

DPG-AKE Regensburg, 7. März 2016:

Die Energiewende auf Kurs bringen!

**Kombi-Kraftwerke aus Windanlagen & Gas-KWK
als Ersatz von Atom & Braunkohle**

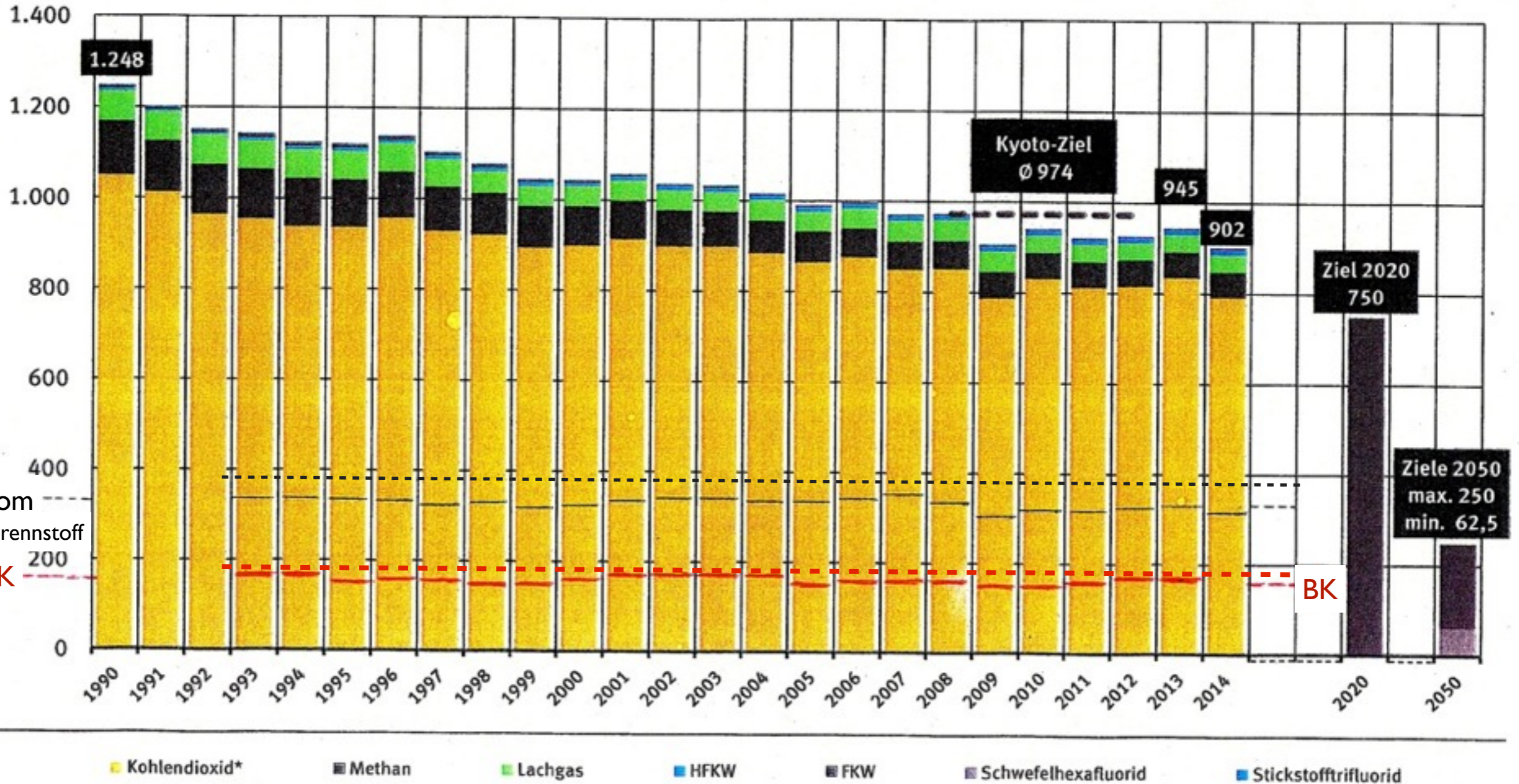
Nikolaus von der Heydt und Irmgard von der Heydt
Institut für Umweltphysik Göttingen - Physik zum Leben -

email: umweltphysik.goettingen@kdwelt.de

Die Energiewende auf Kurs bringen? Ist das nötig? Dazu eine Grafik mit eingezeichneten Tabellenwerten des UBA:
Die fast konstante Emission des Stroms knickt nur nach der Finanzkrise 2008 etwas ein!

Treibhausgas-Emissionen in Deutschland seit 1990 nach Gasen sowie Ziele für 2008-2012 (Kyoto-Protokoll), 2020 und 2050 (Bundesregierung)

Millionen Tonnen Kohlendioxid-Äquivalente



* ohne Kohlendioxid aus LULUCF

Quelle: Umweltbundesamt 2015, Nationale Treibhausgas-Inventare 1990 bis 2014 (Stand: 01/2016)

CO2-Äquivalente, Mittelwerte: - - - - - Strom gesamt - - - - - Braunkohle

Atom & Braunkohle blockieren die Energiewende

- **Strombedingte CO₂-Em. seit 1993 kaum gesunken.** Sie machen etwa die Hälfte der gesamten deutschen CO₂-Emissionen aus. Davon wieder die Hälfte kommt aus **Braunkohle - unverändert seit 1993.**
- Allem Ausbau der Erneuerbaren zum Trotz: **Strom wird zum größten Klimasünder**, noch vor Wärme und Verkehr. (UBA 2016)
- **Atom & Braunkohle** sind die **gefährlichsten** und **umweltschädlichsten** Stromquellen.

Warum konnten die Erneuerbaren nicht Atom & Braunkohle ersetzen?

A & B liefern Konstant-Leistung: die lag z. B. 2012 nur 4% unter ihrer gesicherten Nennleistung. Es gibt keine ausreichende Koordination zwischen der schwankenden Windstrom-Einspeisung und anderen Kraftwerken, um gesicherte Leistung bereit zu stellen.

Gaskraftwerke mit KWK z. B., die das leisten könnten, werden nicht stromgeführt, sondern nach Wärmebedarf gefahren.

Atom & Braunkohle ersetzen:

	Gesicherte Leistung (GW)	Arbeit (TWh/a)
Atom:	11 Überkapazität, nach EnergieWirtschaftsGesetz Versorgungssicherheit auch ohne Atomleistung, kann sofort ersatzlos abgeschaltet werden!	92
Braunkohle:	19 Muss ersetzt werden! Ziel: 10 Jahre	155
Einsparung:	-11	- 50 Exportüberschuss - 17 Verbrauchsminderung
Zu ersetzen:	19	180 (mit konstanter Leistung 20,5 GW)

Atom & Braunkohle ersetzen durch bewährte Technik auf neuestem Stand:
**Kombi-Kraftwerke aus Windanlagen und stromgeführten
Gas-Kraftwerken mit Kraft-Wärme-Kopplung**

- Koordinierter Regional-Verbund aus Windanlagen und **stromgeführten** Gas-KWK-Anlagen bietet gesicherte Leistung:
Strombedarf – Windleistung = Residualleistung aus Gas-KWK.
- Windregion: Angepasst an Bedarf eines Verbrauchszentrums.
- KWK: In Städten mit Wärmenetz GuD-KWK – etwa 20 à 600 MW_{el} wie in Düsseldorf – *und dazu* dezentral Objektversorgung mit BHKW (weniger Wärmeverluste) – etwa 8 GW_{el}. Zusammen stehen so etwa **20 GW_{el}** bereit als gesicherte Residualleistung.
- Wärmespeicher erlauben zeitversetzte Abgabe der KWK-Wärme bei stromgeführter Fahrweise; Saisonspeicher nicht erforderlich, weil in diesem Vorhaben die KWK-Wärme < ganzjähriger Wärmebedarf.
- Deutschlandweite Anordnung von regional angepassten Kombi-Kraft-Werken minimiert Netzausbau und bietet zusätzliche Sicherheit durch Austausch untereinander.
- Lastmanagement und Integration von Wasserkraft verringern Gasverbrauch.

Windanlagen - Auslegung

	<p>BMU-Studie „Kombikraftwerk 2“ (2011-2013) „Weiche“ Anlagen-Generation (2016) (J. P. Molly, DEWI-Magazin 40, 2012) Mehr Vollast-Stunden, gleichmäßigerer Strom, geringere Netzbelastung</p>
Land	<p>schwach</p> <p>5 MW, 150 m Ø, 155 - 175 m NH 5 MW, 166 m Ø, 160 - 180 m NH</p> <p>2.600 Vollast-Stunden 3.200 Vollast-Stunden</p> <p>stark</p> <p>5 MW, 130 m Ø, 120 - 155 m NH 5 MW, 160 m Ø, 135 - 170 m NH</p>
See	<p>10 MW, 160 m Ø, 110 m NH 8 MW, 170 m Ø, 115 m NH</p> <p>3.900 Vollast-Stunden 4.500 Vollast-Stunden</p>

Windanlagen - Verteilung

Die Windenergieanlagen der Kombi-Kraftwerke sollen zusammen **180 TWh/a** Strom liefern.

Vom heutigen Bestand 40 GW werden innerhalb 10 Jahren durch **Repowering** 22.000 WEA (Bj. bis 2011) mit 29 GW ersetzt (auf 100 km² Stell- und Wege-Flächen, Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2012):

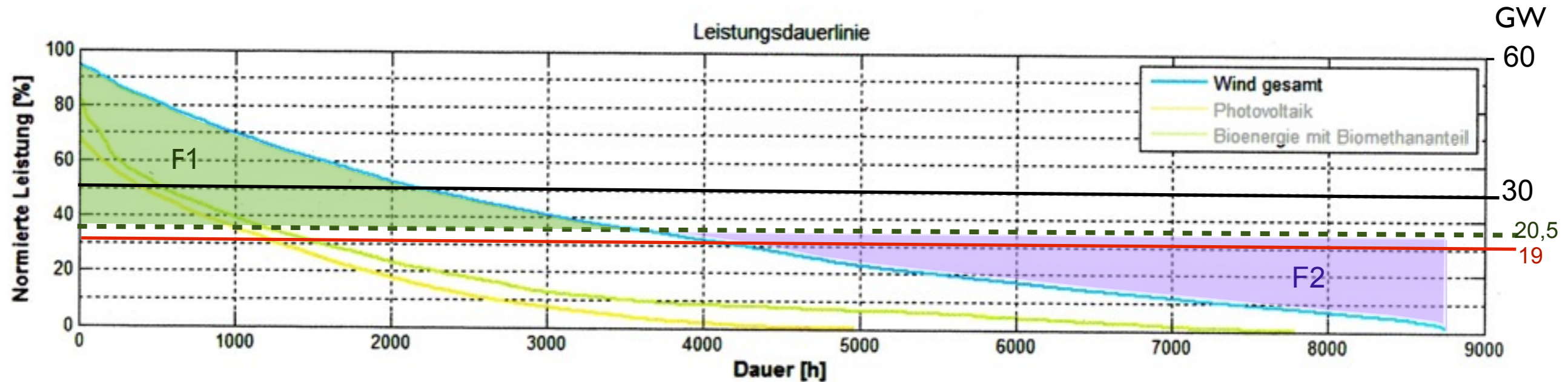
- **Beispiel 1.** Verteilung großer WEA über Deutschland wie in BMU-Studie “Kombikraftwerk 2“, skaliert auf **60 GW** Nennleistung:
 - An Land 8.200 WEA à 5 MW, 29 GW alt \Rightarrow 41 GW neu, 11 GW bleiben, Stell- und Wege-Flächen ca. 60 km²,
 - auf See 1.900 WEA à 10 MW .
- **Beispiel 2.** Verteilung wie oben, aber nur **50 GW** Nennleistung mit größeren spezifischen Rotorflächen:
 - An Land 7.200 WEA à 5 MW, 29 GW alt \Rightarrow 36 GW neu, 11 GW bleiben, Stell- und Wege-Flächen ca. 50 km²,
 - auf See 1.750 WEA à 8 MW .

Neue Windgebiete im Süden verbessern Schwankungsausgleich und Bedarfs-Anpassung.

Beispiel 1: 60 GW Windleistung + 20 GW Gas-Leistung bieten 19 GW gesicherte Leistung und liefern 180 TWh/a Strom (20,5 GW Konstant-Leistung) bei 29% Gasanteil

Kombikraftwerk 2

Leistungsdauerlinie aus: K. Knorr et al. (2014) Kombikraftwerk 2 - Abschlussbericht. BMU-Projekt, Fraunhofer IWES, 8/2014



F1 = Wind-Überschuss = 53 TWh
ersetzt Arbeit abgebauter WEA

Gas-KWK = 53 TWh = F2

Fläche unter Kurve = Fläche unter Mittelwert-Linie = 180 TWh

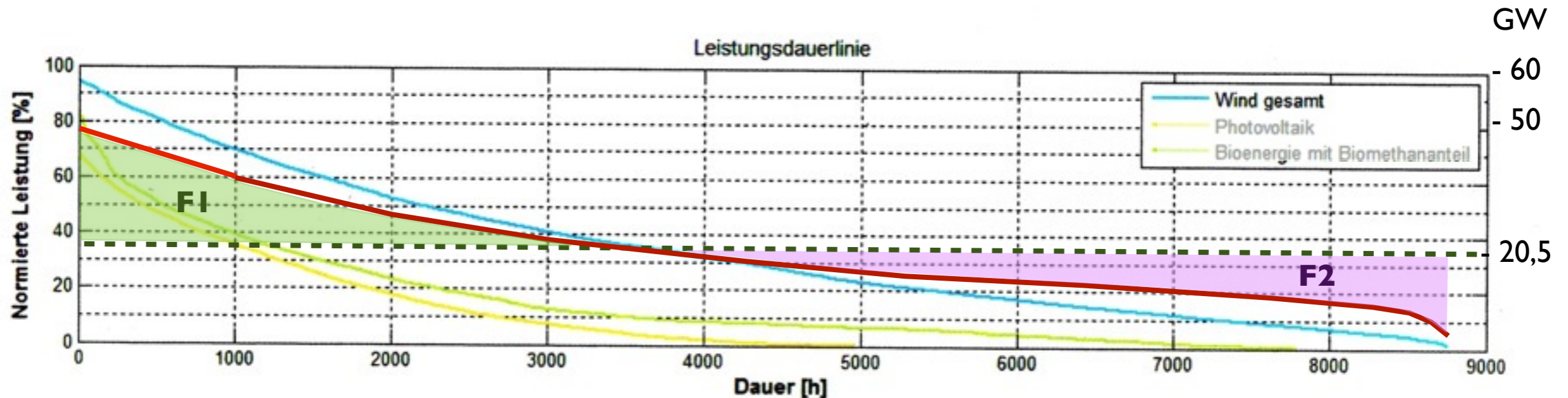
Beitrag zur gesicherten Leistung

- **Mindestbeitrag = 19 GW**
- **Atom & Braunkohle heute = 30 GW**

Beispiel 2: 50 GW Windleistung + 20 GW Gas-Leistung bieten 19 GW gesicherte Leistung und liefern 180 TWh/a Strom (20,5 GW Konstant-Leistung) bei **20 % Gasanteil**

Kombikraftwerk 2 mit 330 W/m²

„Weiche“ Windanlagen mit 250 W/m²



$$F1 = F2 = 36 \text{ TWh} = 0,2 \times 180 \text{ TWh}$$

Klimagas - Einsparung

1. **Beispiel 1:** 29% (= 53 TWh/a) Erdgas-KWK-Strom mit 280 g CO₂-Äq/kWh plus 71% (= 127 TWh/a) Windstrom mit 10 g CO₂-Äq/kWh aus der Herstellung der WEA ergeben Strom aus Kombi-KW mit **88 g CO₂-Äq/kWh** (weniger als PV-Strom).
2. **Beispiel 2:** Mit 20% (= 36 TWh/a) Erdgas-KWK-Strom: **64 g CO₂-Äq/kWh**.
3. - Mit 32 TWh/a aus Biogas (wie 2015) + 4 TWh/a aus Erdgas: **18 g CO₂-Äq/kWh**.

CO₂-Äq-Emissionen der Braunkohle: 185 Mt/a CO₂-Äquivalente werden **vermieden**,

- CO₂-Äq-Emissionen der Kombi-KW:
1. 16 Mt/a CO₂-Äquivalente (Beispiel 1)
 2. 12 Mt/a CO₂-Äquivalente (Beispiel 2)
 3. 3 Mt/a CO₂-Äquivalente (Beispiel 2 mit Biogas)

*** Einsparung: 169 bis 182 Mt/a CO₂-Äquivalente** oder
19 bis 20 % der deutschen Klimagas-Emission von 902 Mt CO₂-Äquivalente in 2015

Zusammenfassung

- **Atomkraftwerke können sofort abgeschaltet werden, Versorgungssicherheit bleibt ausreichend.**
- **Kombi-Kraftwerke aus Windanlagen und stromgeführten Gas-KWK-Anlagen, regional angepasst an Verbrauchszentren, ersetzen Braunkohle bis spätestens 2025.**
- **Klimagas-Einsparung: 170 bis 180 Mt/a CO₂-Äquivalente.**
- **Dadurch sinkt die deutsche Emission von heute 900 auf 730 Mt/a CO₂-Äquivalente, noch unter das Ziel der Bundesregierung von 750 Mt/a für 2020.**