

---

# **Die verstärkte Windenergienutzung als Teil einer nachhaltigen Stromversorgung - Strategien und Herausforderungen -**

Dr. Manfred Fishedick

Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Fachtagung der Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, 21. Juni 2004



- **Strategische Rolle der Windenergie im Rahmen von Langfristszenarien (driving force: Klimaschutz)**
  - **Ökologisch optimierter Ausbau erneuerbarer Energien**
  - **Enquête Kommission „Nachhaltige Energieversorgung“**
- **Anforderungen an die Energieversorgung - verantwortbare Energiepolitik denkt vielschichtig**
- **Windenergie im Lichte der Herausforderungen**
- **Kurz- bis mittelfristiger politischer Handlungsbedarf**
- **Ausblick: Integrierte Energiepolitik**



# Wo geht der Zug hin? Die Enquete-Szenarien spiegeln die Bandbreite der gesellschaftlichen Vorstellungen

## Referenz

Verhalten bleibt  
Fortsetzung der  
Energiepolitik  
Versorgung gesichert  
Märkte bleiben offen  
Ökosteuern bis 2003  
fortgeführt  
Energiesteuern real  
konstant

## NH 1/UWE: Umwandlungs- effizienz

Schwerpunkt:  
Effizienzsteigerung bei  
Fossilen  
Energiepolitik  
verschärft  
Einsparungen  
intensiviert  
höhere Energiesteuern  
Vorbildfunktion  
öffentliche Hand

## NH 2/RRO: REG / REN - Offensive

Schwerpunkt:  
REG / REN -  
Intensivierung  
Energiedienst-  
leistungen im  
Vordergrund  
REG - Anteil liegt 2050  
bei 50%  
höhere Energiesteuern  
Vorbildfunktion  
öffentliche Hand

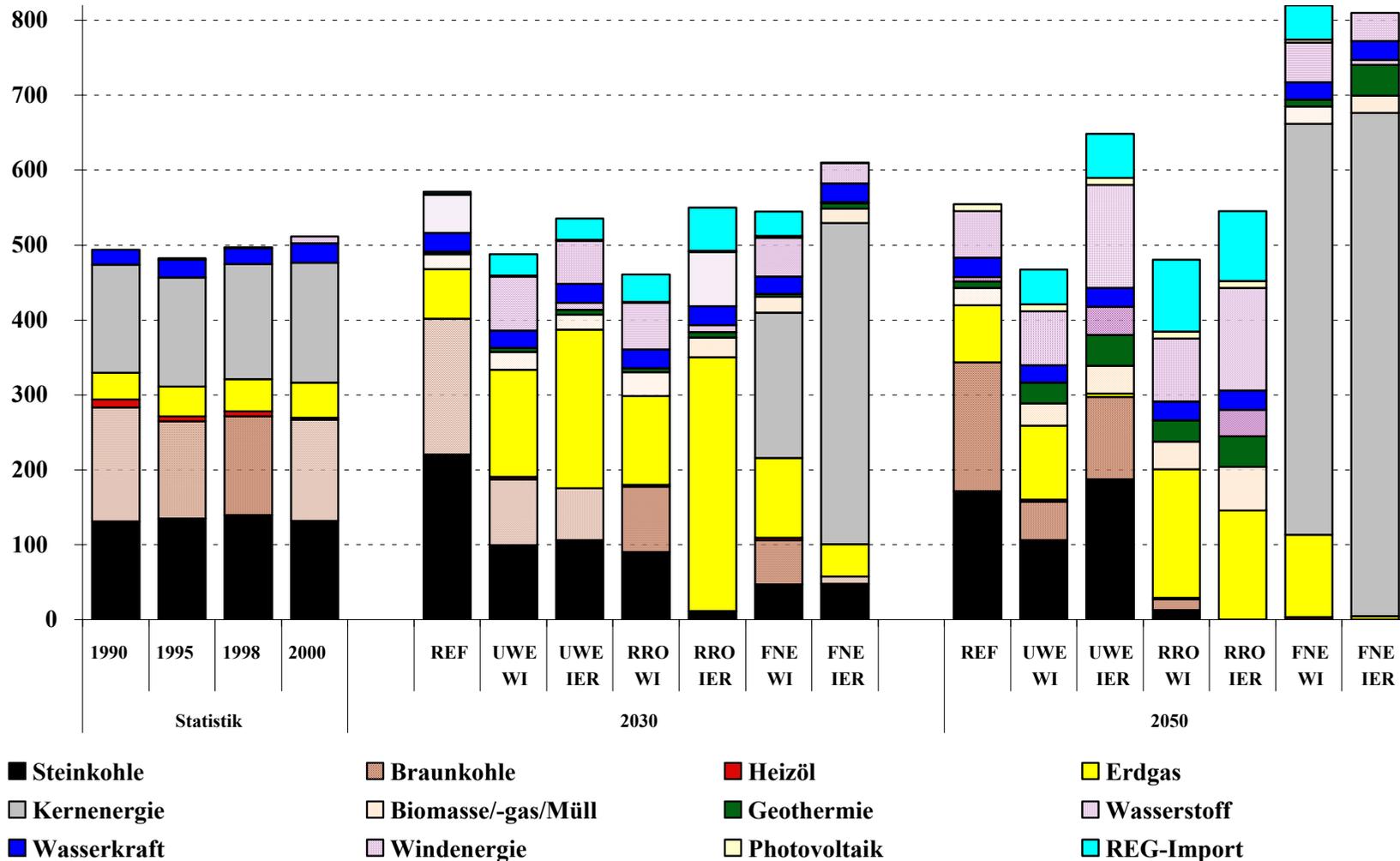
## NH 3/FNE: Fossil-nukleare Energemix

Nach 2010 Bau  
von Kernkraftwerken  
möglich  
Moderate  
Umsetzung der  
Energie-einsparpolitik



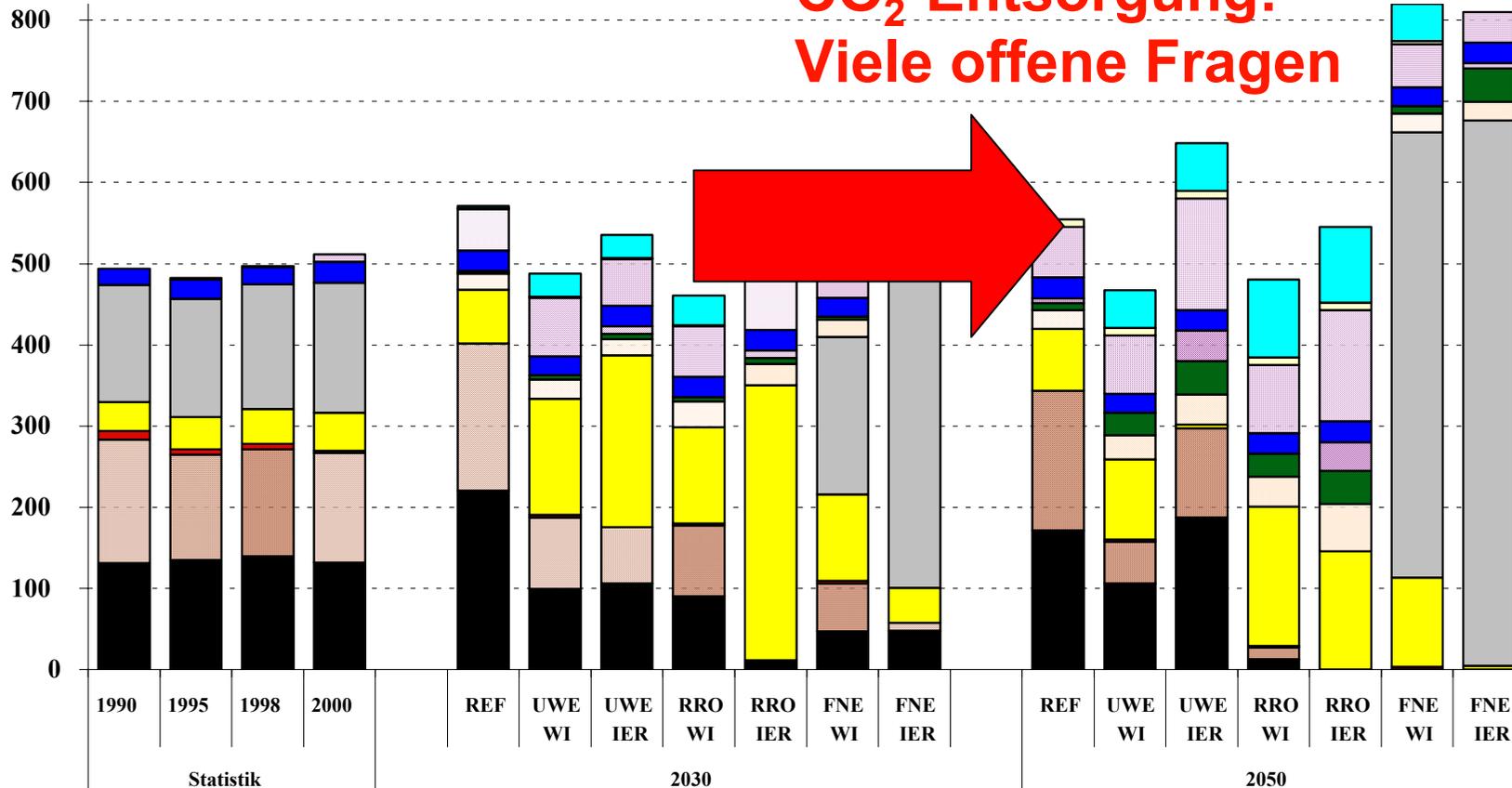
# Szenarienvergleich der Energie-Enquete-Kommission (Stromerzeugung)

Nettostrombereitstellung insgesamt [TWh]



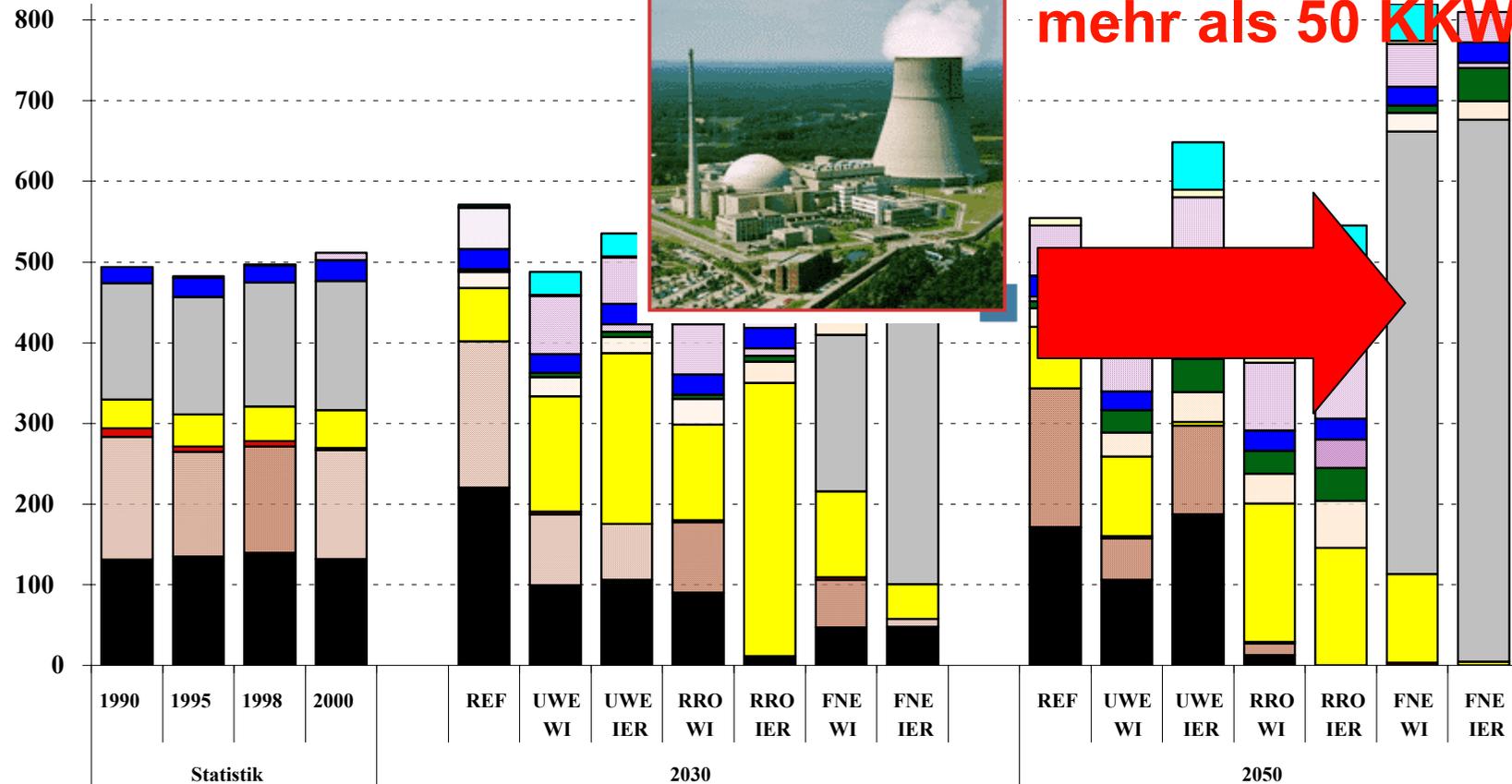
# Der Kohlepfad - Rechnung mit vielen Unbekannten

Nettostrombereitstellung insgesamt [TWh]



# Der Kernenergiepfad - vermutlich wenig Akzeptanz

Nettostrombereitstellung insgesamt [TWh]

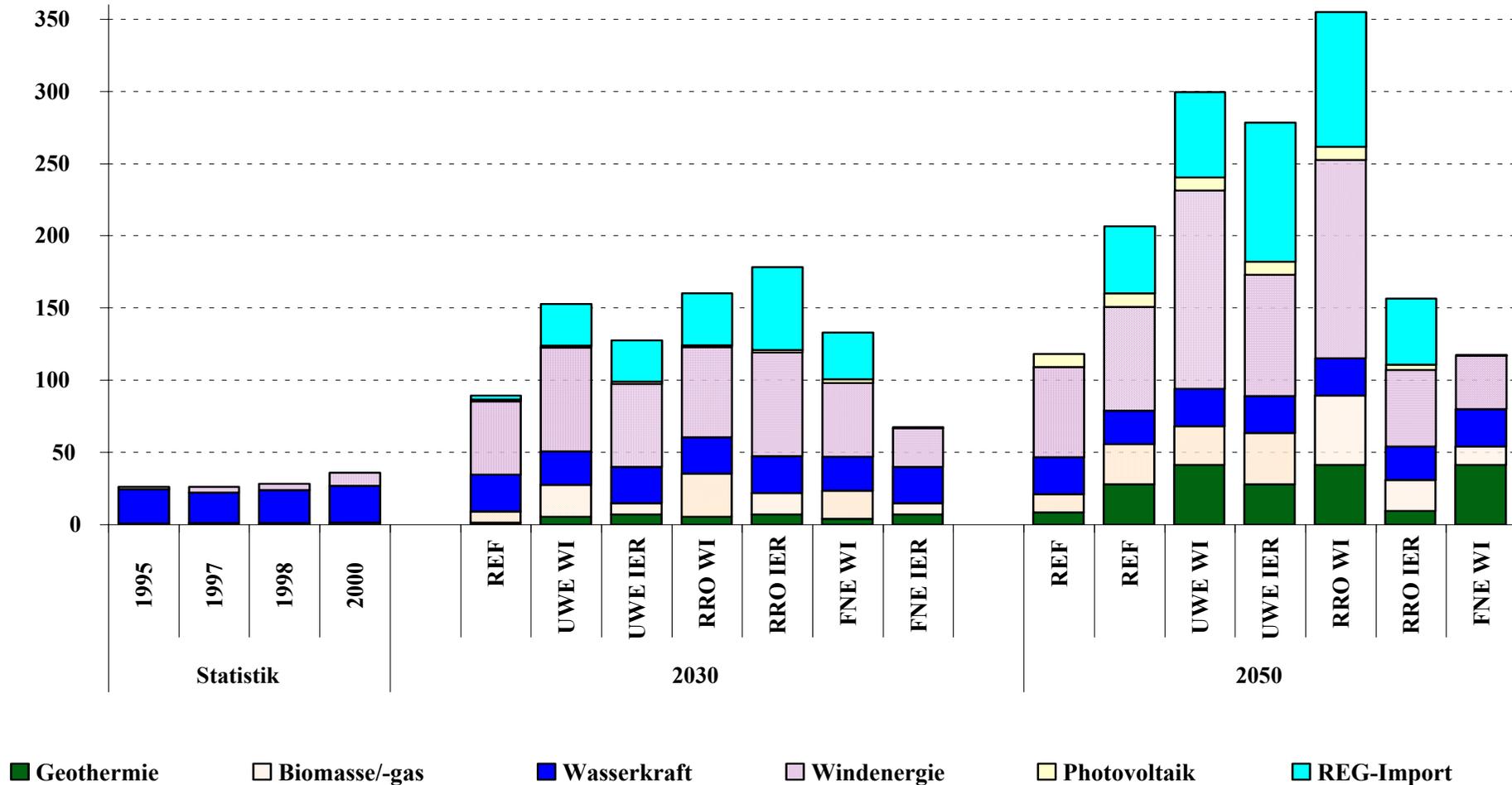


- Steinkohle
- Braunkohle
- Heizöl
- Erdgas
- Kernenergie
- Biomasse/-gas/Müll
- Geothermie
- Wasserstoff
- Wasserkraft
- Windenergie
- Photovoltaik
- REG-Import



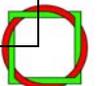
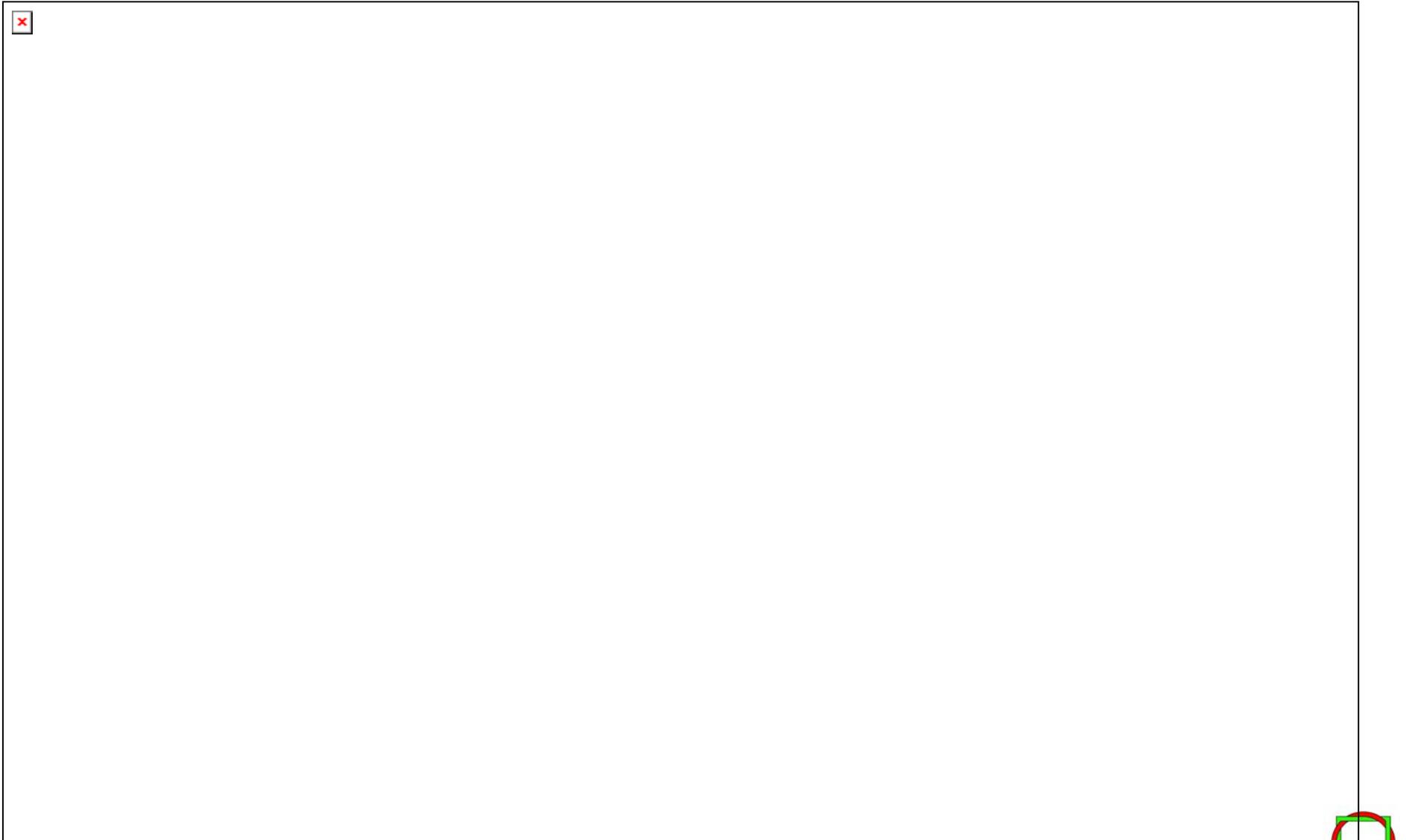
# Szenarienvergleich der Energie-Enquete-Kommission (Stromerzeugung aus REG)

Nettostrombereitstellung aus REG [TWh]



# Windenergie im Szenarioüberblick

---



## Deutschland

---

### Windenergie-Offshore Programm des BMU (Strategie der Bundesregierung zur Windenergienutzung auf See)

- 2006: 500 MW
  - 2010: 3.000 MW
  - 2025 bis 2030: 20.000 bis 25.000 MW
- ⇒ Anteil der Windenergie an der Stromerzeugung 15 % (inkl. onshore Windenergie ca. 25% in 2025)
- Umwelt- und naturverträglicher Ausbau
  - Berücksichtigung der Belange der Schifffahrt und wirtschaftlicher (z.B. Fischereiwesen) und militärischer Nutzungsformen
  - Begleitende umwelt- und naturschutzbezogene Forschung
  - Wegen hoher Unsicherheiten technisch und naturschutzbezogen, (z.B. Einfluss auf Vögel) stufenweiser Ausbau



# Verantwortbare Politik denkt vielschichtig

## Anforderungen an die Energieversorgung als Ganzes

---

- **Bedarfsgerechte Versorgung (⇒ Vermeidung Stromausfälle)**
- **Versorgungssicherheit**
- **Umwelt- und Klimaverträglichkeit**
- **Effiziente Ressourcennutzung**
- **Sozialverträglichkeit (⇒ ökonomisch tragfähig)**
- **Risikoarmut**
- **Internationale Verträglichkeit (⇒ krisenbeständig)**
- **Resistenz gegenüber terroristischen Anschlägen bzw. Sabotage (physisch, virtuell)**
- **Geringe Verletzlichkeit des Systems (Kraftwerke/Netz)**



# Steuerungsbedarf der Politik

## EE im Lichte der Anforderungen an die Energieversorgung

---

- **Bedarfsgerechte Versorgung - Netzstabilität (Fluktuationen)**

### Systemintegration:

- **Regelenergiebereitstellung**



# Regelenergiebedarf - noch viele Fragen offen

---

- **Wird erforderlich zum Abdecken des Prognosefehlers (vor allem Minutenreserve)**
  - **Wird bestimmt durch Fluktuationscharakteristik, Ausgleichseffekte innerhalb einer Klasse EE und Klassen übergreifend**
  - **Über die Höhe der notwendigen (zurechenbaren) Regelenergieleistung herrscht weit gehende Unklarheit**
  - **Verbesserungspotenzial ist noch nicht ausgeschöpft**
    - unvollkommener, begrenzter Markt
    - hohe Leistungsgrenzen für Regelenergieangebote
- ⇒ **Weiterer Untersuchungsbedarf, perspektivisch Reduktion der regionalen Ungleichgewichte**



# Steuerungsbedarf der Politik

## EE im Lichte der Anforderungen an die Energieversorgung

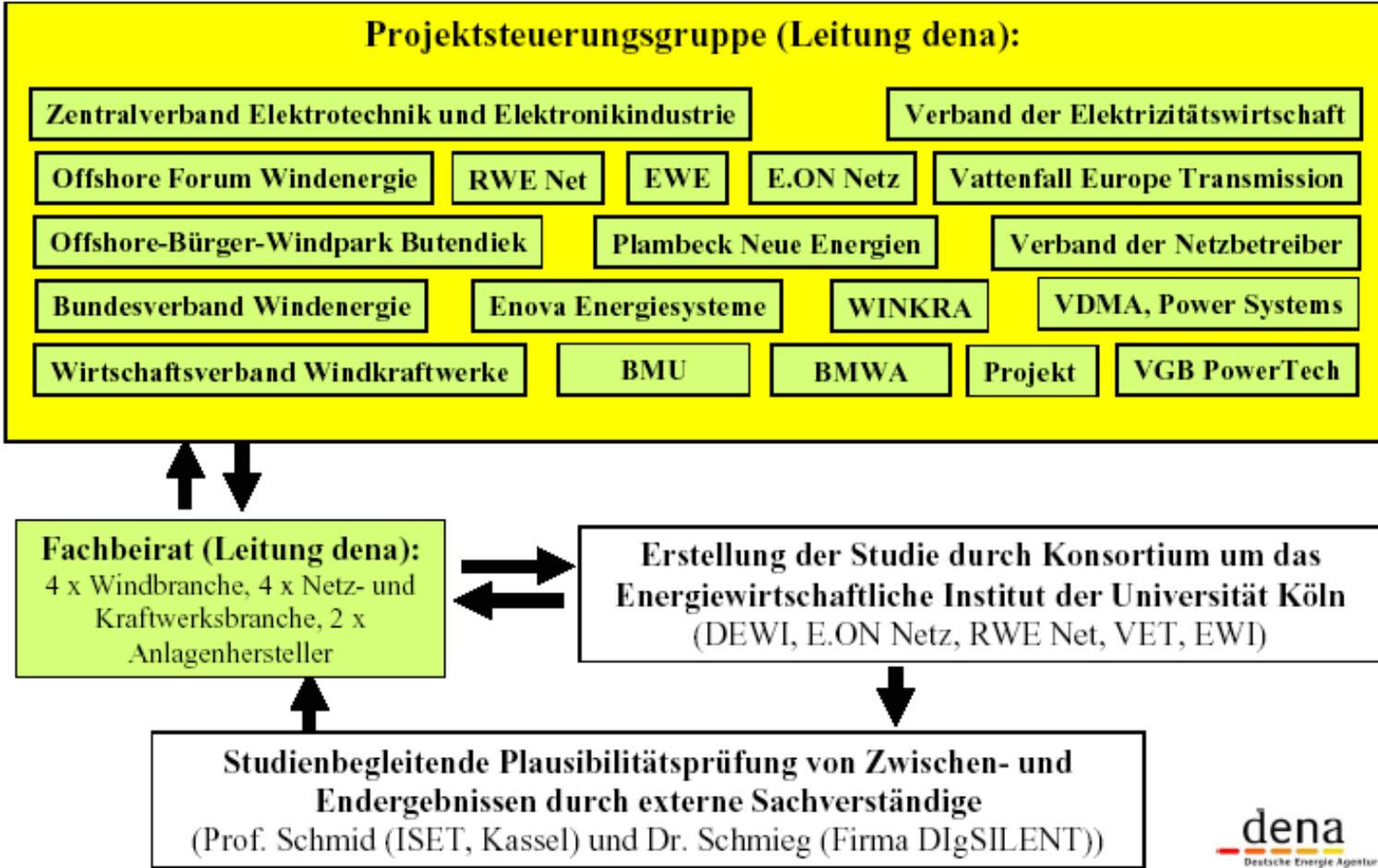
- **Bedarfsgerechte Versorgung - Netzstabilität (Fluktuationen)**

### Systemintegration:

- *Regelenergiebereitstellung - Abdeckung des Prognosefehlers*
- **Netzstrukturanalysen (überregional/regional)**



# Dena-Netzstudie (Windenergieanschluss im Offshore-Bereich)



# Steuerungsbedarf der Politik

## EE im Lichte der Anforderungen an die Energieversorgung

- **Bedarfsgerechte Versorgung - Netzstabilität (Fluktuationen)**

### Systemintegration:

- *Regelenergiebereitstellung - Abdeckung des Prognosefehlers*
- *Netzstrukturanalysen (überregional/regional)*
- **Verantwortlichkeiten für Aufrechterhaltung Systemstabilität und Anforderungen klären (Regulierungsbehörde)**

### Forschung und Entwicklung:

- **Prognosemodelle, virtuelle Kraftwerke, Stromspeicher**
- **Kopplung mit DSM-Maßnahmen**
- **Einbeziehung steuerbarer Lasten (Wasserstoff, el. Wärmepumpe)**
- **Konzeptentwicklung „veredelte EE-Stromangebote“**



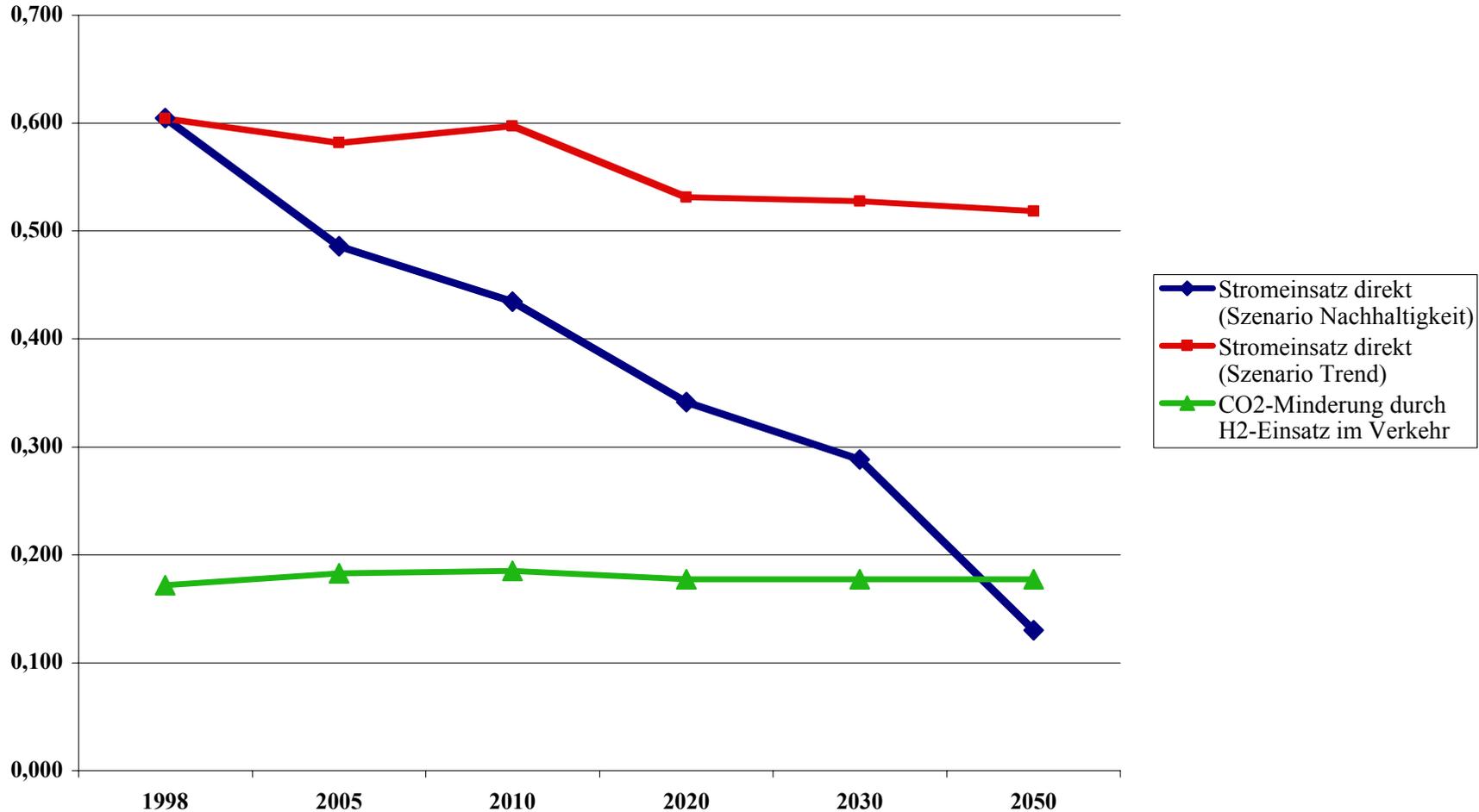
- **Versorgungssicherheit**

**Effiziente Allokation begrenzter erneuerbarer  
Primärenergieressourcen (Konkurrenzsituation beachten) -  
energiepolitische Kanalisierung der Mengenströme**

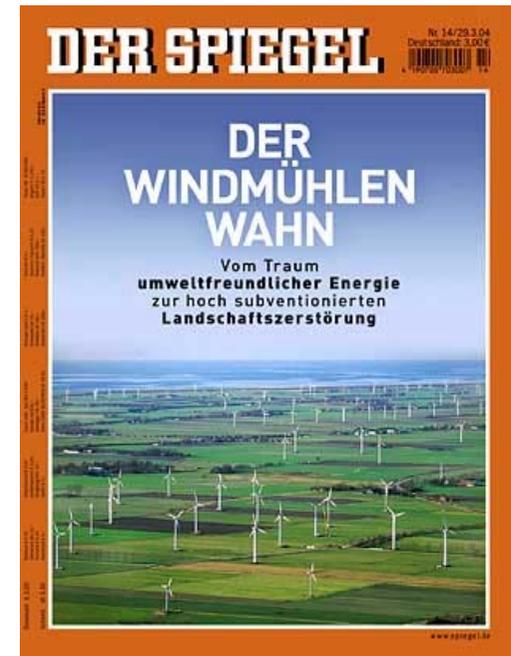


# Einsatzeffizienz - Fallbeispiel Windenergie

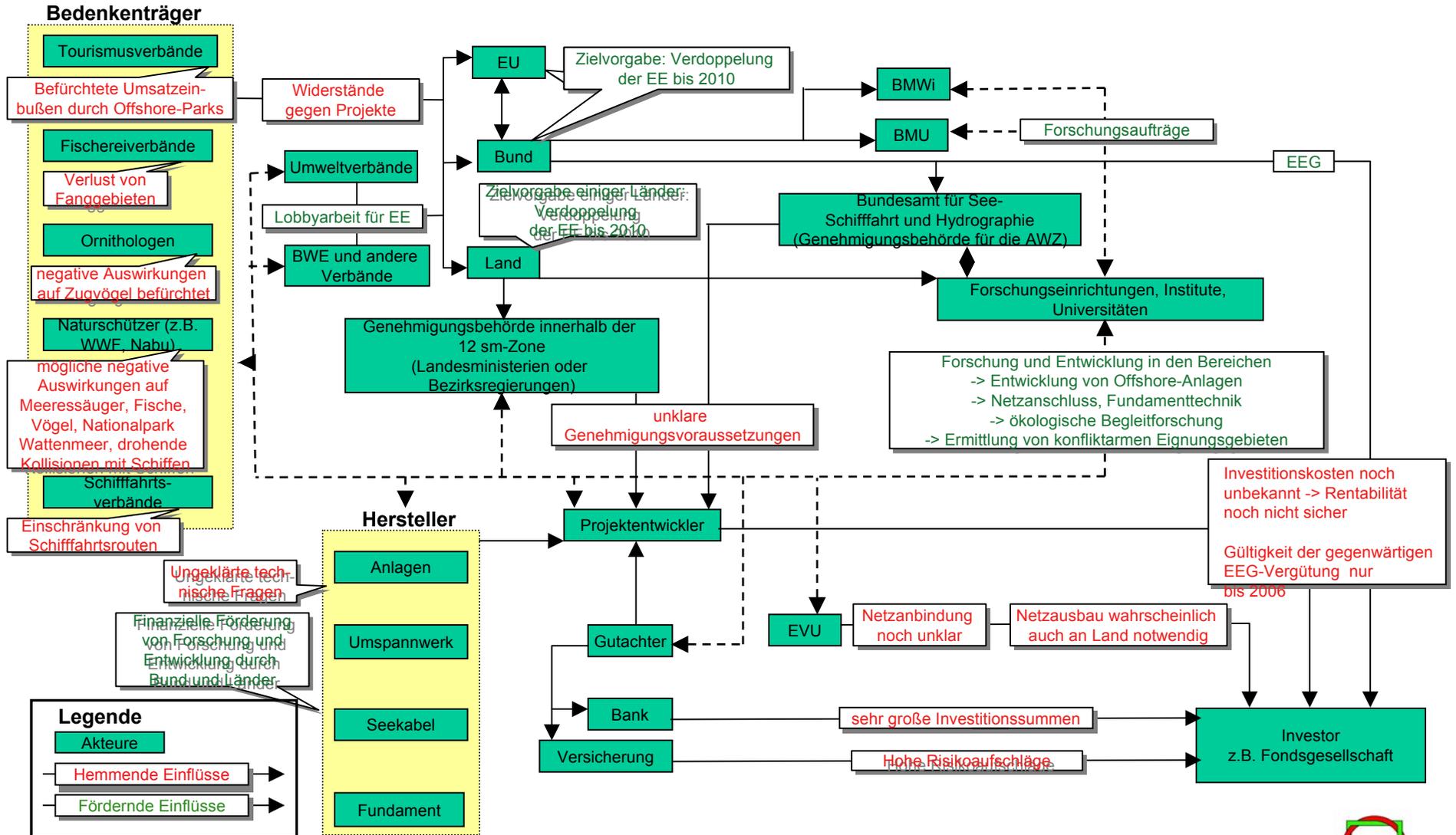
Minderung der spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen in kg/kWhREG-Einsatz



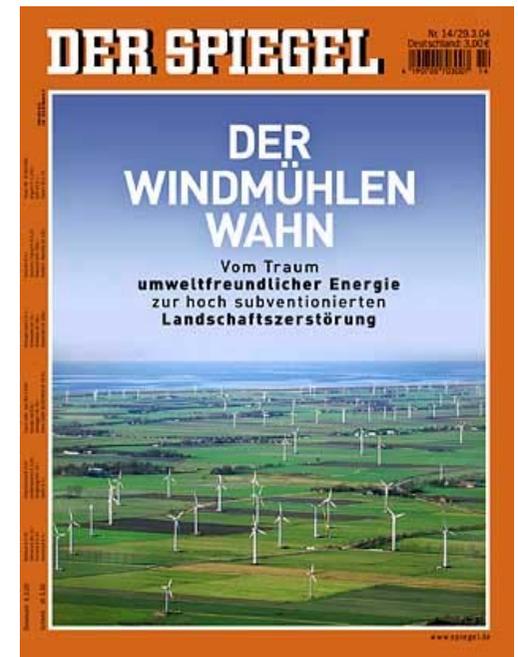
- **Umweltverträglichkeit - Flächenverbrauch, Beeinträchtigung Landschaftsbild**
  - regionale/kommunale Umsetzung - Ausweisung von Konzentrationszonen nach §35 BauGB (Bürgerbeteiligung)
  - „Behutsame“ Planung des offshore Windenergieausbaus



# Hemmnisse: Offshore Windenergie



- **Umweltverträglichkeit - Flächenverbrauch, Beeinträchtigung Landschaftsbild**
    - regionale/kommunale Umsetzung - Ausweisung von Konzentrationszonen nach §35 BauGB (Bürgerbeteiligung)
    - „Behutsame“ Planung des offshore Windenergieausbaus
    - **Anreize für die verbesserte Nutzung schon bestehender Standorte (Repowering)**
- ⇒ **Novellierte Fassung EEG nimmt wesentliche Punkte auf**



- *Risikoarmut*
- *Effiziente Ressourcennutzung und Klimaverträglichkeit*
- **Sozialverträglichkeit - ökonomische Tragfähigkeit der Energiekosten**

**Ausbau sukzessive, nicht überhastet gestalten  
(Stufenkonzept)**

**Infrastrukturelle Anpassungszyklen beachten**

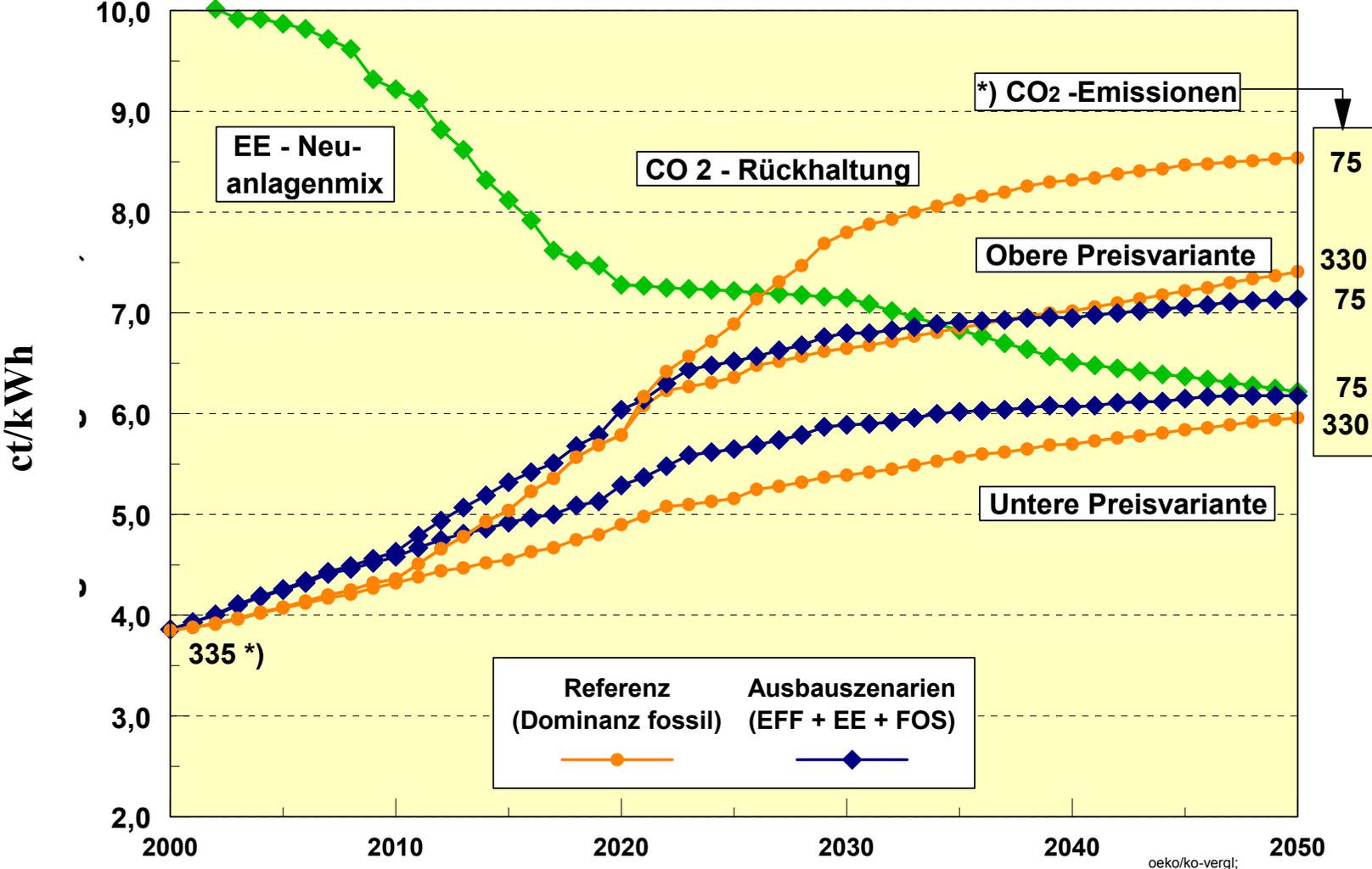
- **Betriebswirtschaftliche Verträglichkeit**

**Dynamik aufrechterhalten, Aufbau der Märkte durchhalten -  
Vorleistungen senken langfristige Preisrisiken**



# Vorleistungen heute senken Preisrisiken von Morgen

- Mittelwerte der gesamten Stromerzeugung; einschl. HS-Verteilung -



# Steuerungsbedarf der Politik

## EE im Lichte der Anforderungen an die Energieversorgung

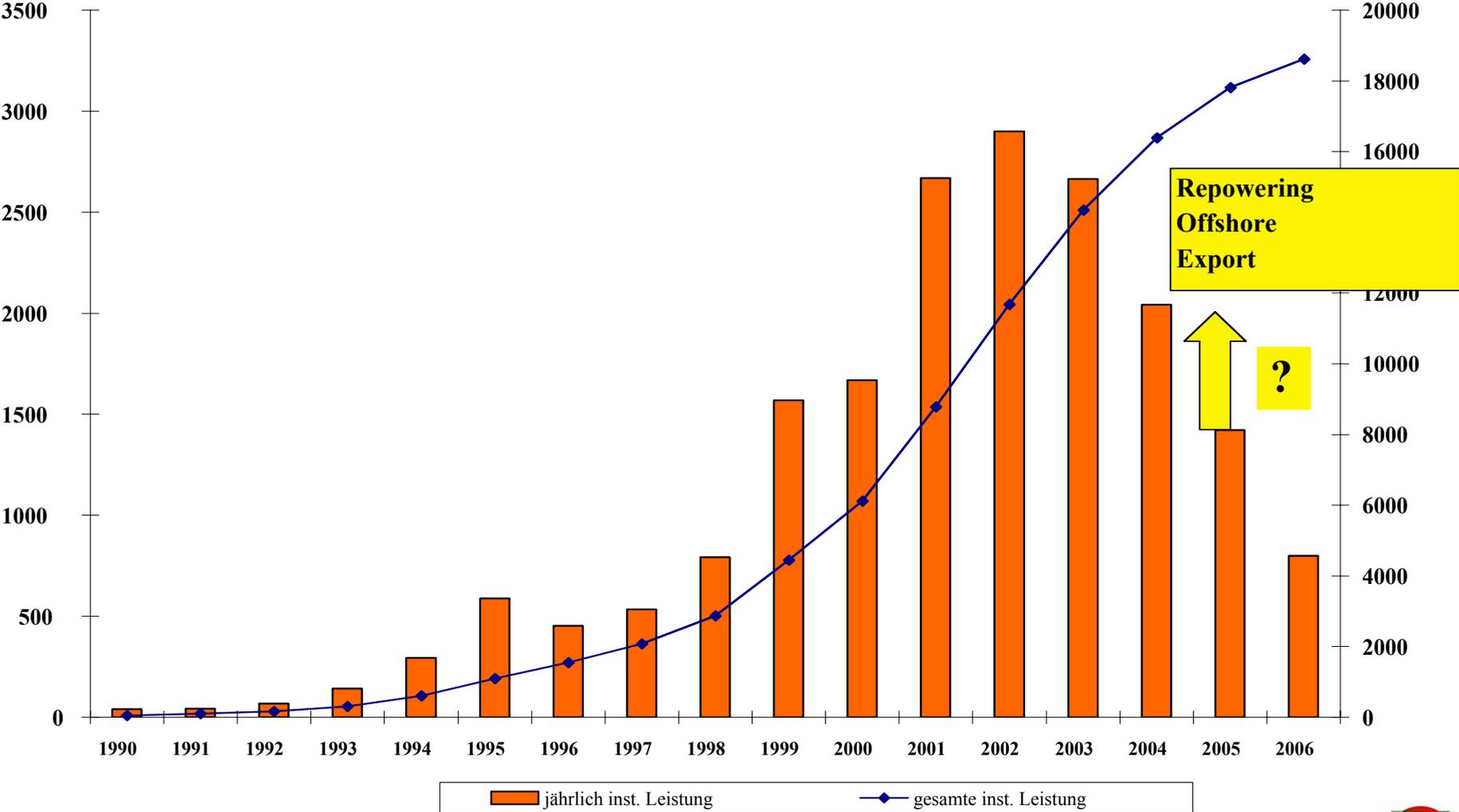
---

- **Gesicherter Beitrag zu Wertschöpfung und Arbeitsplätze**  
Hinreichende Anschubfinanzierung (sich selbst tragende Märkte, überlebensfähige Unternehmen)  
**frühzeitig Ersatz- und Komplementärmärkte stärken**



# Sicherung von Produktionsstandort und Arbeitsplätzen

## Rechtzeitig Anreize für rückläufige Märkte



## EE im Lichte der Anforderungen an die Energieversorgung

---

- *Gesicherter Beitrag zu Wertschöpfung und Arbeitsplätze*

*Hinreichende Anschubfinanzierung (sich selbst tragende Märkte, überlebensfähige Unternehmen)*

*frühzeitig Ersatz- und Komplementärmärkte stärken*

- **Geringe Verletzlichkeit des Systems**

**Geringe Anfälligkeit wegen zumeist dezentraler Struktur**

**Analyse der Veränderung des Angebotsprofils bei einsetzendem Klimawandel**

**Erfassen von Kipppunkten (Technologiedurchbruch, Akzeptanz) und strategischen Verzweigungssituation**



# Steuerungsbedarf der Politik

## EE im Lichte der Anforderungen an die Energieversorgung

---

- **Internationale Verträglichkeit**

**Erneuerbare Energien als Mittel zur Armutsbekämpfung und Friedenssicherung**

**Konsequente Fortsetzung und Vertiefung Exportinitiative**

**Follow Up Prozess der renewables2004 (bilaterale Aktionspläne)**

- **Verbesserung Technologietransfer sowie bi- und multilaterale Zusammenarbeit**
- **Finanzierungsinstrumente**
- **good practise policies verbreiten**

**Förderung der Nutzung als Beitrag zur Lösung von Konfliktfeldern (Systemlösung Wasser-/Gesundheitsversorgung)**



# Zusammenfassung

## Kurz- bis mittelfristige Maßnahmen

---

- **Kostendegressionen sukzessive ausschöpfen - Marktdynamik aufrecht erhalten**
  - ⇒ **Novellierung EEG (neue heimische Märkte erschließen)**
  - ⇒ **Exportoffensive**
- **Neue Technologien stetig weiter entwickeln**
  - ⇒ **Forschung und Entwicklung stärken (z.B. Systemkonzepte, Veredelung, Speicherung)**
- **Infrastrukturen rechtzeitig aufbauen (Akzeptanzkampagnen)**
- **Internationale Zusammenarbeit vertiefen, Exportchancen aufgreifen**
  - ⇒ **Zulieferindustrie als Standortfaktor**
  - ⇒ **Systemkompetenz in Systemangebote umsetzen**



---

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

**Dr.-Ing. Manfred Fishedick**

**Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie**  
**Postfach 10 04 80, D-42004 Wuppertal**  
**Tel. +49 202 2492 -121 (-198 Fax),**  
[manfred.fishedick@wupperinst.org](mailto:manfred.fishedick@wupperinst.org)

<http://www.wupperinst.org>



- **Versorgungssicherheit**

**Effiziente Allokation begrenzter erneuerbarer Primärenergieressourcen (Konkurrenzsituation beachten) - energiepolitische Kanalisierung der Mengenströme**

- **Mittelfristige europäische Vernetzung**

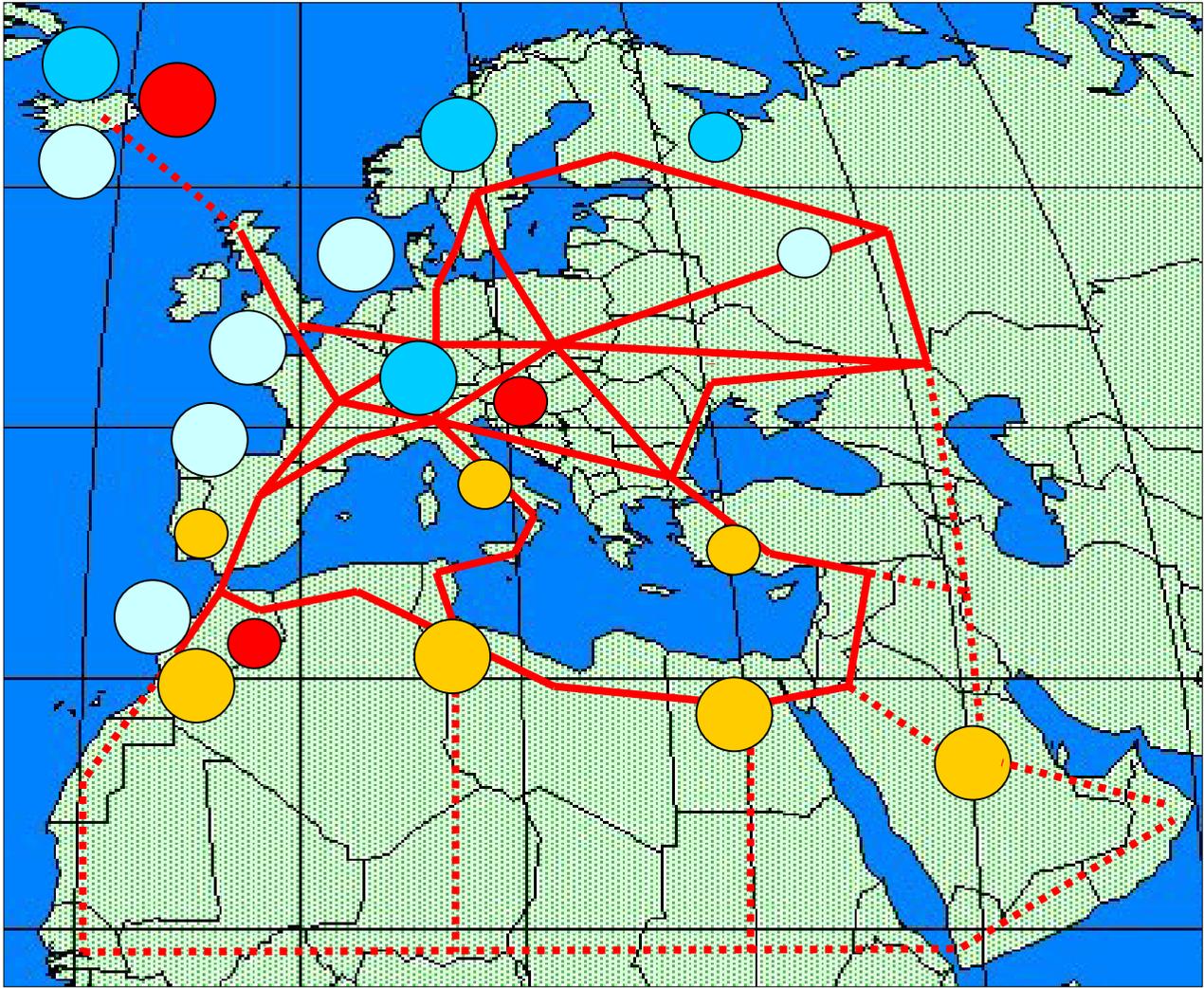
**Aufbau von REG-Importstrukturen auf der Basis z.B. solarthermischer Kraftwerke und Windkraftwerken (kooperative Markteinführungsprogramme)**

**Mithilfe bei der Konsolidierung einer effizienten und Umweltschonenden Energieversorgung in den potenziellen Exportländern - bi/multilaterale Aktionspläne (renewables2004)**

**Einbindung in regionale „Win-Win-Strategien“ (Integration Wasserversorgung)**



# Global link - Stromverbund auf HGÜ-Basis



-  Solar
-  Wind
-  Wasser
-  Geothermie
-  EURO-MED
-  mögliche weitere Verbindungen

Technische Angebots-potenzial Nordafrika

1.360.000 TWh  
(ca. 100\*Weltstrombedarf)

Quelle: DLR 2002  
Juni 2004



# Dena-Netzstudie (Windenergieanschluss im Offshore-Bereich)

---

## **Allgemeines Ziel:**

Energiewirtschaftliche Planung für die Netzintegration von Windenergie in Deutschland an Land und Offshore bis zum Jahr 2020

## **Ergebnisse: Szenarien**

Ausbauzahlen Wind on/offshore (+REG), Strommengen-Prognosen, räumliche Einspeiseverteilung jeweils bis 2007, 2010, 2020

## **Ergebnisse: Auswirkungen auf das Stromnetz**

Anpassung des Gesamtsystems, Systemauslegung der Seekabel-Übertragung, Kosten für Anlandung + Netzausbau, Abschätzung Realisierungszeiten

## **Ergebnisse: Auswirkungen auf den Kraftwerkspark**

Optimierung des KW-Erneuerungszyklusses, Anforderungen an Regel-/Reserveleistung, Zusammensetzung von KW-Park/Brennstoffverbrauch/CO<sub>2</sub>-Bilanz, Gesamtkosten der Stromerzeugung und Vorhaltung/ Bereitstellung Regel-/Reserveleistung

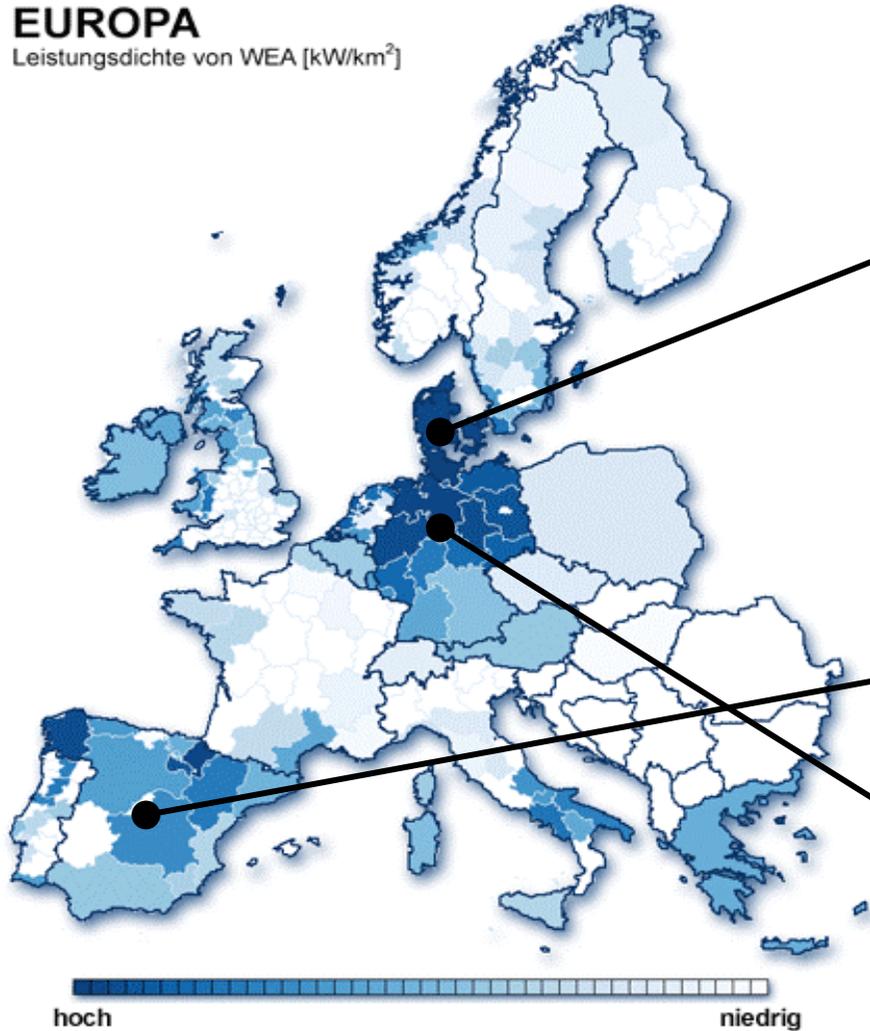


# Aktuelle Prognosemodelle für Windstromerzeugung in Europa

## verbessern Planbarkeit und reduzieren Regelenergiebedarf

### EUROPA

Leistungsdichte von WEA [kW/km<sup>2</sup>]



Modell	Entwickler	Im Einsatz
Prediktor	Risø National Laboratory Dänemark	-
WPPT	Informatics and Mathematical Modelling (IMM); University of Copenhagen, Dänemark	≈1GW, ELTRA Dänemark
Zephyr, Kombination von WPPT und Prediktor	Risø und IMM	-
Previento	Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Deutschland	-
HIRPOM	University College Cork, Irland Danish Meteorological Institute, Irland, Dänemark	in Entwicklung
SIPREÓLICO	Universität Carlos III, Madrid, Red Eléctrica de España REE, Spanien	≈ 4 GW, REE Spanien
Armines' Modell	Armines, Frankreich	Kreta, Irland
WPMS	ISET, Deutschland	≈ 13 GW, E.ON Netz, Vattenfall Europe Transmission, RWE Net, Deutschland

E.On seit Mitte 2001, RWE seit 2003, Vattenfall im Übergang  
Stand: Juni 2003; Quelle: K. Rohrig, ISET, Kassel

Bild-Quelle: <http://www.windprognose.de/SOWIE%20Abb%204.gif>



- **Kompatibilität mit bestehenden Infrastrukturen**

**Netzstrukturanalysen (überregional/regional) - Akzeptanzanalysen**

- Anbindung offshore Anlagen

- interkontinentales REG-Verbundnetz

**Anforderungen an Kraftwerke (Ersatzbedarf) - Gesamtkraftwerkskonzept**

- **Gesicherter Beitrag zu Wertschöpfung und Arbeitsplätze**

**Hinreichende Anschubfinanzierung (sich selbst tragende Märkte, überlebensfähige Unternehmen)**

**frühzeitig Ersatz- und Komplementärmärkte stärken**



- **Technologie- und Innovationspotenziale**

Forschung und Entwicklung:

- heimische EE-Technologien
- angepasste Systemlösungen DC's

- **Geringe Verletzlichkeit des Systems**

Geringe Anfälligkeit wegen zumeist dezentraler Struktur

Analyse der Veränderung des Angebotsprofils bei einsetzendem Klimawandel

Erfassen von Kipppunkten (Technologiedurchbruch, Akzeptanz) und strategischen Verzweigungssituation



# Wechselwirkungen rechtzeitig ins Visier nehmen

---

QuickTime™ and a  
TIFF (Uncompressed) decompressor  
are needed to see this picture.

