

Wärme-Kraft-Kopplung in der Schweiz

Dr. Udo BACHHIESL (TU Graz / IEE)

Dr. Michel PIOT (BFE / Sektion Energieversorgung)

Dr. Richard PHILLIPS (BFE / Sektion Erneuerbare Energien)

Inhalt

- Einleitung
- Grundlagen zur Wärme-Kraft-Kopplung
- Ausgangslage und aktueller Stand der WKK in der Schweiz
 - Energiepolitik und -recht
 - WKK in der Schweiz
- WKK im Rahmen der Energieperspektiven
- Hemmnisse für die WKK
- Umsetzungsstrategien
- Zusammenfassung

Ausgangslage

- **Energiewirtschaftliche Herausforderungen**
 - Klimawandel und Energieversorgungssicherheit
 - Ausreichende, sichere, kostengünstige, umwelt- und sozialverträgliche Energieversorgung

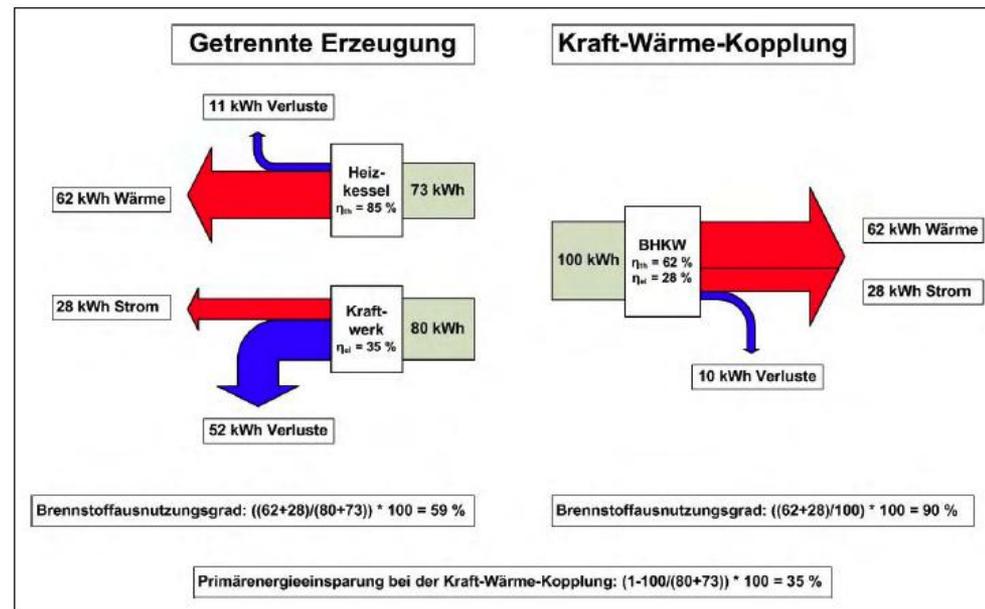
- **Ausgangslage Schweiz**
 - Kernkraftwerke erreichen Ende der Lebensdauer
 - Energieperspektiven 2035/2050
 - Deckungsvarianten für Stromlücke
 - Parlamentarische Initiativen, Motionen hinsichtlich WKK
 - Gründung eines neuen Verbandes für WKK

Aufgabenstellung

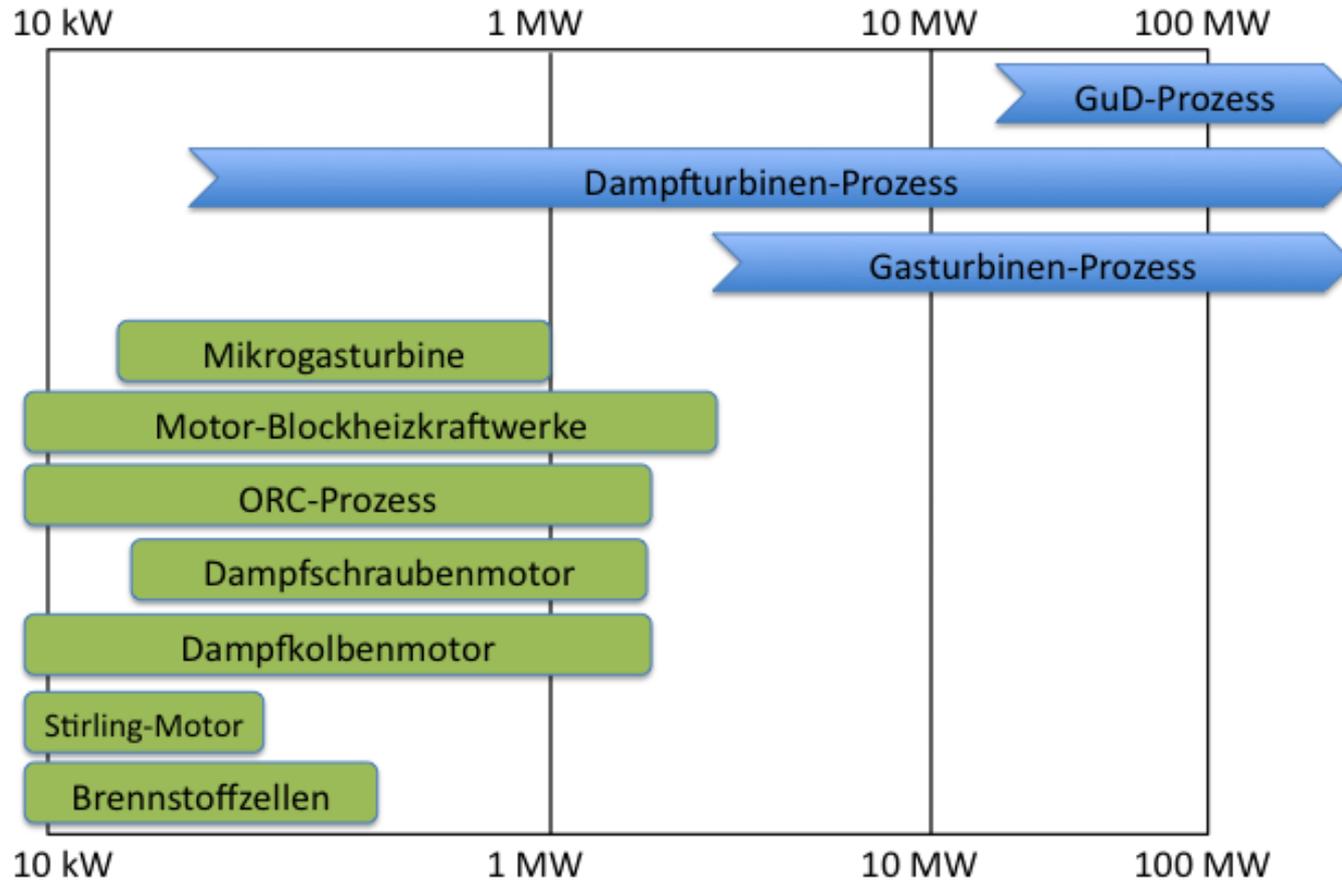
- Ziel der Arbeit: Schaffung der Grundlagen für eine WKK-Strategie
 - Darstellung der Ausgangslage
 - Aufarbeitung bestehender WKK-relevanter Dokumente
 - Szenario bis 2025
- **Grundannahmen**
 - Basisszenario III der Energieperspektiven
 - Fossile Grosskraftwerke werden nicht betrachtet
 - Deckungsvarianten D und D+E 2035
 - Ab 2025 geht neues KKW in Betrieb
 - Deckung der Stromlücke soll „Übergangscharakter“ haben

Grundlagen zur Wärme-Kraft-Kopplung

- WKK bedeutet die gleichzeitige Produktion von Strom und Wärme
- Definition: mind. 60% eingesetzter Energie genutzt, mind. 5% für Stromerzeugung
- Einteilung in kleine ($< 1 \text{ MW}_{el}$) und grosse Anlagen
- Fossile und erneuerbare Energieträger einsetzbar
- zur Verfügung stehende Technologien sehr vielfältig
- unterschiedliche Stadien der Entwicklung



WKK-Technologien



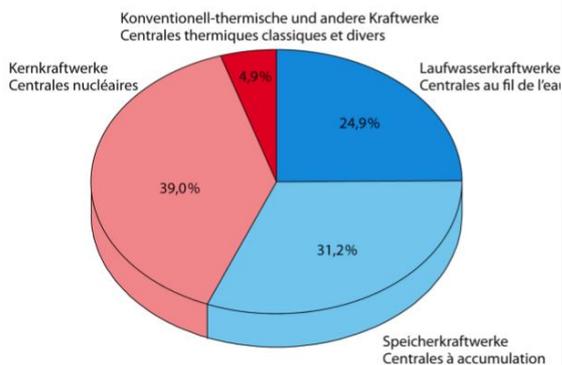
Energiepolitische bzw. -rechtliche Ausgangslage

- **Energiegesetz:** ausreichende, breit gefächerte, sichere, wirtschaftliche und umweltverträgliche Energieversorgung; bis 2030: +5'400GWh RES; Endv. stabil
- **Energieverordnung:** Def., Abnahme WKK-Strom, KEV
- **Herkunftsnachweis:** WKK nicht explizit enthalten
- **CO₂-Gesetz:** -10% bis 2010
- **Kostendeckende Einspeisevergütung (KEV):** WKK auf Basis erneuerbarer Energie
- **CO₂-Verordnung:** auch WKK, ab 2010 36 CHF/t_{CO2}
- **Verordnung über Kompensation von CO₂-Emissionen aus Gaskombikraftwerken**
- **Energiestrategie Schweiz:** EnEff, RES, Grosskraftwerke, Energieaussenpolitik
- **Aktionspläne Energieeffizienz und Erneuerbare Energie**
- **Biomassestrategie Schweiz:** konkrete Strategie für BM-Nutzung ist zu erstellen
- **Motionen und parlamentarische Initiativen**

Aktueller Stand thermische Stromerzeugung inkl. WKK

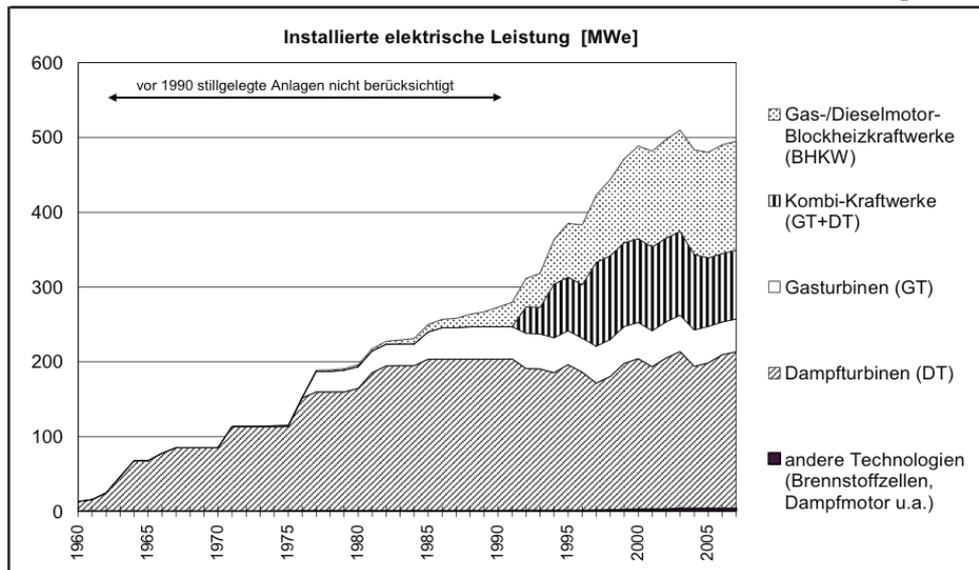
Total CH: 65.900 GWh/a:

- 5% aus therm. KW
- 2,5% aus WKK

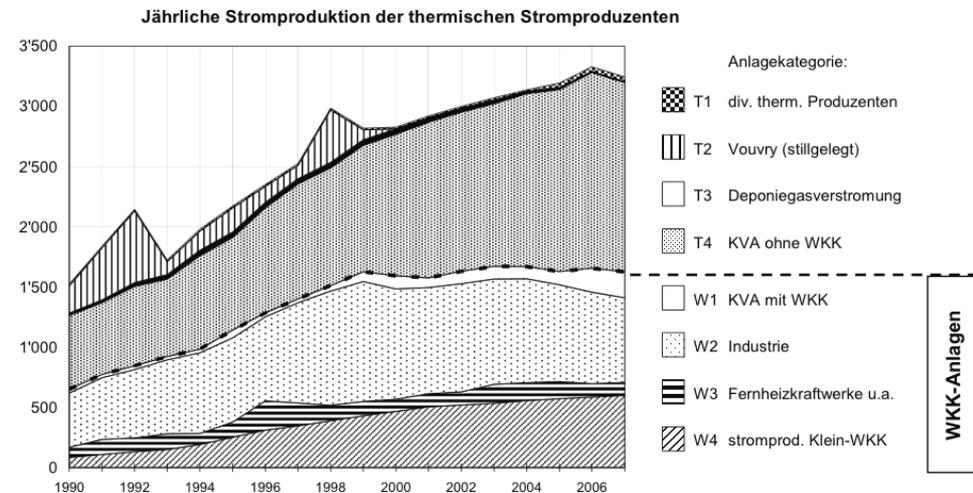


		Nr.	Anlagenkategorie	Anzahl Anlagen Ende 2007	Inst. el. Leist. Ende 2007 [MWe]	Stromproduktion 2007 GWh	%
Thermische Stromproduktion	Wärmekraftkopplung	T1	diverse therm. Stromerzeuger	20	75.0	40.0	1%
		T2	Vouvry (stillgelegt 30.9.1999)	0	0.0	0.0	0%
		T3	Deponiegasverstromung	7	1.6	6.8	0%
		T4	Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA ohne WKK*)	25	280.0	1'570.1	48%
		Subtotal Nicht-WKK-Anlagen		52	356.6	1'616.9	50%
	Gross-WKK	W1	Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA mit WKK*)	4	56.1	216.9	7%
		W2	Industrie**	22	228.0	703.4	22%
		W3	Fernheizkraftwerke und div.**	9	61.7	107.5	3%
		W4	stromproduzier. Klein-WKK (Blockheizkraftwerke und Gasturbinen < 1MW)	1'032	149.0	599.1	18%
		W5	nicht stromprod. Klein-WKK (Gas-/Dieselmotor-Wärmepumpen)	(49)	0.0	0.0	0%
Subtotal WKK-Anlagen (ohne W5)		1'067	494.8	1'627.0	50%		
Total gesamte thermische Stromproduktion				1'119	851.4	3'243.9	100%

Entwicklung der thermischen Stromproduktion



- Insgesamt 851 MW installiert
- davon 495 MW in WKK-Anlagen
- 70% in Gross-WKK-Anlagen
- DT → GT+DT



Ausgangslage im Gebäudebereich

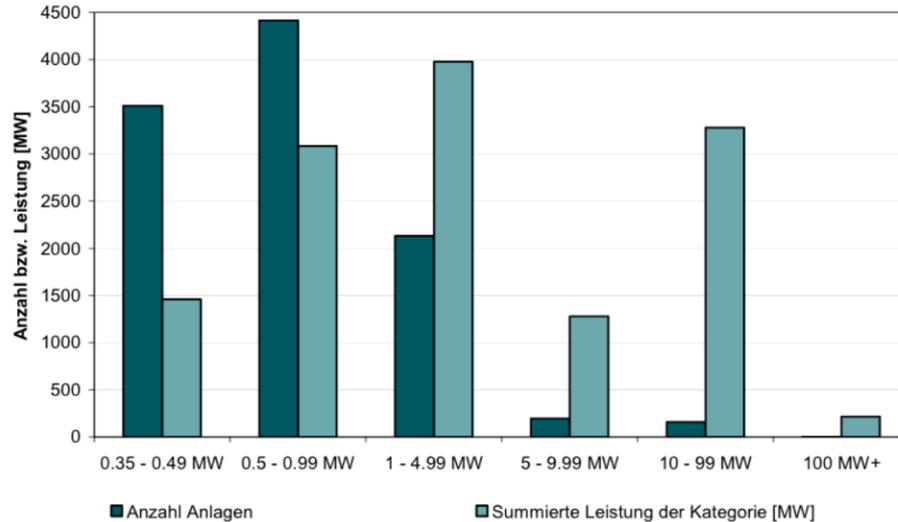
➤ Gebäudebestand:
1'462'167 (56% EFH)

➤ Neue Gebäude 2007:
17'000 (70% EFH)

- Energieträger:
- Öl: 800'000
 - Gas: 200'000
 - Strom: 166'000

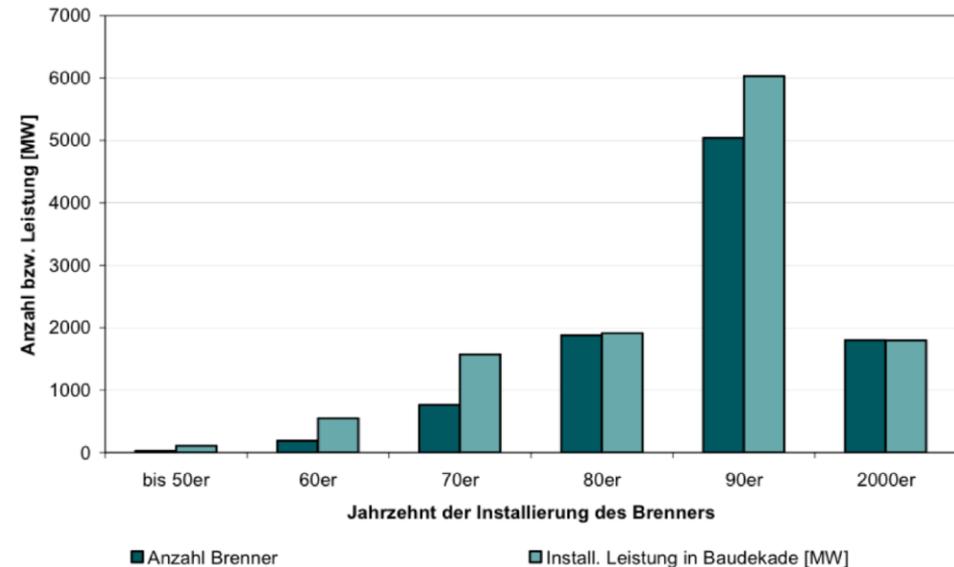
	1990		2000	
	absolut	in %	absolut	in %
Gebäude total	1'292'502	100,0	1'462'167	100,0
Mit Heizung	1'288'086	99,7	1'454'500	99,5
Einzelofenheizung	219'449	17,0	201'370	13,8
Etagenheizung	36'539	2,8	81'264	5,6
Öffentliche Fernwärmeversorgung	14'390	1,1	27'907	1,9
Zentralheizung für ein Gebäude	907'060	70,2	1'002'547	68,6
Zentralheizung für mehrere Gebäude	110'648	8,6	141'412	9,7
Energieträger der Heizung				
Heizöl	756'001	58,7	814'827	56,0
Holz	221'910	17,2	189'571	13,0
Wärmepumpe	24'744	1,9	60'109	4,1
Elektrizität	155'020	12,0	166'248	11,4
Gas	110'149	8,6	200'187	13,8
Fernwärme	14'280	1,1	20'593	1,4
Kohle	5'241	0,4	1'057	0,1
Sonnenkollektor	375	0,0	944	0,1
Andere	366	0,0	964	0,1

Situation bestehender grösserer fossiler Feuerungen



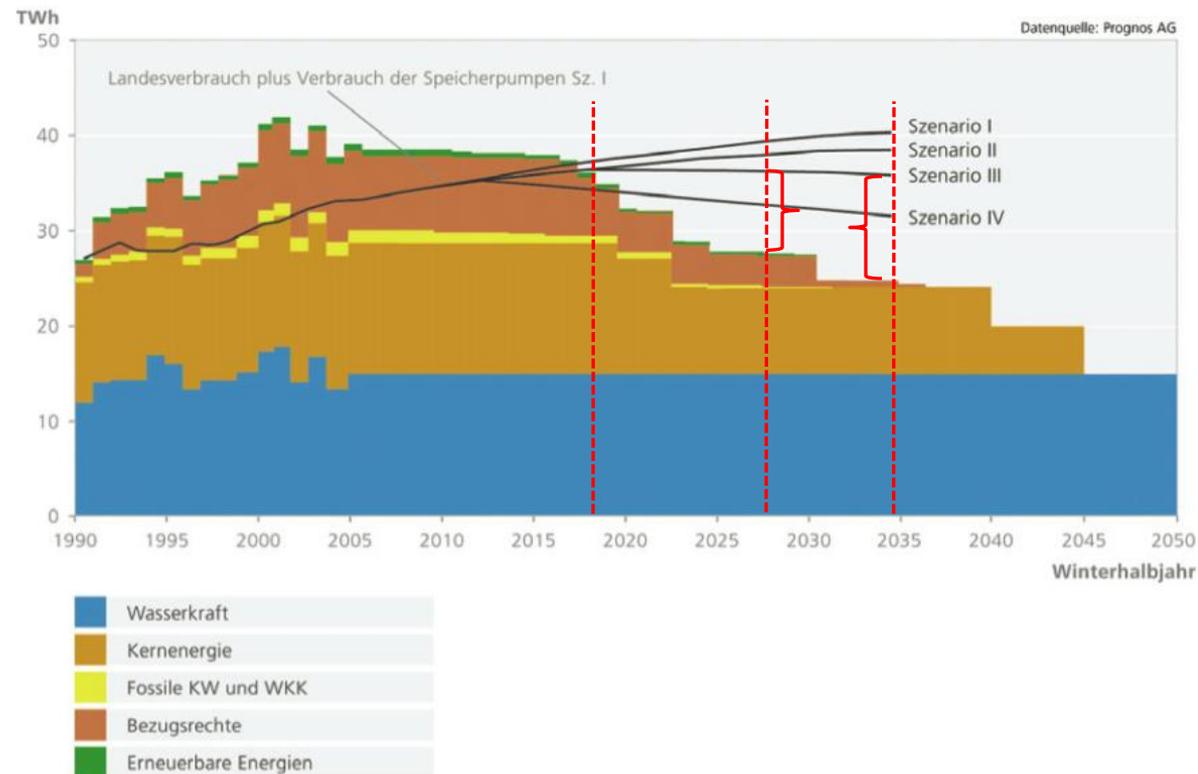
- ca. 10'000 Feuerungen >350 kW
- Durchschnittsalter ca. 19a
- ab 2010 Erneuerung 500 #/a
- entspricht ca. 400-500 GWh/a
- Zürich, Basellandschaft, Bern, Aargau

Häufigkeit der Alterskategorien und ihre summierten Leistungen



Energieperspektiven 2035

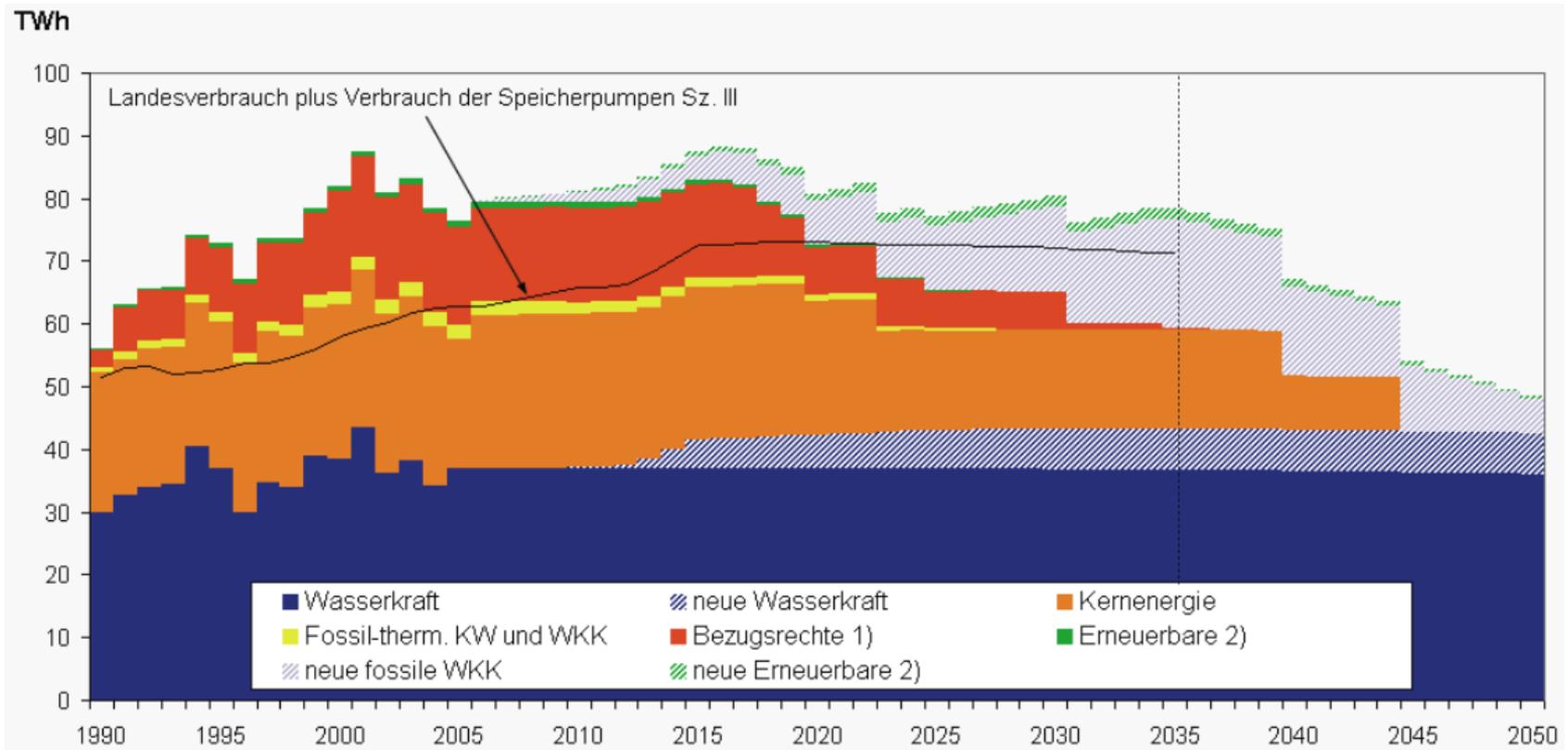
- Erarbeitung 2004 bis 2006
- Vier Szenarien I – IV
- Basis bildet Szenario III
 - zielorientiert (2035)
 - Endenergie: -20%
 - CO₂: -20%
 - RES-H: 20%
 - RES-E: 10%
- Erwartete Stromlücke
 - ab 2018 erstmalig
 - 2025: 8,3 TWh/a
 - 2035: 13,5 TWh/a



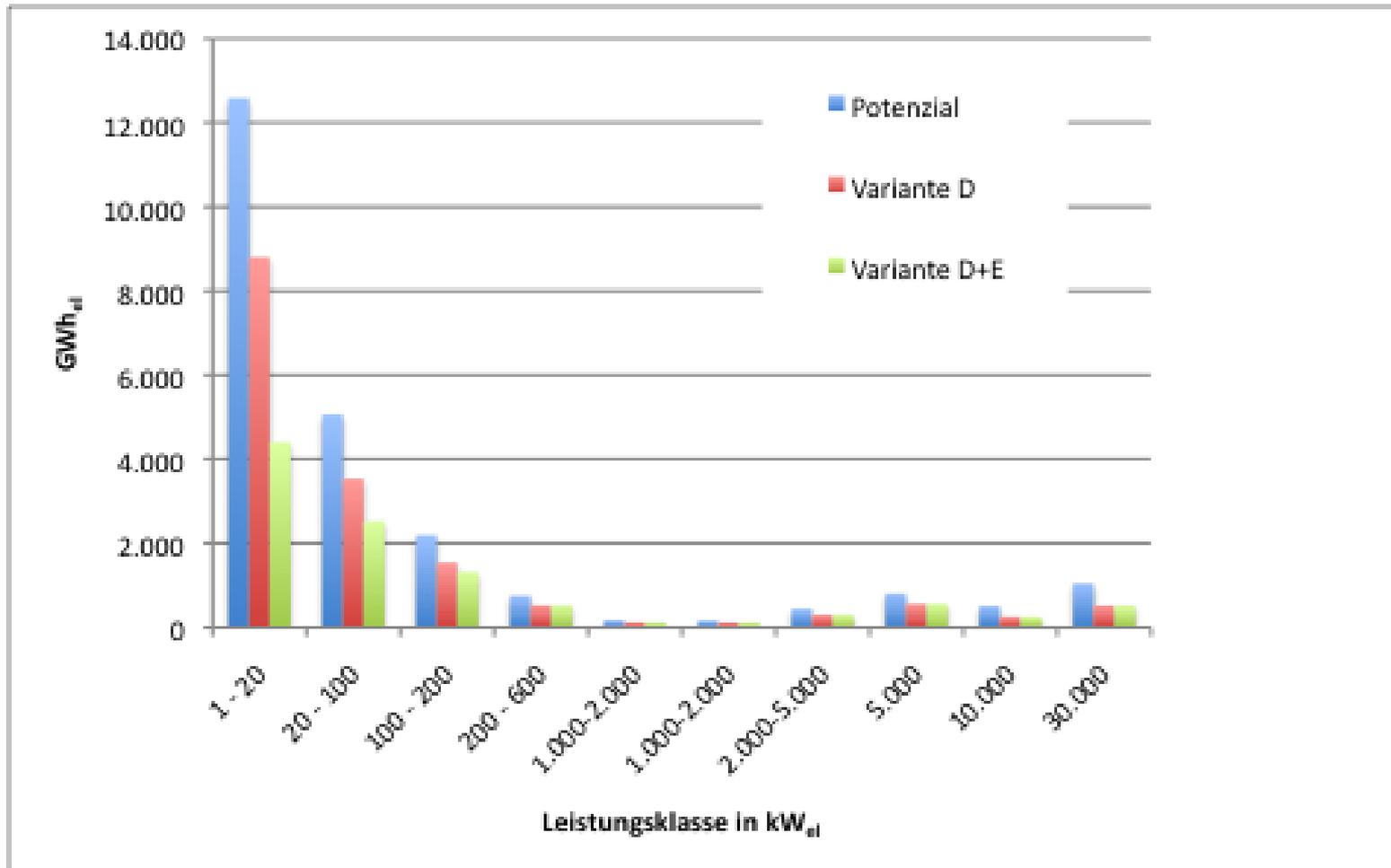
Deckungsvarianten

- **Untersuchte Varianten zur Deckung der Stromlücke**
 - A Nuklear: KKW Beznau und Mühleberg durch neues KKW 2030 ersetzt; Übergang durch Importe gedeckt
 - *B fossil zentral und nuklear: neues KKW 2030; Übergang durch GuD-KW*
 - *C fossil zentral: Deckung der Stromlücke nur über GuD-KW*
 - **D fossil dezentral: nur dezentrale fossil-thermische Anlagen**
 - **E: erneuerbare Energien: WKK als auch ungekoppelte Anlagen**
 - F: Laufzeitverlängerungen KKW
 - G: Stromimporte aus dem Ausland
 - **Kombinationsvarianten: C&E, D&E**

Szenario III – Variante D



Potenzialausschöpfung WKK je Variante



Technologiepfade zur Deckung der Stromlücke

Var.	A	B	C	D	E	C & E	D & E	G
Sz.	Nuklear	Fossil-zentral und Nuklear	Fossil-zentral	Fossil-dezentral	EE	Fossil-zentral und EE	Fossil-dezentral und EE	Importe
I	2 KKW	5 GKW 1 KKW	7 GKW	-	-	-	-	20.0 TWh Importe (3'329 MW)
II	2 KKW 5.7 TWh EE	3 GKW 1 KKW 5.7 TWh EE	5 GKW 5.7 TWh EE	-	-	-	-	12.7 TWh Importe (2'114 MW) 5.7 TWh EE
III	1 KKW	-	4 GKW *	17.4 TWh WKK	16.5 TWh EE 2.6 TWh GWK	3 GKW * 8.1 TWh EE	12.1 TWh WKK 9.6 TWh EE	11.5 TWh Importe (1'913 MW)
IV	1 KKW	-	3 GKW	11.5 TWh WKK	10.3 TWh EE 1.0 TWh GWK	-	7.6 TWh WKK 6.2 TWh EE	6.6 TWh Importe (1'100 MW)

➤ Kosten der Lückenschliessung; nur Szenario III (Mrd.CHF)

- A: 13,2
- C: 16,1
- **D: 27,7**
- **E: 26,9**
- **D+E: 28,1**
- G: 13,9

Anlagenzahlen der Szenarien

	Elektrische Lstg. kW	Variante D	Variante D+E
BHKW1	1 - 20	234.850	117.425
BHKW2	20 - 100	15.715	11.225
BHKW3	100 - 200	2.497	2.140
BHKW4	200 - 600	306	306
BHKW5	1.000-2.000	17	17
Gasturbine	1.000-2.000	24	24
GT/Kombi	2.000-5.000	15	15
Kombi-KW	5.000	23	23
Kl. Fernwärmenetz	10.000	5	5
Gr. Fernwärmenetz	30.000	3	3
Summe:		253.454	131.182

Die Rolle der Biomasse - Potenzial

- Biomasse auch in WKK-Anlagen nutzbar
- Verstärkte Biomassennutzung entspricht Aktionsplan erneuerbarer Energie
- Allerdings: Flächen und Biomasse nicht unlimitiert verfügbar und vielfältige Nutzungsmöglichkeiten (Nahrungsmittel, stoffliche Nutzung, Wärme, Treibstoffe...)
- Wichtigste Technologien zur WKK-Nutzung von Biomasse sind:
 - Dampfturbine (2-25 MW_{el}, η=18-30%)
 - Biogas (100-1.500 kW_{el}, η=20-30%)
 - ORC-Prozess (400-1.100 kW_{el}, η=10-15%)
 - Dampfschraubenmotor (100-2.500 kW_{el}, η=10-15%)
 - Stirlingmotor (30-70 kW_{el}, η=11%)
- Potenzial-Situation in der Schweiz:
 - Technisch-ökologisches Potenzial bis 2035: 3.200-4.200 GWh/a (BFE 2007)
 - Wirtschaftliches Potenzial (konservativ) bis 2025: 790 GWh/a (BFE 2004)
- ➔ Es besteht noch Unsicherheit über die realisierbaren Potenziale zur Stromerzeugung aus Biomasse (Biomasse-Strategie)

Hemmnisse für Verbreitung von WKK

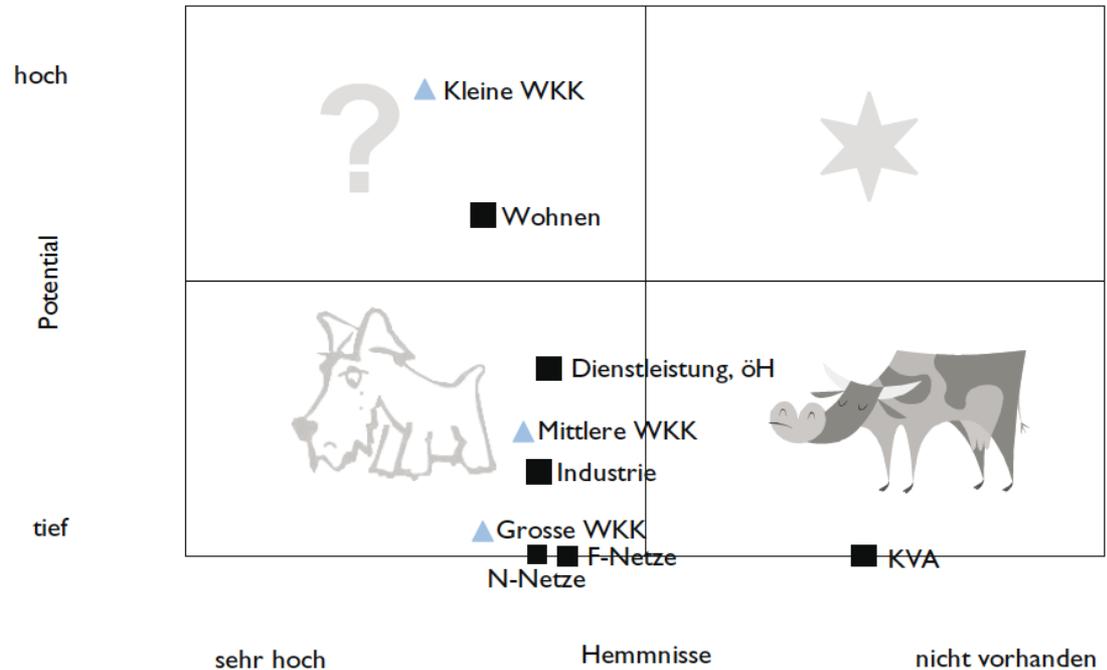
➤ Hemmnis-Kategorien

- Recht
- Technik
- Ökonomie
- Politik

➤ Ergebnisse

- Stars: leer
- Cash Cows: KVA und ARA; wenig Hemmnisse aber geringes Potenzial
- Fragezeichen: kleine WKK; grösstes Potenzial, viele Hemmnisse
- Dogs: grosse Zahl von Anwendungen, viele Hemmnisse

➔ Keine Anwendung wird sich in den nächsten Jahren selbständig durchsetzen



Instrumente für eine WKK-Strategie

➤ **Regulative Instrumente**

- Quotenregelung
- Raumplanung und Anschlussvorschriften
- Anpassung der Umweltschutzgesetzgebung

➤ **Finanzielle Instrumente**

- Investitionsförderung
- KEV für fossil betriebene WKK
- Veränderung der CO₂-Kompensationsregelungen, Befreiung von CO₂-Abgabe

➤ **Persuasive Instrumente**

- Aktive Information und Beratung; Stärkung der Marktakteure; Stärkung Image WKK
- Finanzielle Unterstützung im Bereich Forschung und Entwicklung sowie P&D

Varianten einer WKK-Strategie

- **Variante 1: Wachstumsstrategie bei kleinen Anlagen im Wohnbereich**
 - Reihenhäuser, Mehrfamilienhäuser, kleine Quartiere
 - Einsatz marktreifer Technologien(1) und innovativer Technologien (2)
 - Energiepolitisches Signal, zentrale Koordination (EnergieSchweiz+Fachverband)
 - Ad (1) LRV, Rückliefertarife, Investförderung, Imagekampagne, Information, Weiterbildung
 - Ad (2) Mittel für F&E, P&D, Information und Beratung
- **Variante 2: Strategie der Qualitätssicherung**
 - KVA, ARA, BM-WKK, BHKW öffentliche Hand und Dienstleistungen
 - KEV, Qualitätskontrolle und -sicherung, Information, Weiterbildung
- **Variante 3: Laisser-Faire-Strategie**
 - keine Ausweitung WKK in der Schweiz möglich
- **Variante 4: WKK im mittleren Leistungsbereich (200kW bis 1MW)**
 - Überbauungen, Nah- und Fernwärmenetze, Gewerbe&Industrie, Schulen, Hallenbäder, öffentliche Gebäude...

Zusammenfassung

- WKK führt bei optimaler Auslegung zu Primärenergieeinsparungen
- Derzeit thermische Stromerzeugung in der Schweiz nur gering
- Technologische Optionen vielfältig
 - ausgereift bei Grossanlagen
 - Innovative Kleinanwendungen in der Nähe der Marktreife
- Energieperspektiven 2035
 - Varianten zur Deckung der Stromlücke
- Hemmnisse: Recht, Technik, Ökonomie, Politik
- Instrumente: regulativ, finanziell, persuasiv
- Strategien
- Ausblick
 - Variante bis 2025: Lücke, Deckung, Anlagen, Kosten, KEV-Wirkungen
 - Exkurse: WP, BM, Biogaseinspeisung, Fern- und Nahwärme bzw. -kälte, Erdgas

DANKE FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT!

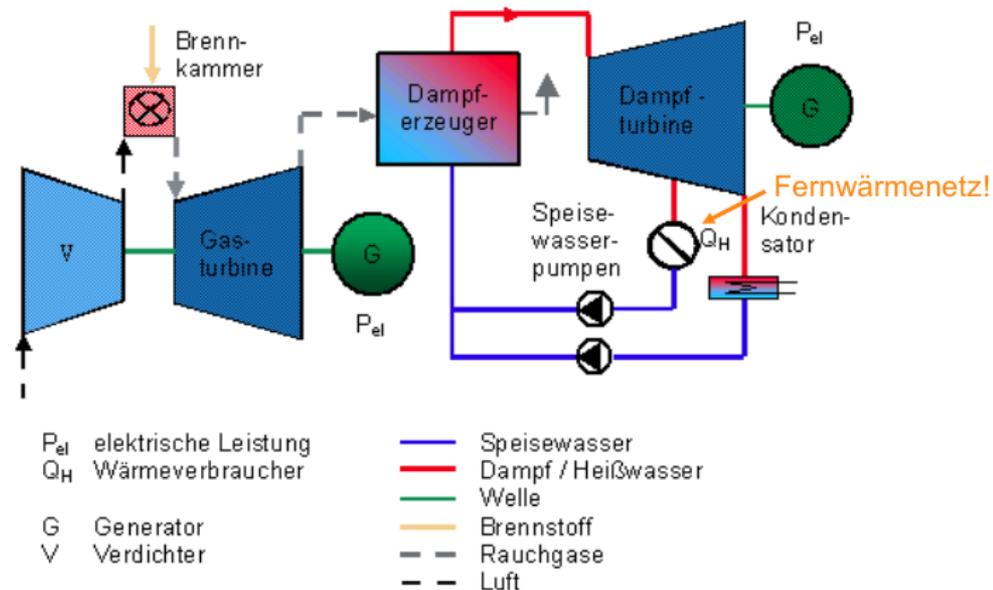


bachhiesl@TUGraz.at

www.IEE.TUGraz.at

„Grosse“ WKK-Anlagen

- Dampfturbinen-Kraftwerke
- Gasturbinen-Kraftwerke
- Kombinationskraftwerke
- Zufeuerungsoptionen



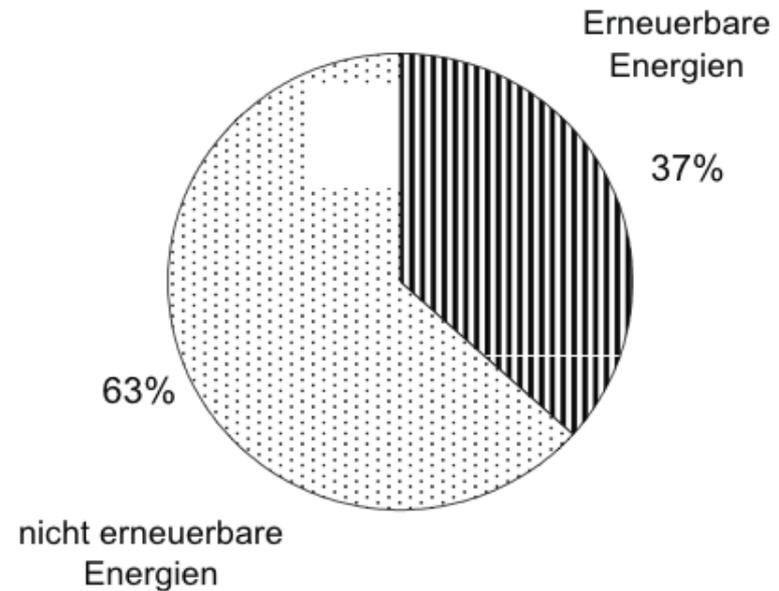
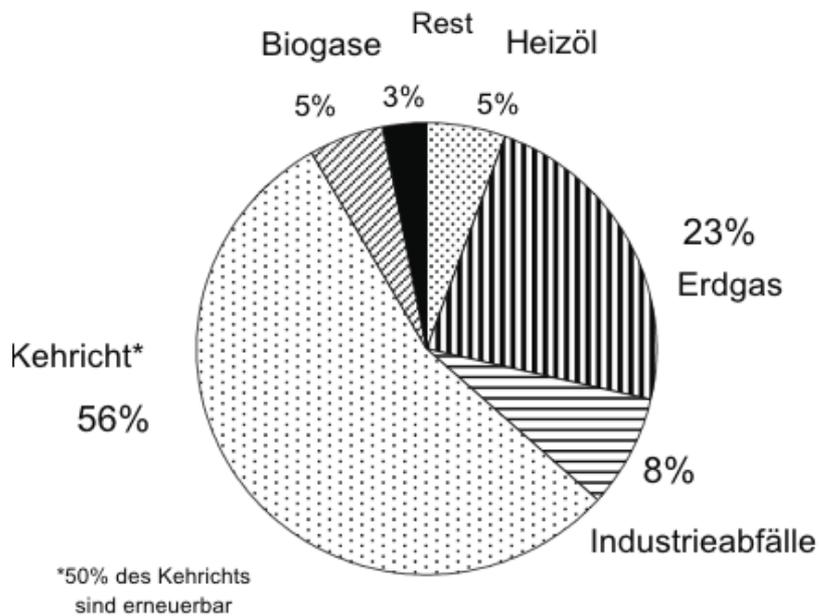
Vorteile der WKK

- Hohe Brennstoffausnutzung durch gleichzeitige Produktion von Strom und Wärme
- Verbrauchernahe Erzeugung von Strom und Wärme
- Bedarfsgerechter Einsatz möglich
- Wärmegeführte WKK sind gute Ergänzung zur Wasserkraft im Gesamtsystem
- Grosses technisches Potenzial
- Übergangslösung mit geringer Zusatzinfrastruktur möglich
- Einsatz erneuerbarer und fossiler Energieträger möglich
- Notstromtauglich

Nachteile der WKK

- Wärmegeführte Betriebsweise erforderlich
- Dezentrale Klein-WKKs sind teuerste Variante in den Energieperspektiven
- Anlagen im kleinen Leistungsbereich haben z.T. noch keine ausreichende Marktreife (z.B. Stirling-Motoren, Brennstoffzellen)
- CO₂-Emissionen bei Einsatz fossiler Energieträger
- Wärmebedarf ist aufgrund verstärkter Gebäudesanierungen tendenziell sinkend
- Mittlere bis grosse WKK-Anlagen erfordern zumeist die Errichtungen eines Fernwärmenetzes (lange Lebensdauer, hohe Investitionen erforderlich)

Eingesetzte Energieträger zur thermischen Stromproduktion



Stromerzeugung aus Biomasse im Rahmen der KEV

- KEV: Energiegesetz schreibt vor bis 2030 +5'400 GWh/a Ökostrom

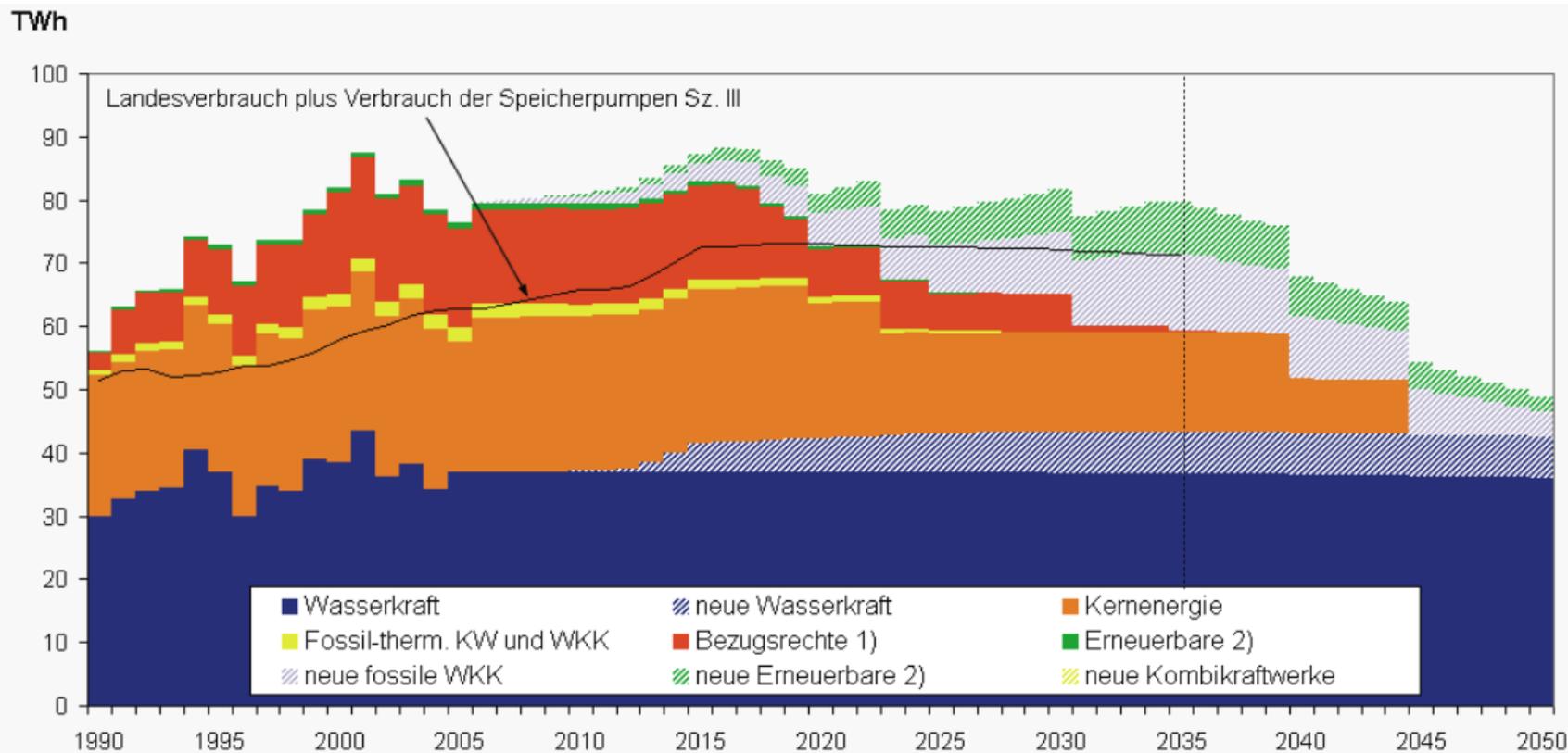
	Anzahl	Leistung [MW]	Energie [GWh]	Status
KVA	12			angemeldet
	8	108	604	bewilligt

Deponie und Klärgas	113			angemeldet
	73	8	49	bewilligt

Übrige Biomasse	208			angemeldet
	131	128	790	bewilligt
Davon Holz	39	98	607	bewilligt
Davon Vergärung	92	30	193	bewilligt

Insgesamt	333			angemeldet
Pos. Bescheid	212	244	1.443	bewilligt

Szenario III – Variante D+E

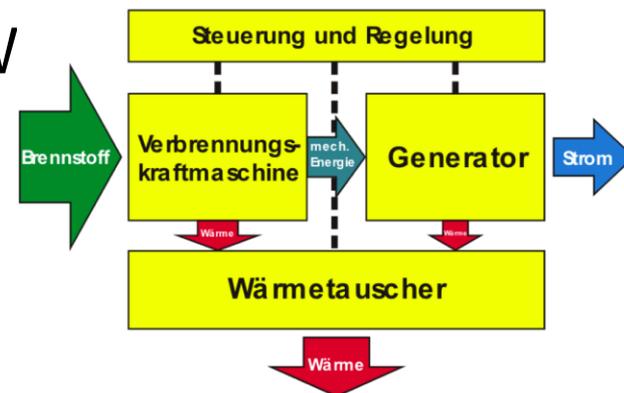


Gegenüberstellung der Varianten

Sz III „Neue Prioritäten“		Var. D	Var. E	Var. D&E
		Fossil-dezentral	Erneuerbare Energien	Fossil-dezentral und Erneuerbare
Kenngrossen des Zubaus				
Kenngrossen des Zubaus	-	17.8*** TWh fossile WKK	16.5 TWh EE 2.6 TWh GWK	12.1 TWh fossile WKK 9.6 TWh EE
Kosten des Zubaus (diskontiert)				
Gesamtkosten	Mrd. CHF	27.9**	26.9	28.1
Gestehungskosten	Rp./kWh _{el}	8.1	7.2	7.9
(Netto) Emissionen des Parks (Bestand + Zubau)				
CO ₂ -Emissionen	Mio. t	3.3****	0.2	2.0
NO _x -Emissionen	1'000 t	-0.1	-0.1	-0.2
Staub-Emissionen	t	-0.4	5.1	2.9
Versorgungssicherheit (Bestand + Zubau)				
Kältewelle: Leistung gesichert?	-	ja	ja	ja
Hitzewelle: Leistung gesichert?	-	ja	ja	ja
Import ohne Kernbrennstoffe (Anteil)	PJ (%)	182 (45%)	23 (5%)	124 (29%)
Import mit Kernbrennstoffen (Anteil)	PJ (%)	347 (85%)	187 (43%)	289 (67%)

„Kleine“ WKK-Anlagen

- Verbrennungs- und Gasmotor (BHKW)
- ORC-Anlage
- Dampfkolben- und Dampfschraubemotor
- Mikrogasturbine
- Stirling-Motor
- Brennstoffzellen



Technologie	Leistung	Wirkungsgrad		Stromkennzahl	Max. Vorlauf-temperatur
		Gesamt	Elektrisch		
Heutige Systeme					
Gas-Ottomotor BHKW	<50 kWe	80 – 90 %	23 – 30 %	ca. 0,35	ca. 90 °C
	500 kWe		30 – 34 %	0,5 - 0,6	
	500 - 2000 kWe		32 – 37 %	0,6 - 0,7	
Diesel BHKW	50 – 500 kWe	80 – 90 %	35 – 40 %	11,75 - 11,8	ca. 50 °C 90-180 °C
	2 – 10 MWe		ca 42 %	0,92 - 0,95	
Gasturbinen HKW	1 – 3 MWe	80 – 85 %	20 – 23 %	0,5 - 0,6 0,6 - 1,0	100-450 °C
	3 – 10 MWe		25 – 30 %		
	10 – 100 MWe		ca. 33 %		
Neue Systeme					
Stirling-Motor BHKW	10 kWe	ca. 85 %	30 – 35 %	0,55 - 0,7	ca. 90 °C
Phosphorsäure-Brennstoffzelle	0,2 – 1 MWe	ca. 85 %	40 – 45 %	0,9 - 1,3	ca. 150 °C

Investitionskosten WKK-Technologien

- Bandbreite sehr gross:
 - GuD: 790 CHF/kW_{el}
 - BM: 9'500 CHF/kW_{el}
- Manche Technologien noch nicht verfügbar (BZ, Stirling)
- Skaleneffekte
- Lernkurveneffekte
- für Gesamtbetrachtung: fixe, var. Betriebskosten, Brennstoffkosten, CO₂

