



Monitoring zur Wirkung des novellierten Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) auf die Entwicklung der Stromerzeugung, insbesondere der Photovoltaik-Freiflächen

im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit





3. Workshop

„PV-Freiflächenanlagen: Monitoring-Ergebnisse“

Ergebnisse Technik, Kosten, Standortwahl

BMU Berlin
10.7.2007



■ Verankerung

- ◇ Rammpfähle/ Erdanker, wo möglich
 - ☞ zunehmend auch nachgeführte Anlagen
- ◇ schwimmende/ versenkte Fundamente
 - ☞ Boden nicht rammtauglich
 - ☞ Grundwasserschutz, Schutz Deponieabdichtung
 - ☞ 2A-Nachführung

■ Unterkonstruktion

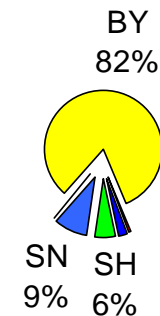
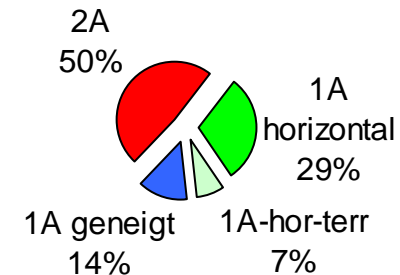
- ◆ überwiegend Metall (ca. 85 % von Gesamt-Leistung)
- ◆ Holzelemente und Holz: ca. 15%
 - ☞ nur Holz: 10 %

- Optimierung Verankerung/ Unterkonstruktion =
Optimierung Baulogistik/ Montage
 - wichtiges Kostensenkungspotential
 - erst möglich durch große Stückzahlen/ große Flächen
 - professionelle Beteiligung Metallbau-Industrie
 - ☞ Weitspannprofile, Entwässerungstechnik, Kabelführung
 - professionelle lasergestützte Vermessung für Modultische
 - Logistik Bau professionalisiert

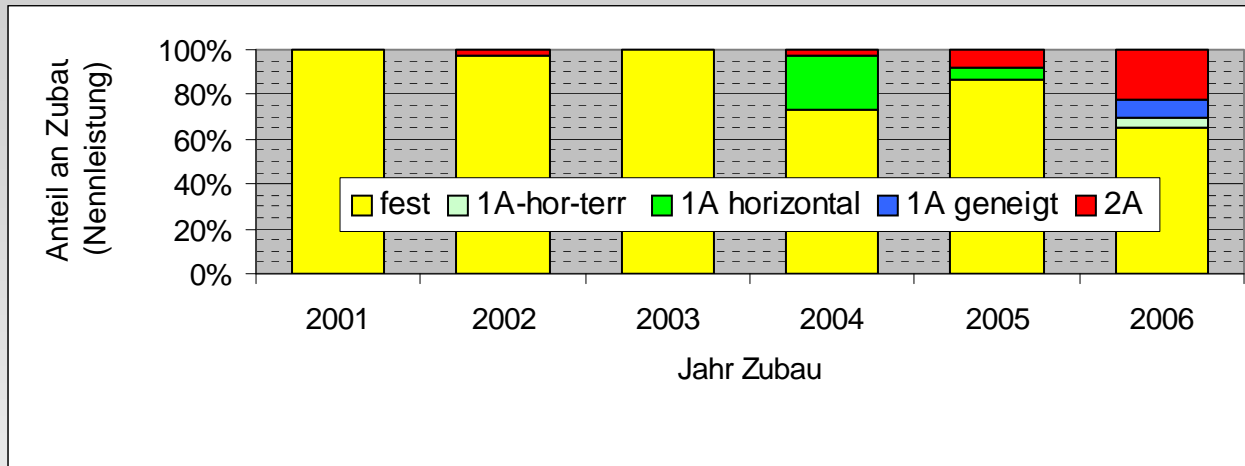
- **Module**
 - ◇ Steigerung Wirkungsgrad CdTe (2004: 55 Wp, 2007: 67 Wp)
 - ◇ Systemspannung → 1000 V = Vereinfachung Verschaltung
- **Wechselrichter**
 - ◇ Optimierung Umwandlungswirkungsgrade
 - ◇ Direktankopplung Mittelspannung
 - ◇ Anpassung Wechselrichter / Dünnschichtmodule
- **Modulverschaltung**
 - ◇ Optimierung Materialeinsatz
 - ◇ Anpassung Sicherungs-Aufbau

- Anteil nachgeführte Anlagen in Zubau 2006 bei 35 %
- VARIANTEN
- zweiachsig
- einachsig
 - ◆ Drehachse horizontal
 - ◆ Drehachse „horizontal“ geländegebunden
 - ◆ Drehachse geneigt

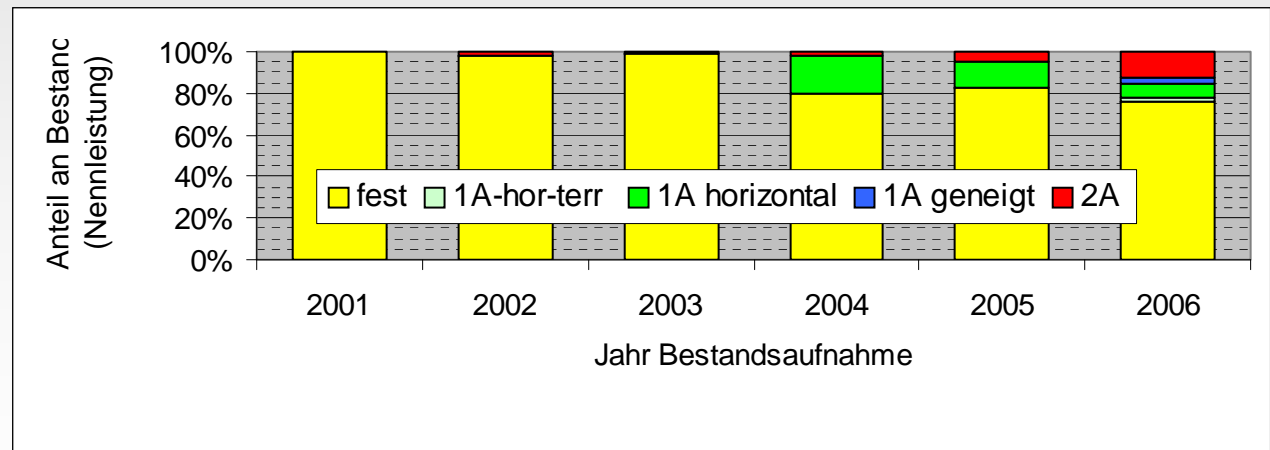
Bestand 2006



Nachführung Anteile

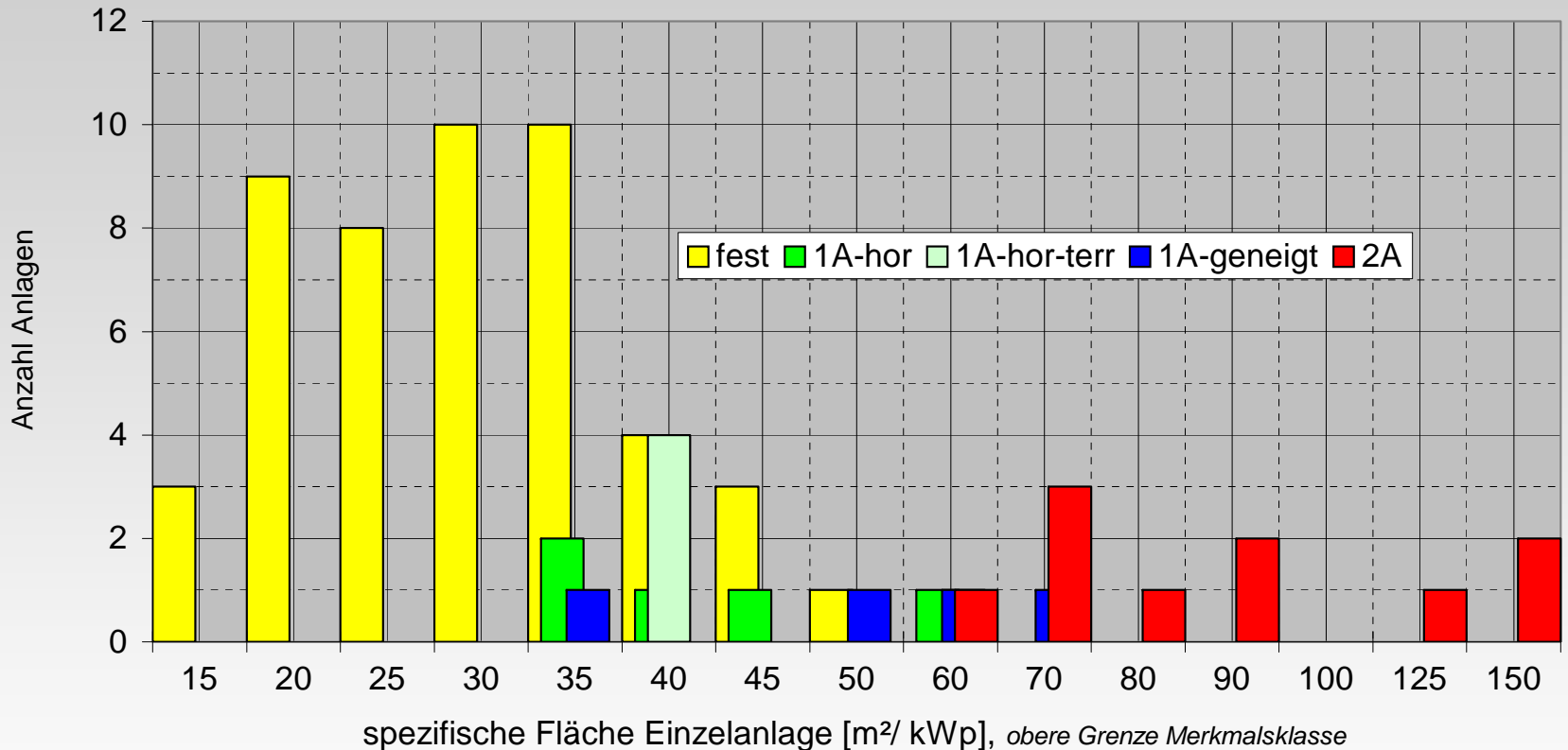


Zubau 2006:
nachgeführt 35 %



Bestand 2006:
nachgeführt 25 %

Nachführung spezifische Flächen



Mittelwerte spez. Flächen [m²/ kWp]:

fest: 29.5

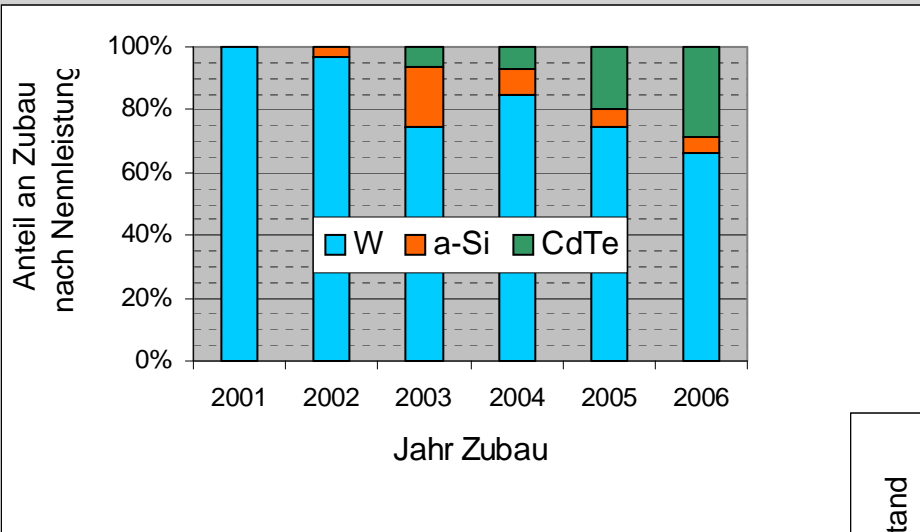
2A: 75.4

1A_hor: 38.3

1A_geneigt: 57.1

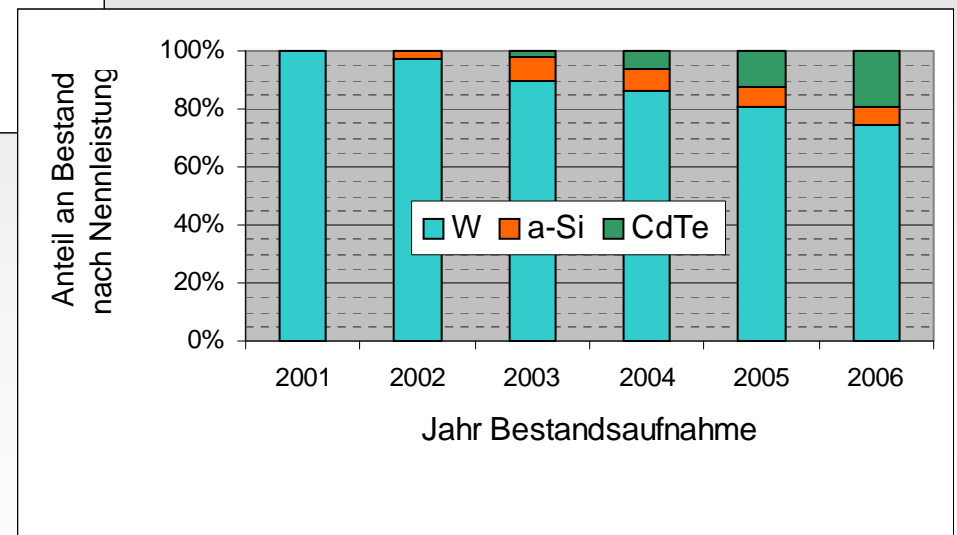
- Silizium kristallin („Wafer“, W),
 - ◇ seit 2004 rückläufige Anteile an gesamt
 - ◇ durchschnittliche Verteilung auf Standorttyp „Acker“
- amorphes Silizium (a-Si) Typ KANEKA
 - ◇ nahezu konstanter jährlicher Zubau seit 2004
 - ◇ nur in BY, nur auf Standorttyp „Acker“
- Cadmium-Tellurid (CdTe) Typ First Solar
 - ◇ Verdoppelung Zubau 2005 → 2006
 - ◇ Standorttyp „Acker“ stärker belegt
 - ◇ Standorttyp „Deponie“: CdTe = 43 %, W = 57 %

Zelltyp Modul Anteile



Zubau 2006:

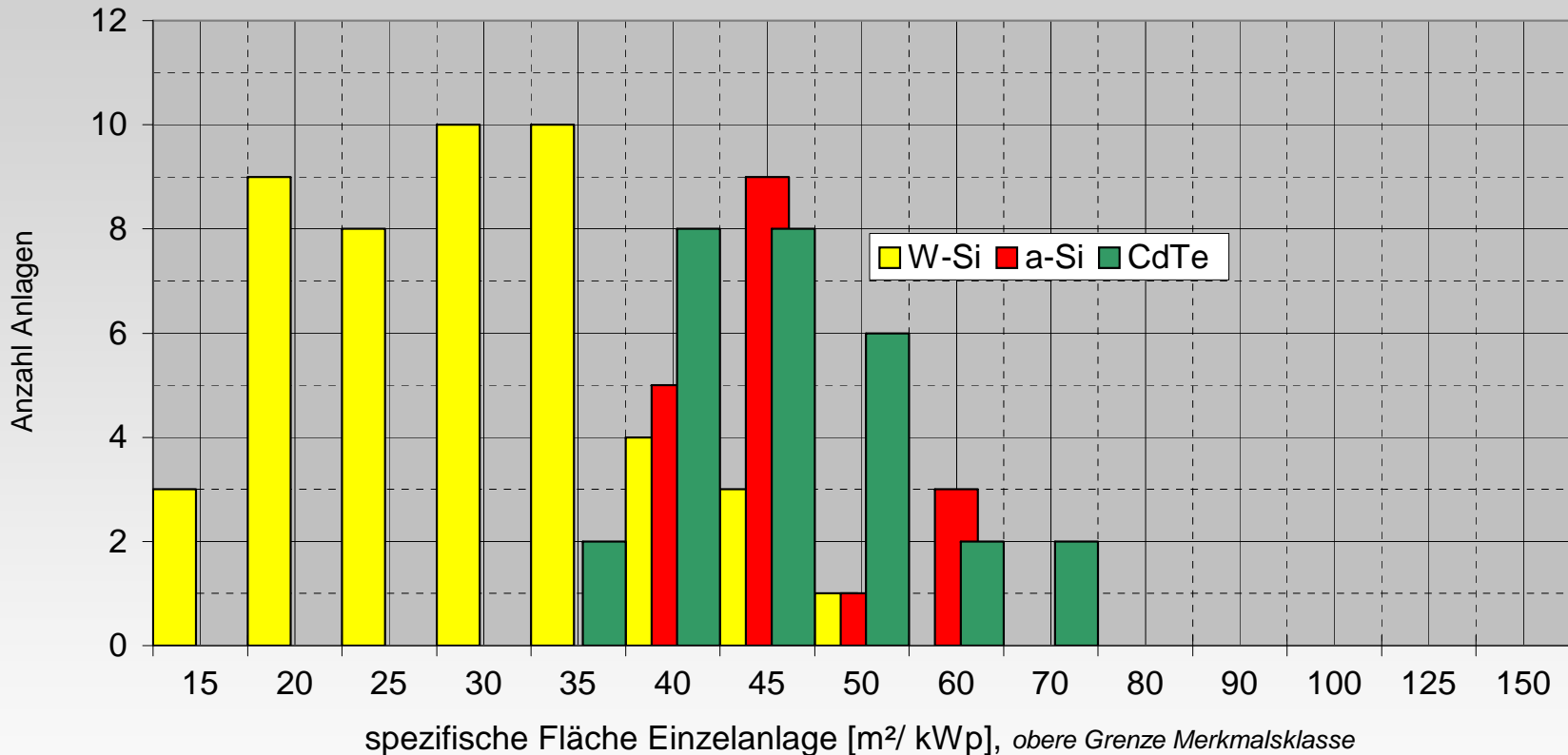
W = 66.5 %, CdTe = 29 %, a-Si = 4.5 %



Bestand 2006:

W = 75 %, CdTe = 19 %, a-Si = 6 %

Zelltyp Modul spezifische Flächen



Mittelwerte spez. Flächen [m² / kWp]:

W-Si: 29.5

a-Si: 45.0

CdTe: 46.9 in 2003/ 2004 → 40.1 in 2005/ 2006

Folie 11

mittlere Kosten leistungsbezogen 1

- 95 Standorte, 145 MWp von 186 MWp

spezif. Kosten Nennleistung [€/pro Wp]	2001	2002	2003	2004	2005	2006
a-Si		4.00		4.19	3.93	3.87
CdTe			4.09	3.94	4.18	3.72
CdTe 1A hor-terr						
Si Wafer Reihenaufstellung	5.57	4.80	4.56	4.28	4.39	4.15
Si Wafer 1A horizontal				4.90	4.75	
Si Wafer 1A geneigt						4.61
Si Wafer 2A		7.72		6.60	5.72	5.90
unbekannt						
gesamt	5.57	4.82	4.52	4.44	4.47	4.54
Anzahl gesamt	3	5	6	28	32	21

mittlere Kosten leistungsbezogen 2

- Kosten Si-kristallin („W“) in 2006 reduziert
- Kostenabstand Si-kristallin zu „Dünnschicht“, ibs. CdTe in 2006 erneut vergrößert, trotz verringerter Kosten Si-kristallin

spezif. Kosten Nennleistung [€ pro Wp]	2001	2002	2003	2004	2005	2006
"Dünnschicht"		4	4.09	4.04	4.09	3.75
W Reihe feststehend		4.80	4.56	4.28	4.39	4.15
Kostenabweichung von W		-16.7%	-10.3%	-5.4%	-6.7%	-9.5%

mittlere Kosten ertragsbezogen

- 81 Standorte, 138 MWp von 186 MWp

spezif. Projektinvestition für Jahresertrag [€/pro (MWh/a)]	2001	2002	2003	2004	2005	2006
	a-Si		4.71		4.45	4.37
CdTe					4.59	3.74
Si Wafer Reihenaufstellung	6.01	5.01	4.61	4.517	4.539	4.20
Si Wafer 1A-hor				4.53	4.22	
Si Wafer 1A-geneigt						3.97
Si Wafer 2A		6.65		4.90	4.68	4.61
gesamt	6.01	5.02	4.61	4.48	4.52	4.24

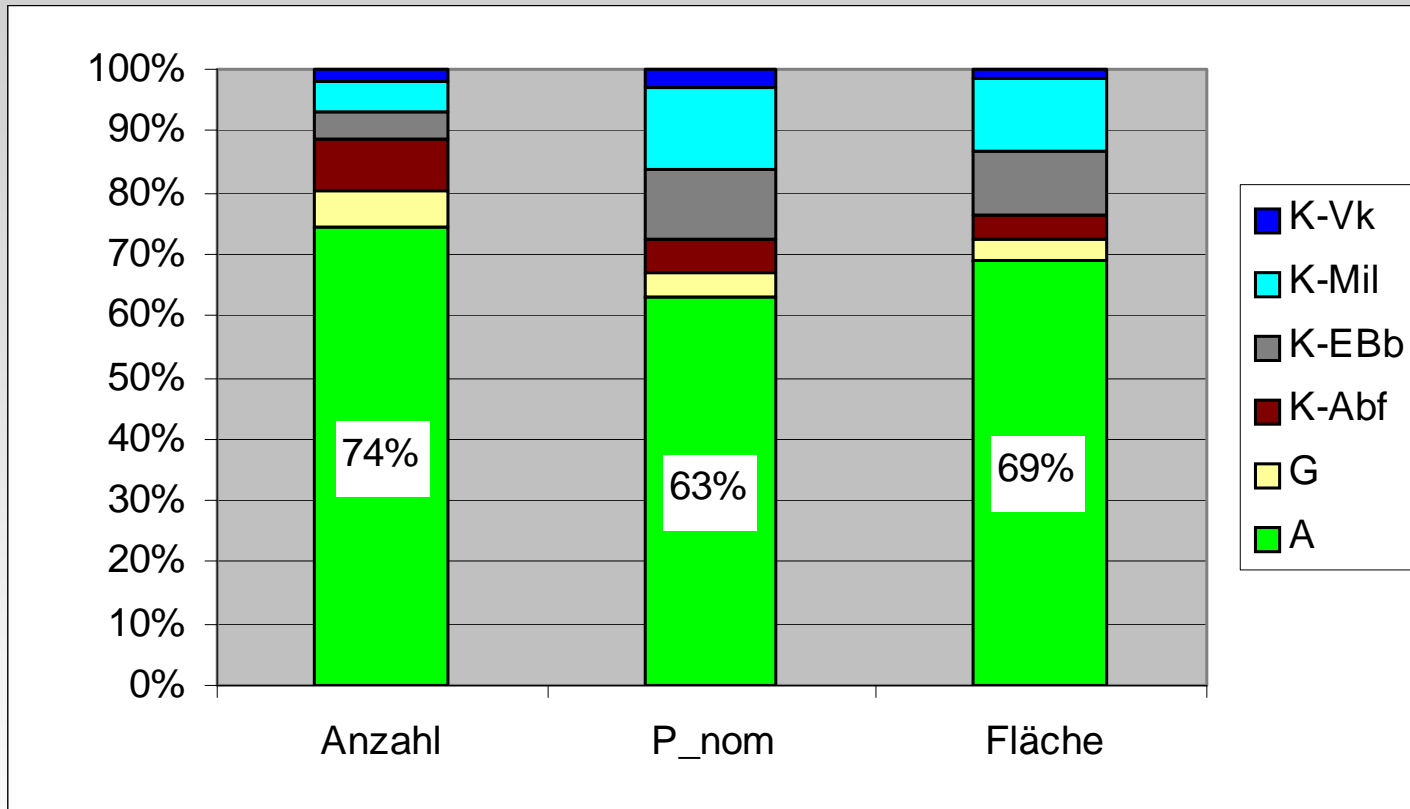
- Kosten-Vergütungs-Relation (KVR) als Maß für die ertragsbezogenen spezifischen Kosten
- $KVR = \text{ertragsbezogene spez. Kosten} / \text{jährliche EEG-Vergütung pro kWh}$
- Zielwert $KVR < 10$

KVR Mittelwert	2001	2002	2003	2004	2005	2006
a-Si		9.78		9.42	10.30	10.37
CdTe					10.54	9.21
Si Wafer Reihenaufstellung	12.72	10.56	10.05	9.91	10.49	11.08
Si Wafer 1A-hor				9.81	9.73	
Si Wafer 1A-geneigt						10.25
Si Wafer 2A		13.83		10.70	10.33	10.83
gesamt	12.72	11.06	10.05	9.76	10.40	10.27
Anzahl	3	5	4	22	28	19

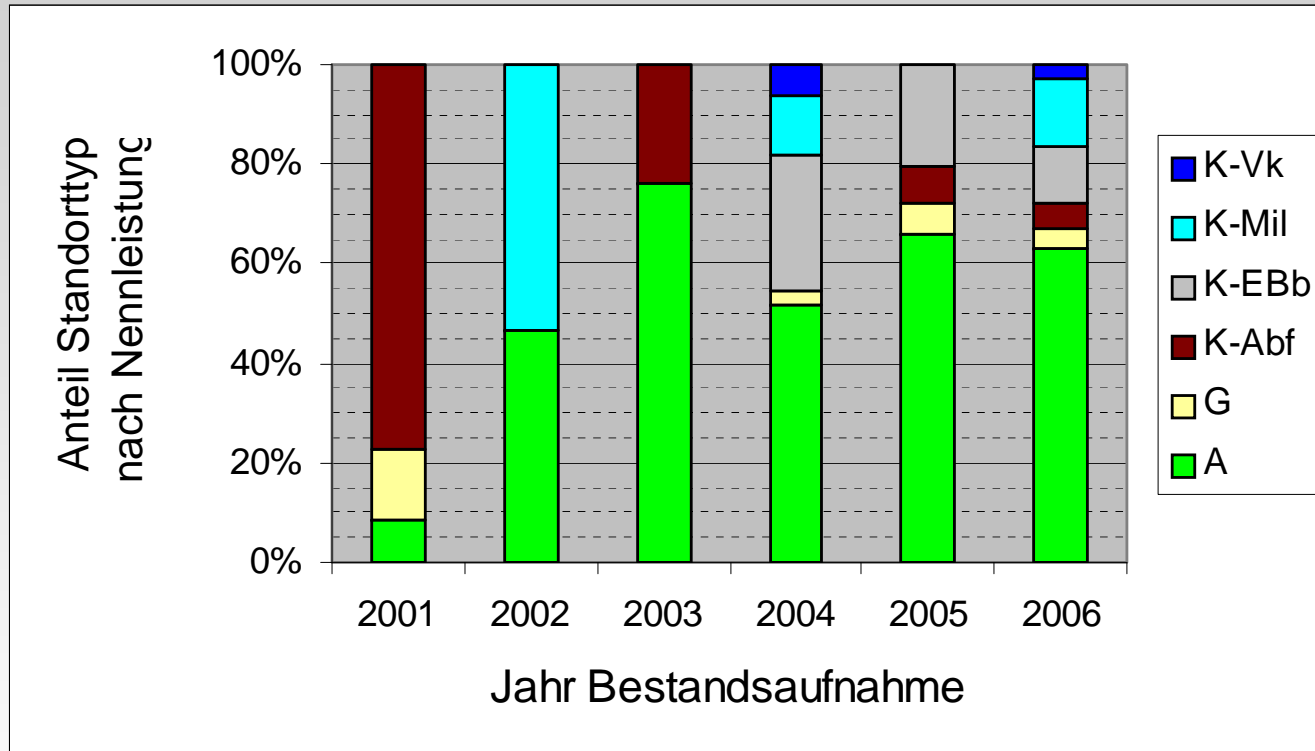
- Welche „Konversionsflächen“ werden genutzt ?
 - ◇ G: Industriebrache
 - ◇ K-Abf: Nachnutzung Anlagen der Abfallwirtschaft
 - ◇ K-Ebb: Nachnutzung Energiewirtschaft/ Bergbau/ Tagebau
 - ◇ K-Mil: Nachnutzung militärische Anlagen
 - ◇ K-Vk: (Nach-)Nutzung von Verkehrseinrichtungen

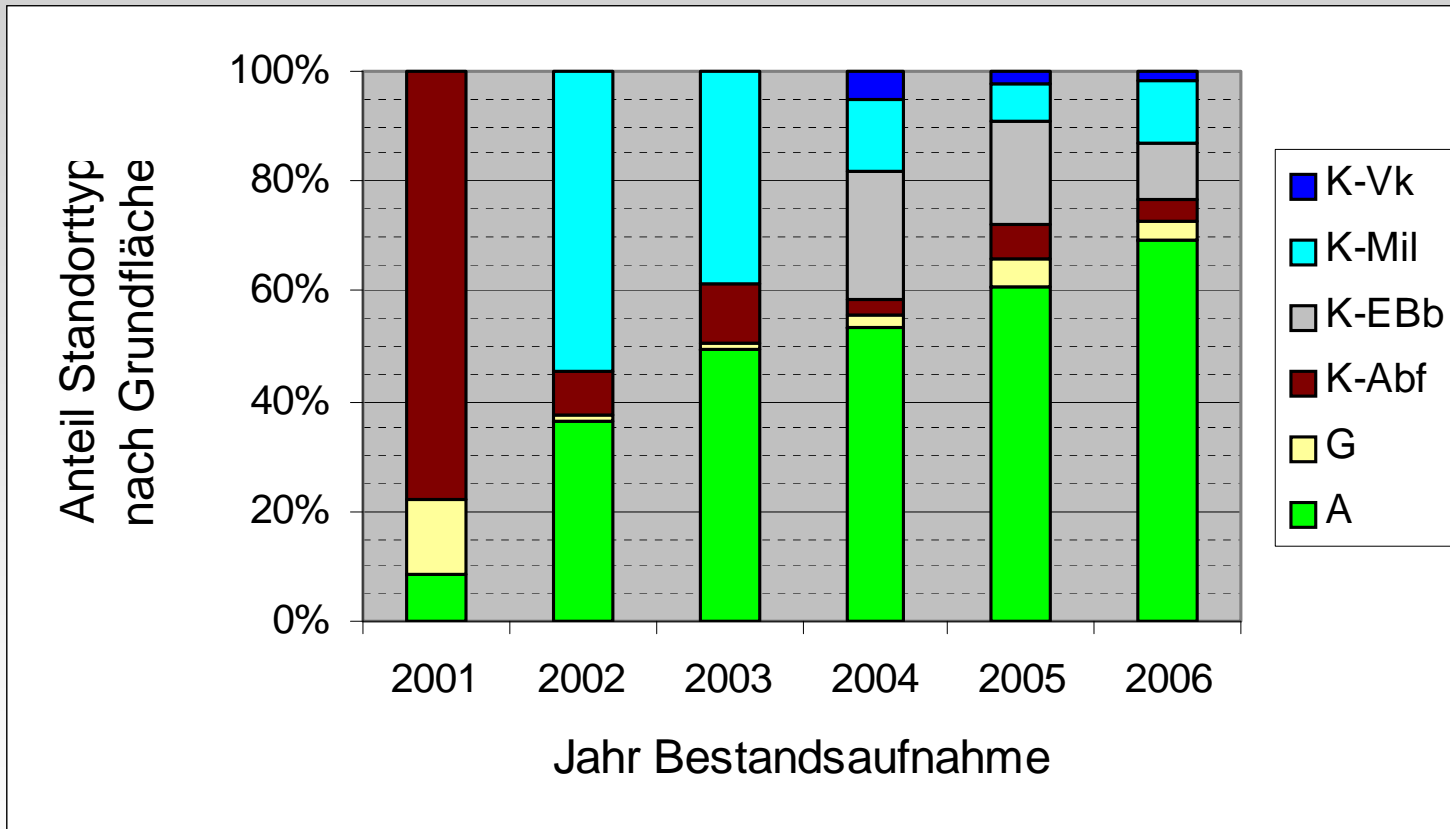
- Bewertung nicht nur anhand Nennleistung, auch Anzahl Standorte und Flächen einbeziehen
 - ◇ unterschiedliche spezifische Flächen
 - ◇ unterschiedliche mittlere Anlagengrößen

Standorttyp Anteile Bestand 2006



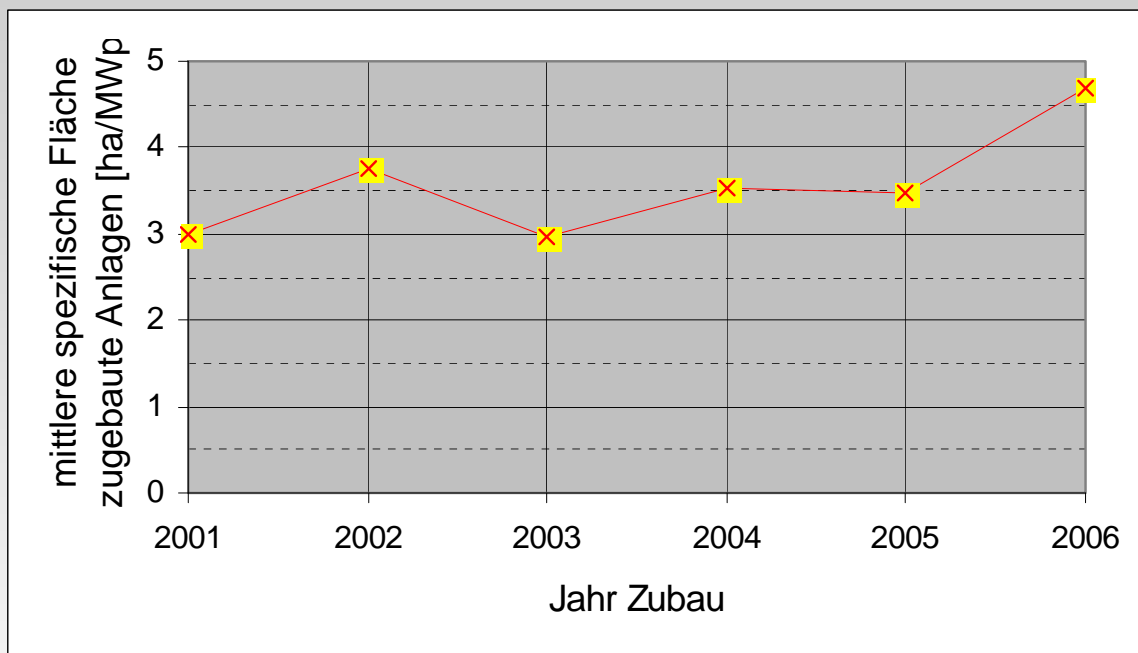
Standorttyp, Anteile 2001 bis 2006







Flächenzuwachs in 2006

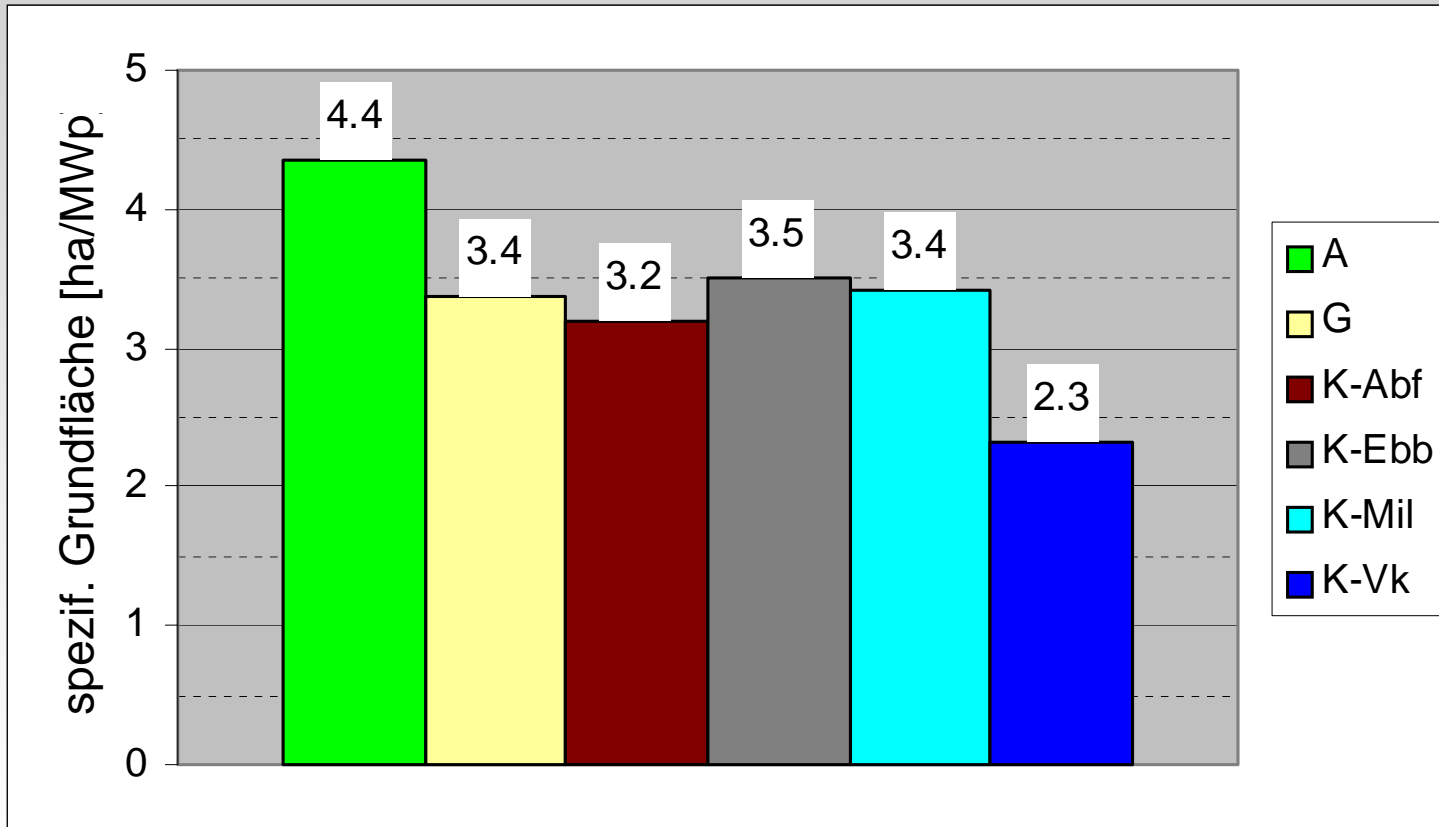


Mittlere spezifische Fläche steigt durch Zuwachs der nachgeführten Anlagen in 2006 deutlich an

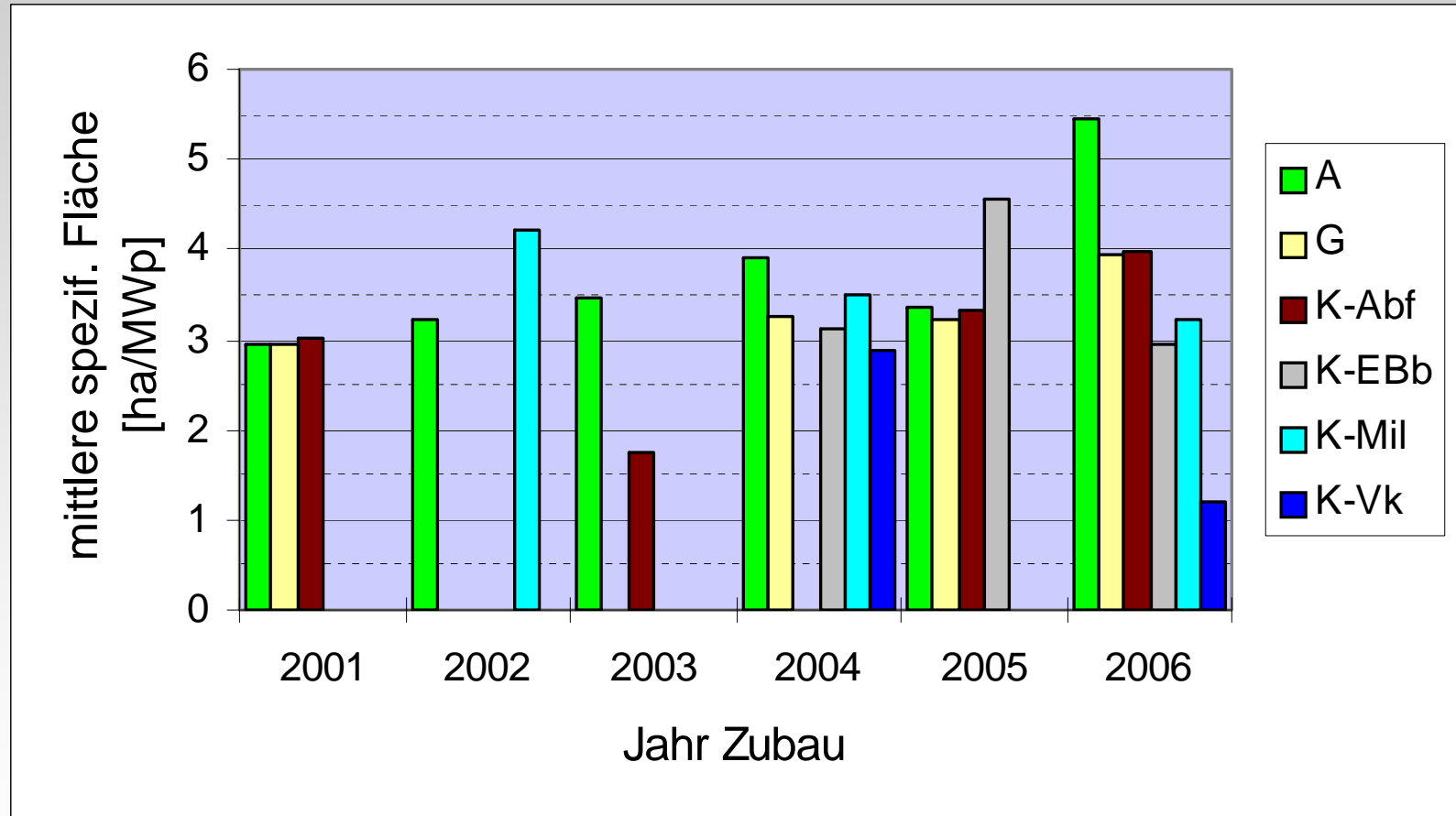
3.5 ha/ MWp → 4.7 ha / MWp

Zuwachs findet im wesentlichen auf Standorttyp „Acker“ statt.

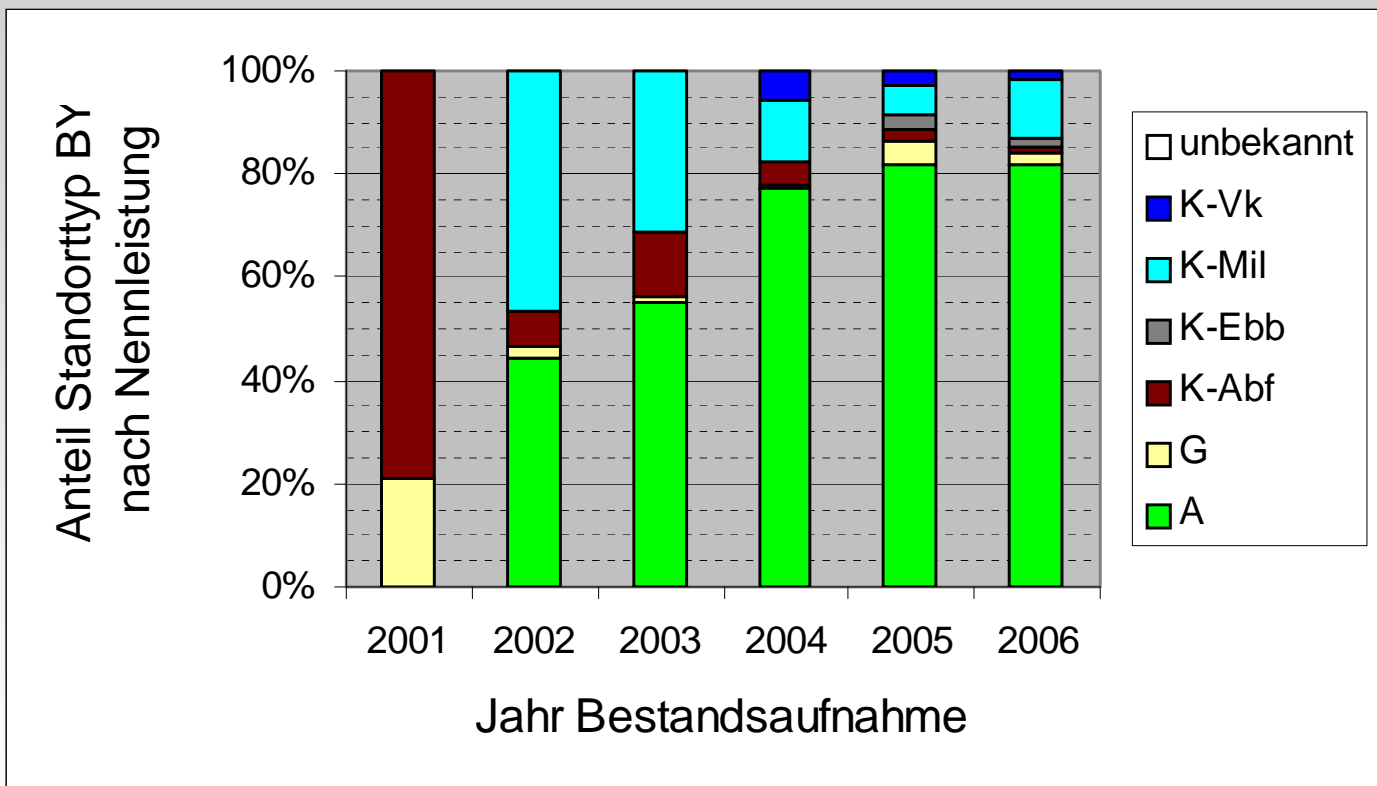
Spezifische Flächen Standorte



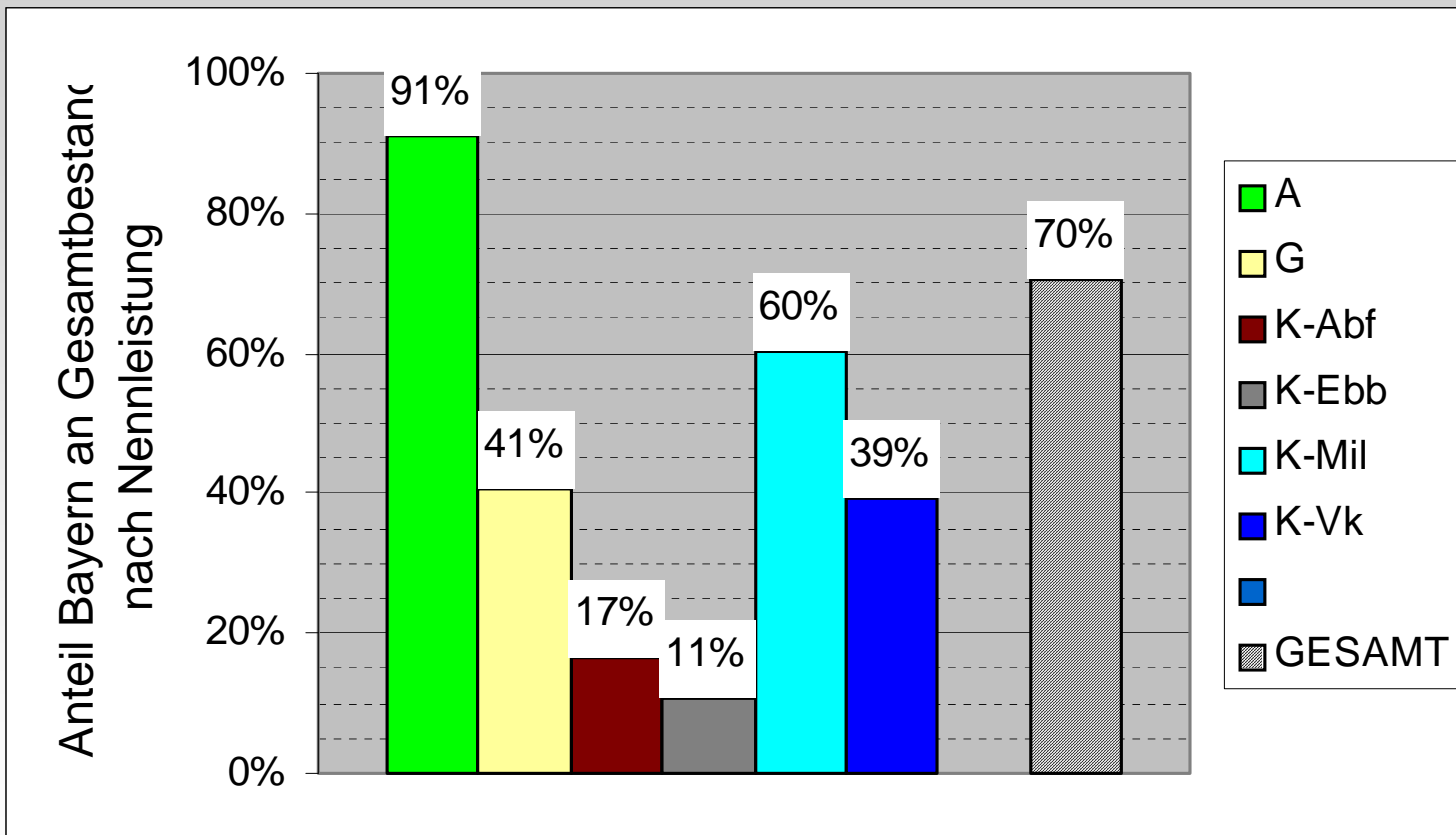
Flächenzuwachs 2006 Standorte



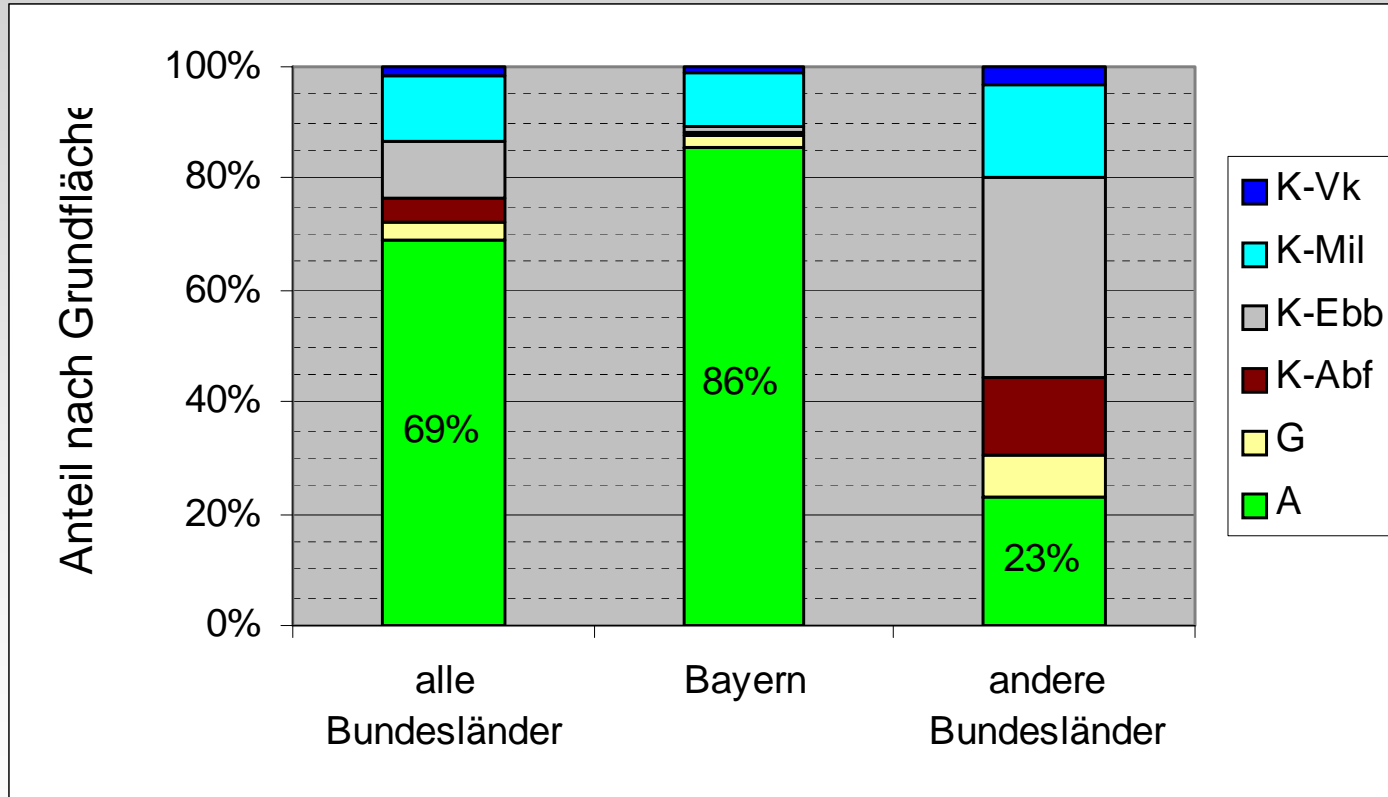
Standorttypen Bayern 2001 bis 2006



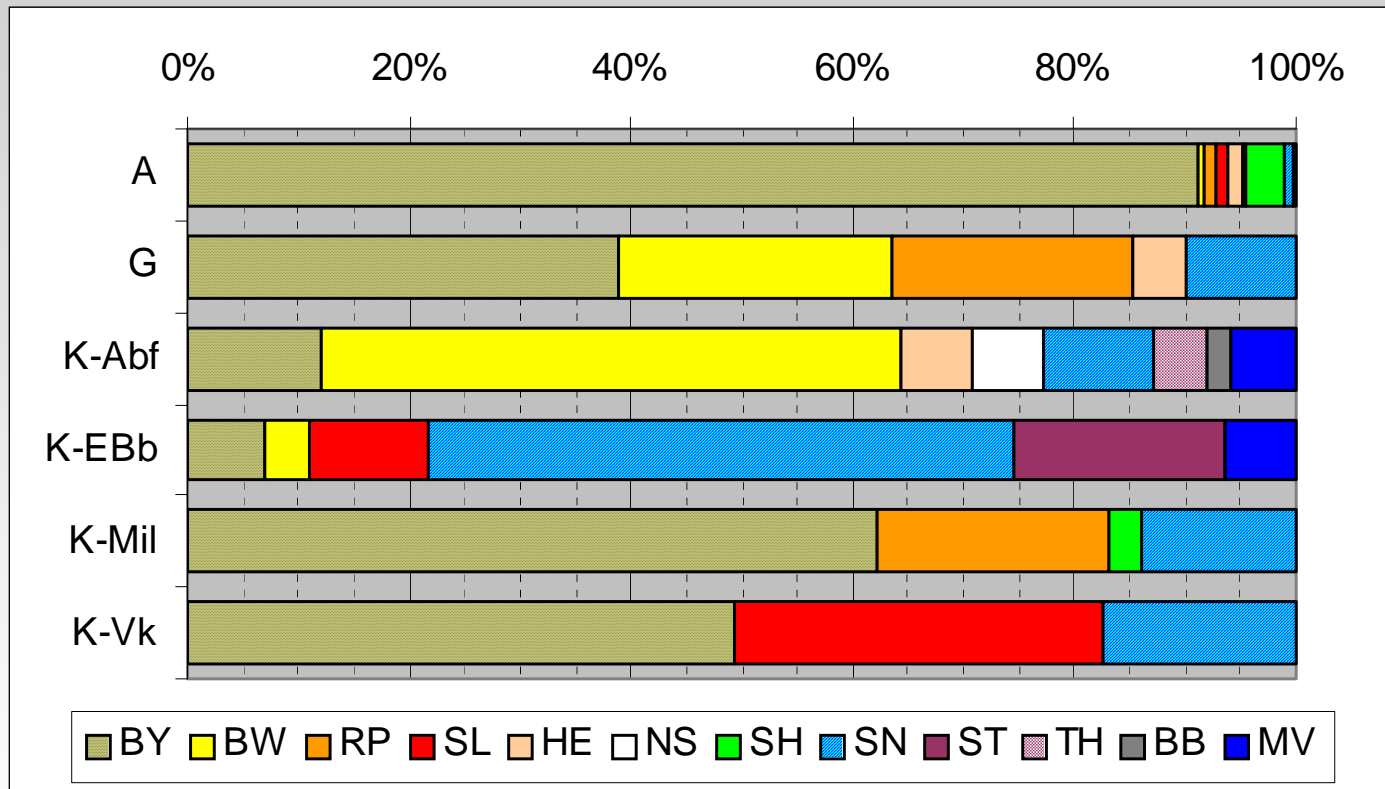
Standorttypen Bayern, Anteile an gesamt



Standorttypen Bayern und andere

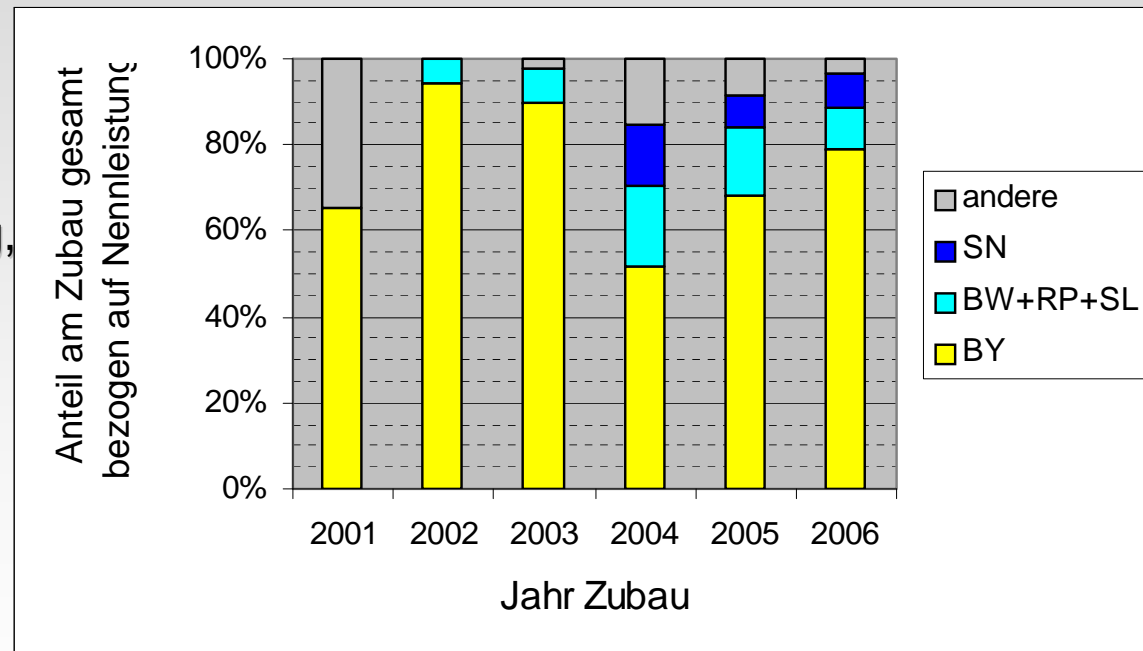


Standorttypen nach Bundesland



- Wachstum Freiflächenanlagen zunehmend nur noch in drei Regionen:

- ◆ Bayern
- ◆ „Südwest“:
Baden-Württemberg,
Rheinland-Pfalz,
Saarland
- ◆ Sachsen



■ Unterschiedliche Ausprägungen:

◆ Bayern:

- ☞ mittlere Leistung 1.2 MWp, 82 % „Acker“, 4 ha/ MWp
- ☞ nur einzelne große Konversionsflächen
- ☞ viele kleine und mittlere Ackerflächen
- ☞ hoher Anteil Nachführung

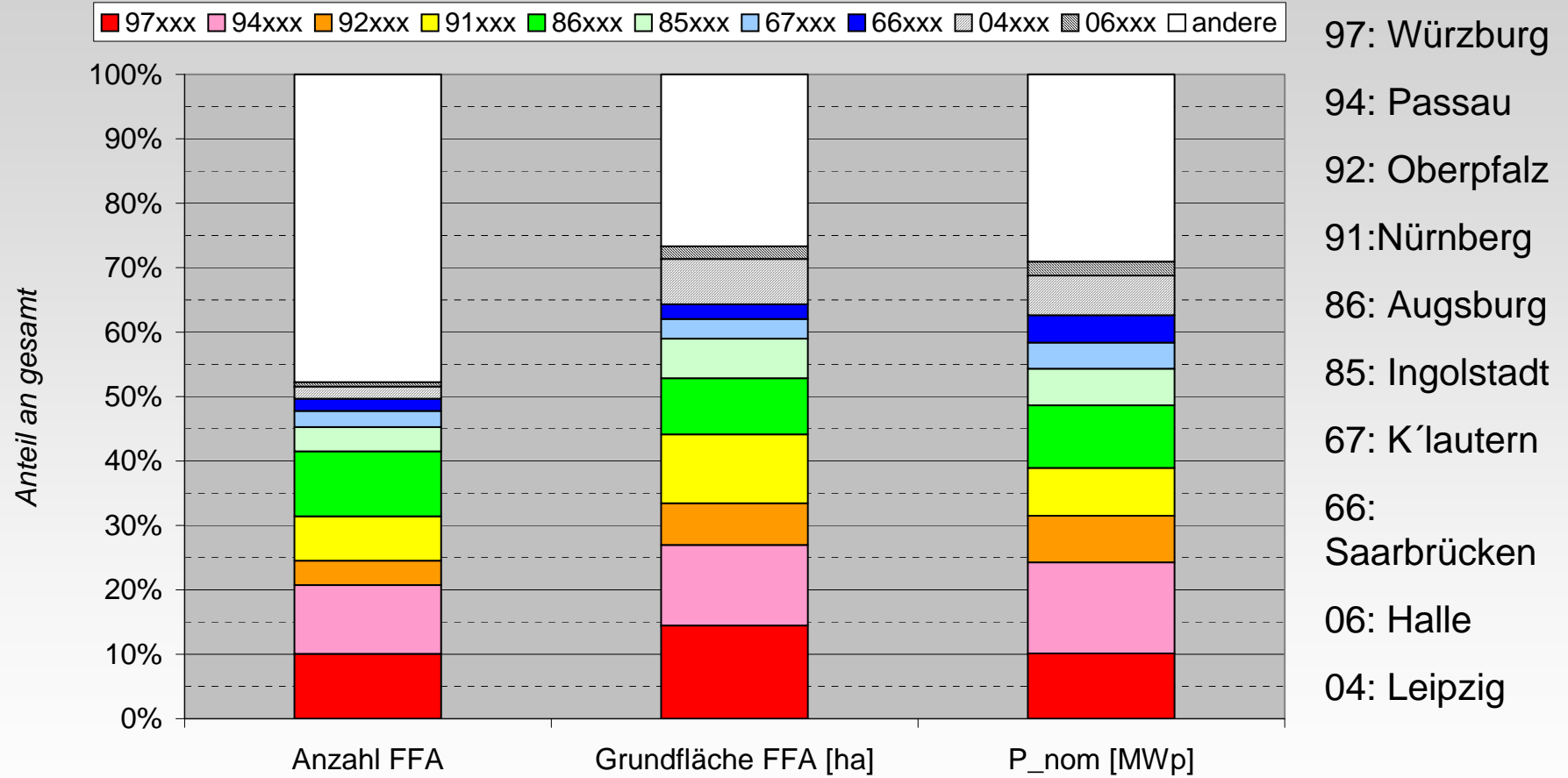
◆ „Südwest“:

- ☞ mittlere Leistung 1.2 MWp, 19 % „Acker“, 3 ha/ MWp
- ☞ viele Konversionsflächen, sparsame Flächennutzung

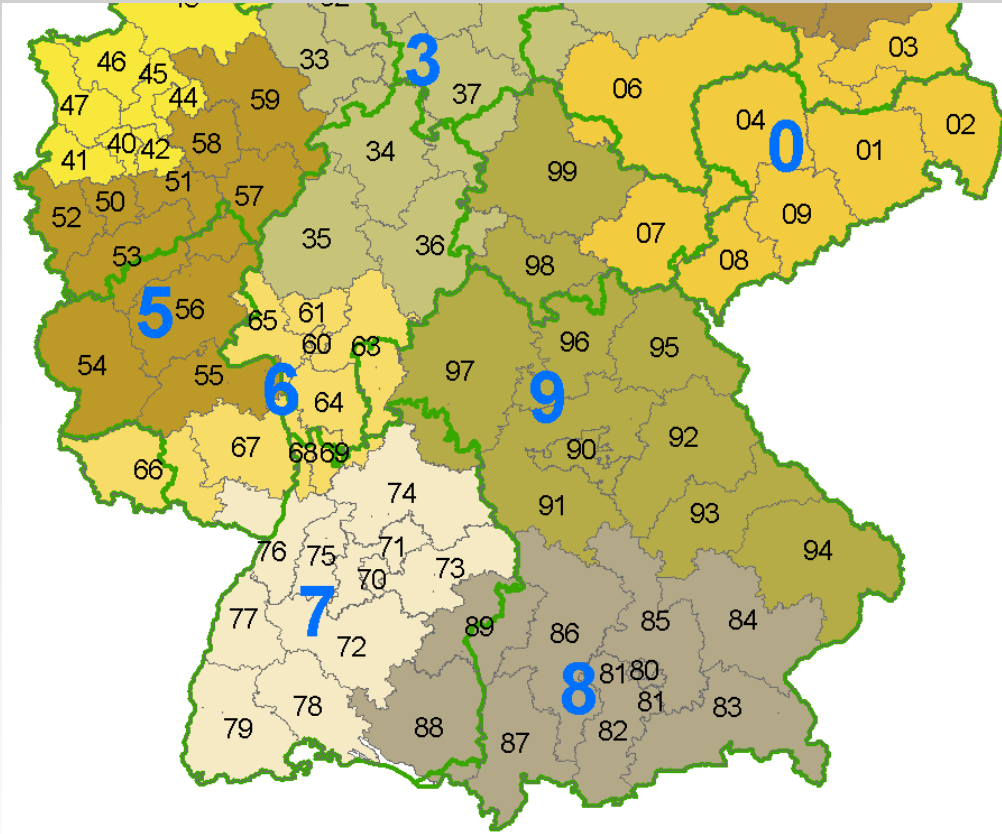
◆ Sachsen:

- ☞ mittlere Leistung 2 MWp, < 5 % „Acker“, 4 ha/ MWp
- ☞ fast nur Konversionsflächen

Fokussierung subregional

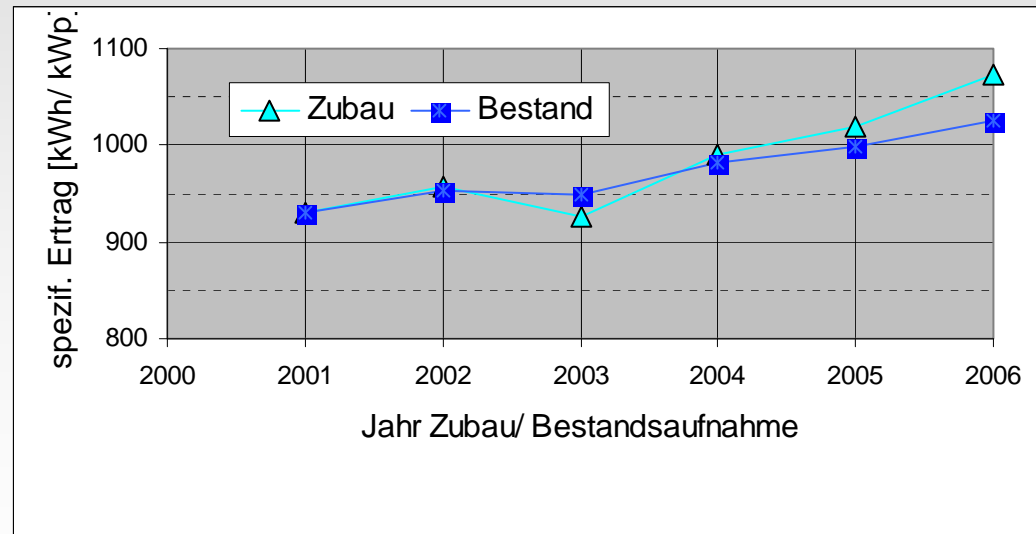


Fokussierung subregional, Karten



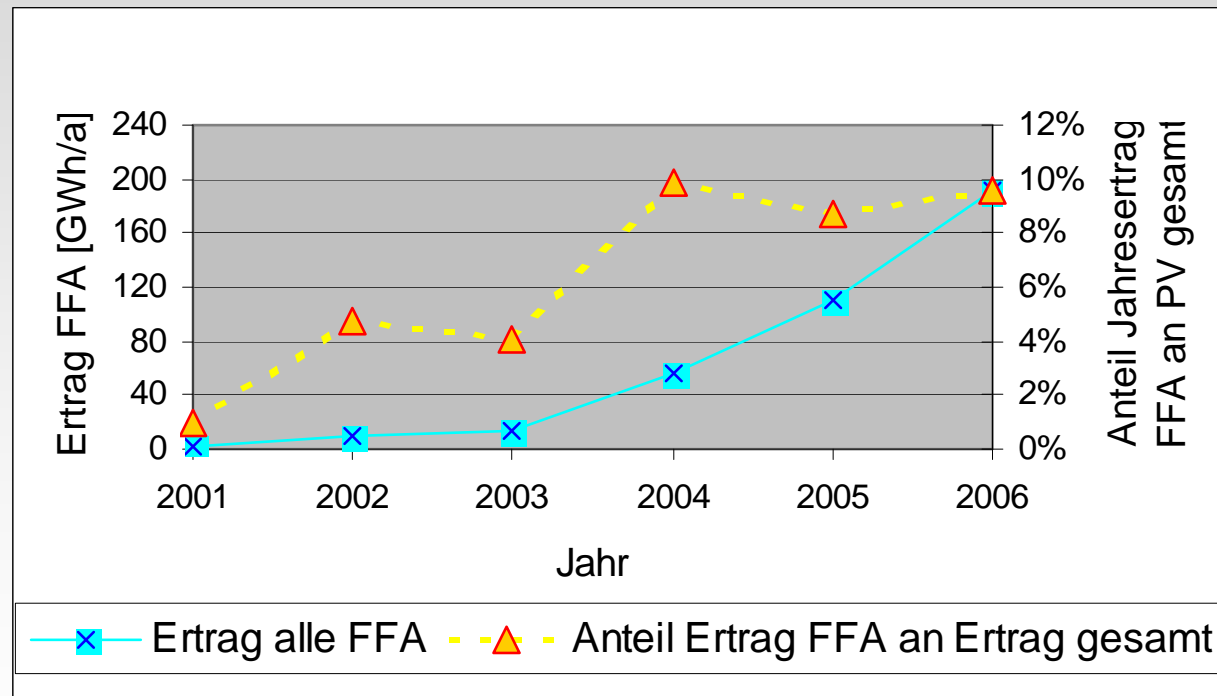
- Zubau nachgeführter Anlagen in 2006 und zunehmend sehr sorgfältige Standortwahl steigert den mittleren spezifischen Ertrag der Freiflächenanlagen

Zubau 2006:
1073 kWh/ kWp
Bestand 2006:
1025 kWh/kWp



Anteil an Ertrag gesamt PV

- Freiflächenanlagen sind ertragreich
- 2006 ca.190 GWh/ a = 9.5 % am Gesamtertrag PV



Anteil an Leistung PV gesamt

- Zubau 2006: 7.5 %, Bestand 2006: 6.6 %

