung.

Die Fokusregionen werden auf Basis technologiespezifischer Potenzialuntersuchungen ausgewählt. Zunächst wird das globale technische Anwendungspotenzial für jede der oben aufgeführten Technologien bestimmt und länderspezifisch dargestellt. Kriterien für die Auswahl als Fokusland sind zum einen der Landesstatus als Entwicklungsland sowie ein großes technisches Potenzial für die jeweilige Technologie. In Ergänzung wird die gegenwärtige Anzahl an CDM-Projekten sowie die Verfügbarkeit finanzieller Förderungsmöglichkeiten untersucht. Eine Kombination von hohem technischen Potenzial, gegenwärtiger CDM-Aktivität und finanzieller Förderung führt zur Auswahl als Fokusland. Dieses Vorgehen wird am Beispiel der Wasserkraft verdeutlicht (*Bild 1*).

Basierend auf den Daten des »Hydropower & Dams 2009 World Atlas and Industry Guide« gibt es ein weltweites technisches Poten-

zial für Wasserkraftwerke von 14 604 TWh, wovon rd. 3 360 TWh mit dem bestehenden Kraftwerkpark genutzt werden. *Bild 1* zeigt die zwanzig Länder mit dem größten Einzelpotenzial, die aggregiert eine mögliche Stromerzeugung von knapp 10 000 TWh haben. In entwickelten Ländern – wie Kanada, den USA und der Türkei – können gemäß des Kyoto-Protokolls keine CDM-Projekte durchgeführt werden, weshalb sie als Fokusland nicht in Betracht kommen. Die Anzahl der bisher bei der UN erfassten CDM-Projekte ist über der sekundären vertikalen Achse aufgetragen. Da keines der aufgeführten Länder über eine nennenswerte Einspeiseförderung verfügt, wird die Auswahl ausschließlich auf Basis von Potenzial und bestehender CDM-Aktivität vorgenommen. Aus dieser Vorgehensweise ergeben sich die in *Bild 1* rot markierten Fokusländer. In Ergänzung wird Vietnam mit einem Potenzial von rd. 123 TWh aufgrund seines Bestands von 53 CDM-Projekten in die weitere Betrachtung mit einbezogen. Wird das beschriebene Auswahlverfahren auch für die weiteren, oben beschriebenen Anlagentypen angewendet, ergeben sich zusammenfassend die in *Bild 2* gezeigten Fokustechnologien und -länder für die weitere Analyse.

Bewertungsmodell und Datenbasis

Ein europäisches Compliance-Unternehmen wird sich aus wirtschaftlichen Gründen nur dann an einem CDM-Projekt beteiligen, wenn der voraussichtliche Ertrag in Form der Emissionsberechtigungen (Certified Emission Reductions, CER) die anfallenden Kosten übersteigt und die Projektrisiken dem jeweiligen Investitionsverhalten entsprechen. Ein CER berechtigt hierbei zur Emission von 1 t CO₂. Diese Aussage impliziert, dass ein Modell zur Bewertung von CDM-Projekten aus Investorensicht erwartete Umsätze, Kosten und Risiken ganzheitlich abbilden muss. *Bild 3* zeigt den Aufbau des hier entwickelten Modells.

Im Folgenden wird das in *Bild 3* rot markierte Teilmodell der Profitabilitätsuntersuchung sowie die Betrachtung der typischen Kosten je CER fokussiert. In einem weiteren Aufsatz in einer der folgenden Ausgaben der

Technisches Potenzial

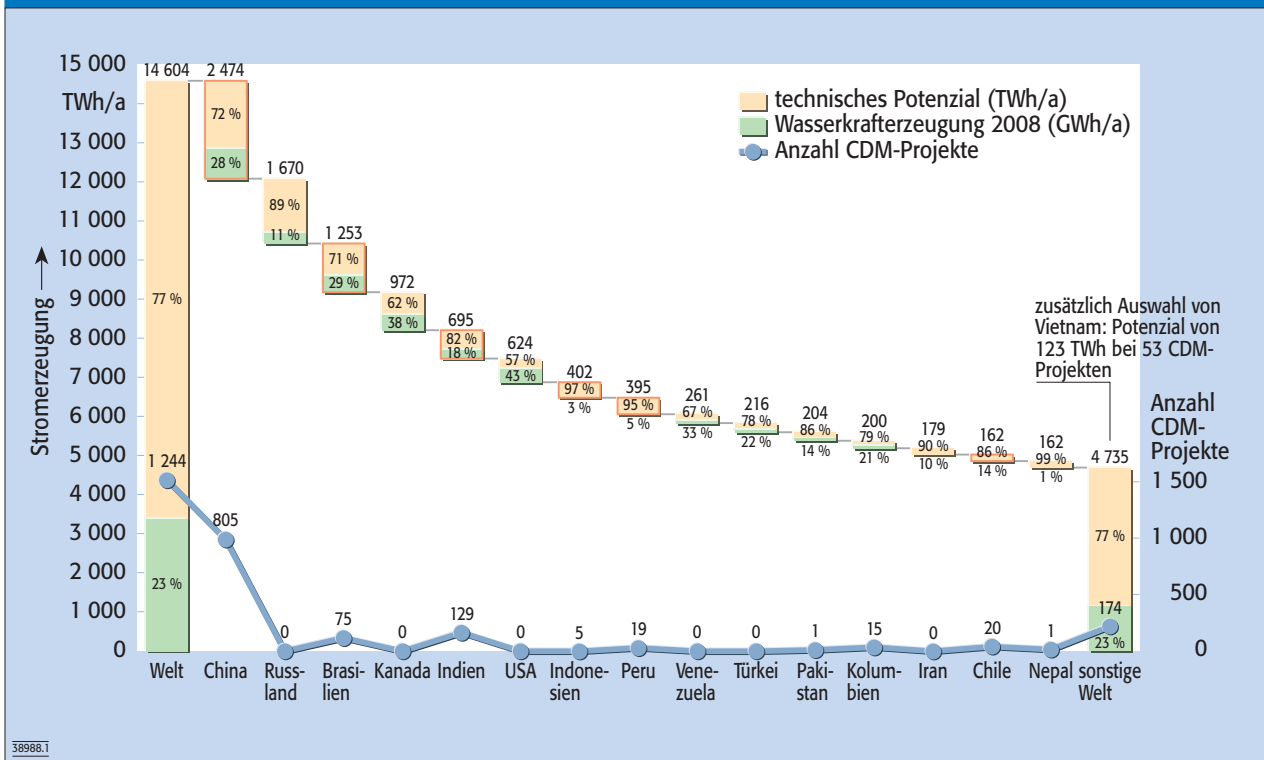


Bild 1. Technisches Potenzial für Wasserkraftwerke und daraus folgende Definition der fokussierten Länder

ew wird die Risikoanalyse und integrierte Vorteilhaftigkeitsbewertung vorgenommen. Die Modellergebnisse werden am Beispiel eines Projekttyps in China vorgestellt.

Die Datenbasis besteht aus drei Quellen. Zunächst wird auf die »Unep Risoe CDM-Pipeline« (CDM-Pipeline) zurückgegriffen, die aggregierte Informationen zu über 5 000 bestehenden CDM-Projekten enthält. Der technologisch relevan-

te Teil dieses Datensatzes wurde durch Auswertung der Project Design Documents (PDD), die bei jeder Projektregistrierung eingereicht und veröffentlicht werden, um weitere projektspezifische Informationen wie geplante Investitionskosten, Volllaststunden und Ort der Durchführung erweitert. Diese Informationen wurden durch Expertengespräche sowie die Einbindung umfangreicher Länderstudien und Technologieanalysen ergänzt. Die

aufbereiteten Daten finden Eingang sowohl in das Wirtschaftlichkeits- als auch in das Risikomodell. Beide Analysen werden zunächst unabhängig voneinander durchgeführt und im Rahmen der Vorteilhaftigkeitsbewertung zu einer übergreifenden Aussage zusammengefasst. Sämtliche Untersuchungen finden regionen- und technologiespezifisch statt, so dass der Vergleich verschiedener Regionen- und Technologiecluster möglich wird.



Bild 2. Technologie- und Ländercluster für die Modelluntersuchung

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung untergliedert sich in die Bestimmung der Erzeugungsprofitabilität sowie in die Untersuchung des finanziellen Einflusses durch CDM. Erstgenannte ist entsprechend einer betriebswirtschaft-

lichen Investitionsrechnung aufgebaut und erfasst sämtliche Einnahmen und Kosten während der Projektlaufzeit. Somit ist das Ergebnis eine finanzmathematische Aussage zu Kapitalwert (NPV, Net Present Value) und internem Zinsfuß (IRR,

Internal Rate of Return). Diese Rechnung erfordert eine Vielzahl von Eingangsparametern: Neben den Umsätzen, die über die eingespeiste Strommenge sowie die Vergütung errechnet werden können, ist die Kenntnis durchschnittlicher

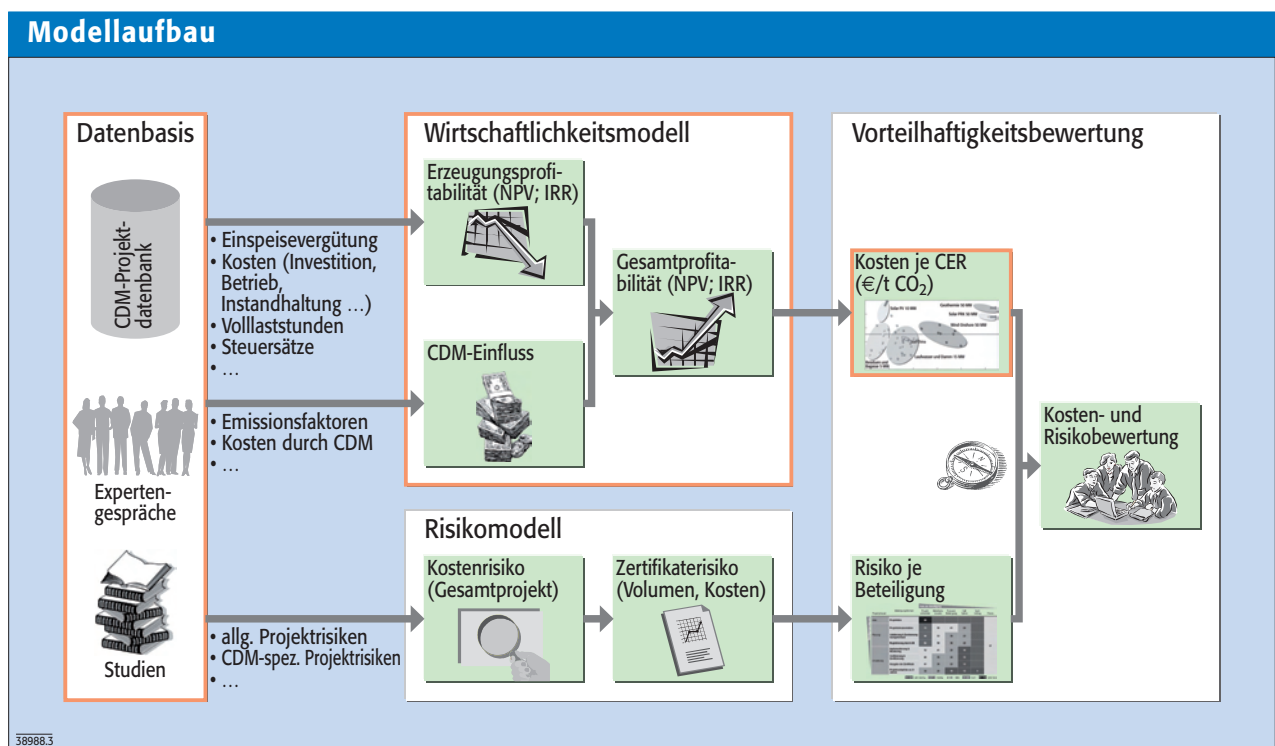


Bild 3. Modell zur Bewertung von CDM-Projekten;
 NPV Net Present Value/Kapitalwert IRR Internal Rate of Return/interner Zinsfuß

Investitions-, Betriebs- und Instandhaltungskosten erforderlich. Regional unterschiedliche Volllaststunden, Verzinsungen, Steuersätze und Inflationsraten sind ebenso zu berücksichtigen (Bild 5). Beim Vergleich von CDM-Projekten in Entwicklungsländern wird deutlich, welchen Einfluss die Verfügbarkeit qualitativ hochwertiger Daten auf die Güte der Ergebnisse des Wirtschaftlichkeitsmodells hat.

Bei der Betrachtung des CDM-Einflusses wird die finanzielle Auswirkung der generierten CER auf die Gesamtinvestition untersucht. Die Zielfunktion ist so aufgebaut, dass derjenige Zertifikatspreis bestimmt wird, der als Umsatzbeitrag in der Gesamtinvestitionsrechnung zum Erreichen einer vorgegebenen unternehmensspezifischen Kapitalverzinsung führt. Aus der Sicht eines Compliance-Unternehmens entspricht dieser Betrag den Kosten je Zertifikat und ist das Maß für die Kosteneffizienz des CDM-Projekts. Nur wenn der am Markt erwartete Preis der Emissionszertifikate zum Ausschüttungszeitpunkt über diesen Kosten liegt, ist die Beteiligung finanziell vorteilhaft.

Parallel wird im Risikomodelle die ex-post Bewertung der Beteiligungsrisiken vorgenommen, die sich in Kosten-, Umsatz- und CER-Volumenrisiken unterteilen. Über den Vergleich der Beteiligungen an verschiedenen Projekten können risikoreiche von risikoärmeren CDM-Projektclustern unterschieden werden. Hierzu werden allgemeine und CDM-spezifische Risikofaktoren eingeführt und regionen- und technologiespezifisch bestimmt. Die Gesamtdarstellung von Kosteneffizienz und Risikobewertung ermöglicht eine Aussage zur Vorteilhaftigkeit von CDM-Beteiligungen je Technologie- und Regionencluster.

Das Wirtschaftlichkeitsmodell

Das Wirtschaftlichkeitsmodell bewertet Projekte für erneuerbare Energien aus den in Bild 2 gezeigten Technologie- und Regionenclustern. Im Folgenden wird auf CDM-Projekte in China fokussiert, deren bisher erfasste Datenbasis in Bild 4 aufgeführt ist. Der gezeigte Querschnitt an chinesischen Projekten verdeutlicht eine regionale Konzentration der Technologien. Windprojekte wurden bisher typischerweise an der Ostküste sowie in Nordchina

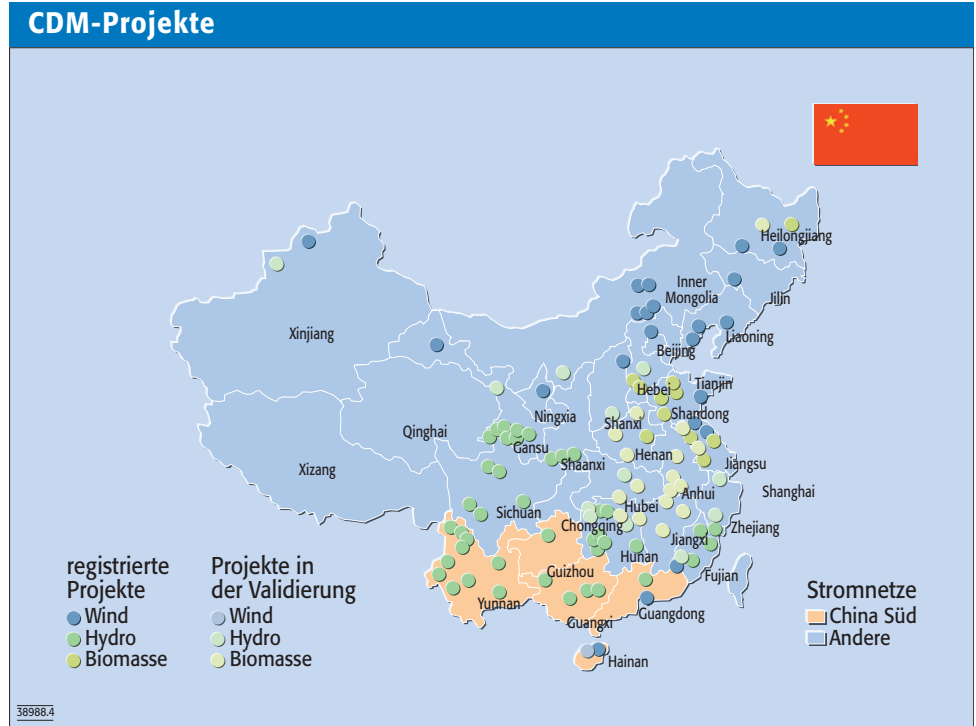


Bild 4. Chinesische CDM-Projekte in der Modelldatenbasis; Stand: Oktober 2009

und Wasserprojekte im südlichen China durchgeführt. Diese Tatsache lässt sich anhand der Verteilung der Windgeschwindigkeiten in China bzw. der chinesischen Topographie erklären. Während in der Inneren Mongolei und in Küstennähe die höchsten Windgeschwindigkeiten auftreten, befindet sich das Gros der energetisch nutzbaren Flüsse östlich des Himalaya. Biomasseprojekte wurden bislang zumeist in der Nähe der Ballungszentren im Osten Chinas durchgeführt.

Die farblich hervorgehobene Region repräsentiert das südchinesische Stromnetz, das für die folgenden Analyseschritte exemplarisch betrachtet wird. Die Unterteilung eines Landes in Regionen wird dann erforderlich, wenn ein Land nicht über ein Verbundstromnetz, sondern über mehrere Teilnetze verfügt. Da in den einzelnen Stromnetzen aus unterschiedlichen Energieträgern erzeugter Strom transportiert wird, ist ein individueller, für das jeweilige Stromnetz spezifischer CO₂-Emissionsfaktor bei der Emissionsberechnung anzusetzen.

Bei der Fokussierung auf südchinesische Wasserkraftwerke gehen in das Wirtschaftlichkeitsmodell insgesamt 16 CDM-Projekte ein (Bild 4), die sich in acht Laufwasserkraft- und acht Dammprojekte unterteilen. Aus den zugehörigen PDD sowie den weiteren genannten Quellen lässt sich die in Bild 5 gezeigte Datenbasis zusammenstellen. Jeder dieser Datensätze kann für die Modellrechnung individuell ausgewählt und angepasst werden. Die Finanzierungsparameter wur-

den entsprechend eines typischen Investitionsverhaltens eingestellt. Diese Datenbasis liegt für jede der Fokustechnologien in sämtlichen der gezeigten Stromnetze vor, so dass auf eine umfassende Datenquelle für Ex-post-Investitionsbewertungen in Entwicklungsländern zurückgegriffen werden kann.

Zur Anerkennung als CDM-Projekt bei der UN hat der Projektentwickler die Zusätzlichkeit der Projektidee nachzuweisen. Diese Prüfung kann entweder über eine Investitions- oder eine Barrierenanalyse stattfinden. Bei der Durchführung der Investitionsanalyse wird vereinfacht verlangt, dass der beantragte Projektvorschlag nicht bereits vor der CDM-Anerkennung entsprechend der landes- und technologiespezifischen Kapitalverzinsung profitabel ist. Für diese Prüfung wird die Wirtschaftlichkeitsbewertung im Modell zunächst ohne CDM-Einfluss durchgeführt. Abschließend werden die Zertifikatskosten in €/CER berechnet. Wie oben beschrieben, drücken diese die Kosteneffizienz der CDM-Beteiligung aus. Liegt die zukünftige Marktpreisenerwartung je CER über diesem Betrag, sind Projekte aus dem Cluster im Durchschnitt profitabel.

In der Modelllogik werden die Zertifikatskosten deutlich von der Gesamtprojektprofitabilität sowie der Anzahl der Zertifikate beeinflusst, auf die nicht gedeckte Kosten während der Projektlaufzeit verteilt werden. Die Zertifikateanzahl variiert je nach Technologie, Projektgröße und Stromnetz. Somit ist die

Datenbasis

		Hydro (Laufwasser)	Hydro (Damm)
technische Daten	installierte Kapazität	15 MW	15 MW
	Eigenverbrauch	3 %	3 %
	technische Verfügbarkeit	97 %	97 %
	Volllaststunden	4 391 h	4 044 h
	Projektlaufzeit	40 a	40 a
	Bauzeit	1,5 a	2 a
Umsatz	Einspeisevergütung	20,72 €/MWh	20,61 €/MWh
	Preisentwicklung	1,42 %	1,42 %
Kosten	Investitionskosten	702 €/kW	684 €/kW
	Betriebs- und Instandhaltungskosten	15,4 €/kW	12,9 €/kW
	Einkommensteuer	31 %	30 %
	Kostenentwicklung	2,5 %	2,5 %
	Ergänzungsinvestitionen p. a.	1 %	1 %
	Abschreibungsdauer		10 a
	Diskontierung		8,2 %
Finanzierung	Darlehensfinanzierung		50 %
	Darlehensdauer		20 a
	Zinssatz für Tilgung		6,5 %
	CER-Laufzeit		7 a

38988.5

Bild 5. Datenbasis für den Einsatz von Wasserkraftwerken in Südchina

Berücksichtigung stromnetzspezifischer Emissionsfaktoren erforderlich, die ein Maß für die Verdrängung von aus fossilen Energieträgern erzeugten durch aus erneuerbaren Energien erzeugten Strom sind. Für Südchina liegt der für die Analyse relevante Emissionsfaktor bei rd. 0,79 t CO₂ je MWh, d. h., bei Einspeisung von 1 MWh aus erneuerbaren Energien erzeugten Strom werden 0,79 t CO₂ eingespart, die ansonsten durch die Erzeugung des im südchinesischen Netz transportierten Stroms anfallen. Mit einem 15-MW-Laufwasserkraftwerk und den in Bild 5 angegebenen Parametern können folglich rd. 50 000 CER/a generiert werden.

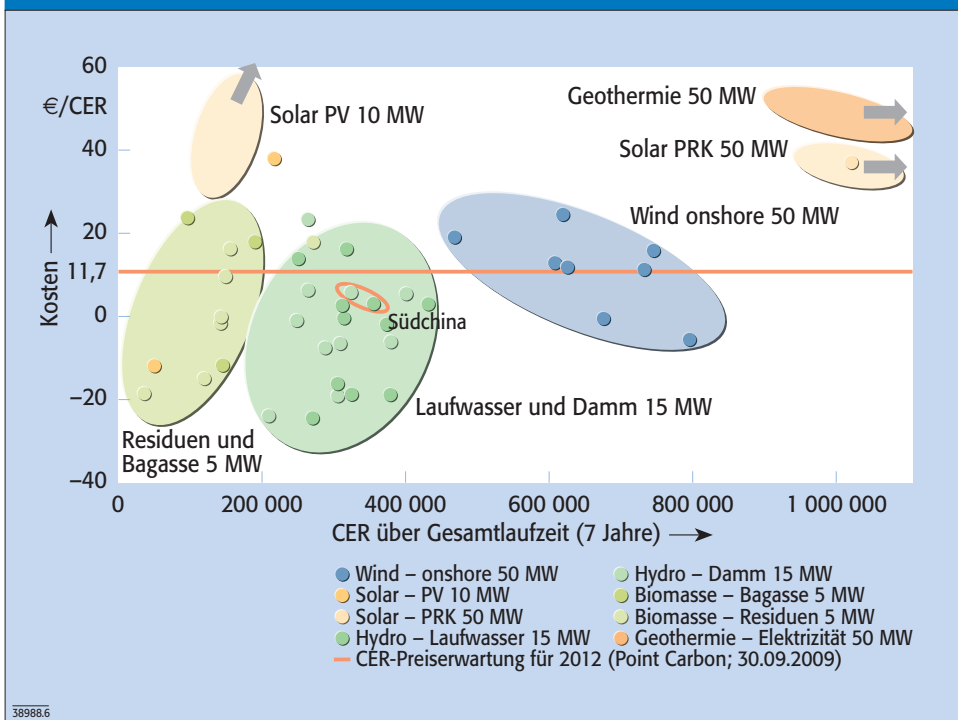
Als Ergebnis des Wirtschaftlichkeitsmodells ergeben sich für Südchina bei Betrachtung des obigen Laufwasserkraftwerks durchschnittliche Kosten von rd. 3,20 € je Zertifikat. Ein Dammkraftwerk wäre mit CER-Kosten von rd. 5,60 € weniger kosteneffizient. Der Unterschied zwischen beiden Werten liegt primär in der höheren Anzahl der Volllaststunden der Laufwasserkraftwerke begründet (Bild 5).

Bewertung der Kosteneffizienz von CDM-Projekten

Bild 6 zeigt das Ergebnis des Wirtschaftlichkeitsmodells für die genannten Fokusregionen und -technologien. Die Kosten je CER sind über den generierten Zertifikaten für eine siebenjährige Laufzeit aufgetragen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind hierin die Stromnetze, abgesehen vom südchinesischen Hydrocluster, nicht weiter aufgeschlüsselt.

Einzelne Punkte drücken die typischen Zertifikatskosten je Stromnetz und Technologie aus und sind anlagenspezifisch in den farblich gekennzeichneten Bereichen zusammengefasst. In der Vertikalen ist zu erkennen, dass Anlagen der Photovoltaik, Parabolrinnentechnologie sowie Geothermie im Durchschnitt zu den weniger kosteneffizienten CDM-Investitionen zählen. Dies liegt hauptsächlich an den hohen Investitions- und Betriebskosten dieser Technologien. Zudem ist deren finanzielle Förderung in Entwicklungsländern bisher kaum üblich, so dass die hohen Projektkosten nicht durch entsprechende Erlöse ausgeglichen werden können.

Kosteneffizienz



38988.6

Bild 6. Kosteneffizienz ausgewählter CDM-Projekte bei siebenjähriger CER-Berücksichtigung;
PV Photovoltaik PRK Parabolrinnenkraftwerk

Demgegenüber stehen die Cluster der Biomasse-, Windenergieanlagen und Wasserkraftwerke, die zum Teil eine deutlich kosteneffizientere Investitionsalternative darstellen. Weist ein Cluster negative Kosten auf, wird Profitabilität auch ohne CER-Förderung impliziert. Die Zusätzlichkeit ist in diesem Fall projektspezifisch zu überprüfen.

Aufgrund der unterschiedlichen Kapazitäten der Anlagentypen ergibt sich eine Streuung der farblichen Bereiche entlang der Horizontalen (*Bild 6*). Dies erscheint zunächst trivial, zumal eine größere Anlage, z. B. ein 50-MW-Windpark, mehr elektrische Energie einspeisen kann als eine kleinere Lösung wie ein 15-MW-Laufwasserkraftwerk. Bei genauerer Betrachtung fällt jedoch auf, dass es in den Übergangsbereichen z. B. zwischen 50-MW-Windpark und 15-MW-Wasserkraft sowie weiter gehend zur 5-MW-Biomasse nahezu Überschneidungen gibt. Dies liegt – neben technologiespezifischen Unterschieden hinsichtlich der Volllaststunden – hauptsächlich am Emissionsfaktor des jeweiligen Stromnetzes. Während beispielsweise Südafrika durch die fast ausschließliche Stromproduktion aus Braunkohle über einen Emissionsfaktor von über 1 t CO₂/MWh verfügt, werden bereits heute rd. 90 % des brasiliani-

schen Stroms mit Wasserkraftwerken erzeugt. Folglich hat die in Brasilien erzeugte elektrische Energie einen deutlich geringeren Emissionsfaktor in Höhe von rd. 0,2 t CO₂/MWh. Als Konsequenz dessen wird bei Unterstellung einer gleichen Anzahl an Volllaststunden für netzangebundene Projekte der erneuerbaren Energien in Südafrika etwa die fünffache Zertifikatsmenge ausgeschüttet wie in einem der brasilianischen Netze. Die Wahl der Region hat folglich neben der Technologiebestimmung wesentlichen Einfluss auf die Anzahl der generierten CER.

Die vorliegende Datenbasis wird im Rahmen des Forschungsvorhabens kontinuierlich erweitert und mit neuen Projektdaten aktualisiert. Dies schließt neben der Erfassung neuer Technologien (vor allem Energieeffizienzmaßnahmen) die Einbindung einer Sensitivitätsanalyse ein. Der Einfluss einer Variation der Eingangsgrößen, z. B. Investitionskosten, Volllaststunden, Emissionsfaktoren, soll somit abgebildet und bewertet werden.

Das in *Bild 6* gezeigte Zwischenergebnis der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist bereits eine Entscheidungsunterstützung bei der Frage nach der Beteiligung an CDM-Projekten für Compliance-Unternehmen. Hierzu ist bei 11,70 € eine Horizontale in roter Farbe eingezeich-

net. Sie entspricht der gegenwärtigen »Secondary-CER-Preiserwartung« von Point Carbon für das Jahr 2012 (Stand 30. September 2009). Sämtliche tiefer liegenden Projektcluster sind folglich aus finanzwirtschaftlicher Sicht potenzielle Optionen für eine detaillierte Betrachtung und Beteiligungsbewertung bei Ausschüttung der CER im Jahr 2012. Auf diese Weise unterstützt das Modell bei der strategischen Fragestellung einer CDM-Cluster vorauswahl. Vor einer abschließenden Vorteilhaftigkeitsbewertung je Projektcluster ist vor allem eine technologie- und regionenspezifische Risikobetrachtung erforderlich, die in einer der folgenden Ausgaben der **ew** vorgestellt wird.

(38988)

peter.wiedenhoff@tu-bs.de

hochspannungstechnik@tu-bs.de

www.tu-braunschweig.de