



Veranstaltungsreihe Klimaschutz in Waiblingen

19. April 2011, Waiblingen

Wasserkraft, Windenergie, Geothermie und feste Biomasse – Status, Potenziale, Entwicklungsziele und Wege der Umsetzung

Dipl.-Wirt.-Ing. Maike Schmidt

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung
Baden-Württemberg (ZSW)



Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg - über 20 Jahre Forschung und Technologietransfer



- ▶ Photovoltaik – Dünnschichttechnologien
- ▶ Photovoltaik – Systemtechnik
- ▶ Brennstoffzellen- und Wasserstoff-Technologie
- ▶ Elektrochemische Speicher- und Materialentwicklung
- ▶ Regenerative Kraftstoffe und Reformierung
- ▶ Systemanalyse und Politikberatung



ca. 25 Mio. € Umsatz, 180 Beschäftigte (+100 Studierende)

www.zsw-bw.de



Stuttgart



Widderstall



Ulm

Zieldreieck der Energiepolitik



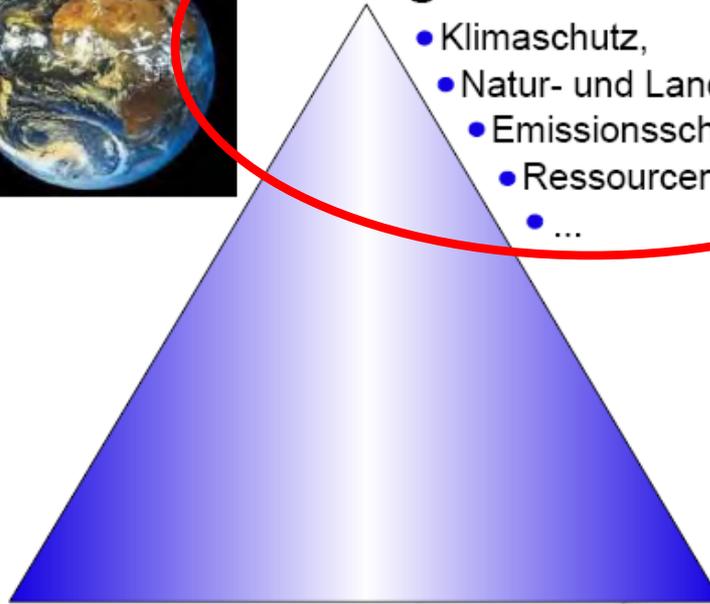
Ökologie

- Klimaschutz,
- Natur- und Landschaftsschutz,
- Emissionsschutz,
- Ressourcenschonung,
- ...



Versorgungssicherheit

- Ressourcenverfügbarkeit,
- Lieferabhängigkeiten vom Ausland,
- Versorgungszuverlässigkeit,
- Versorgungsqualität
- ...



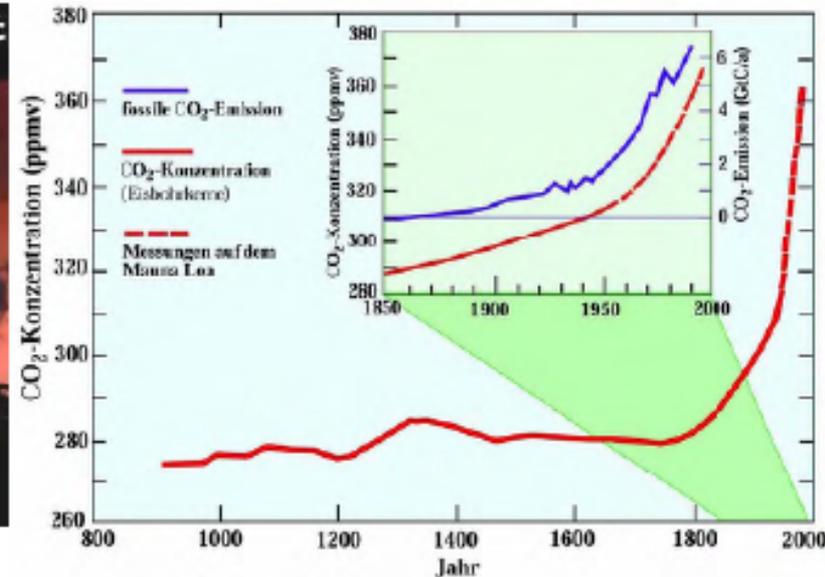
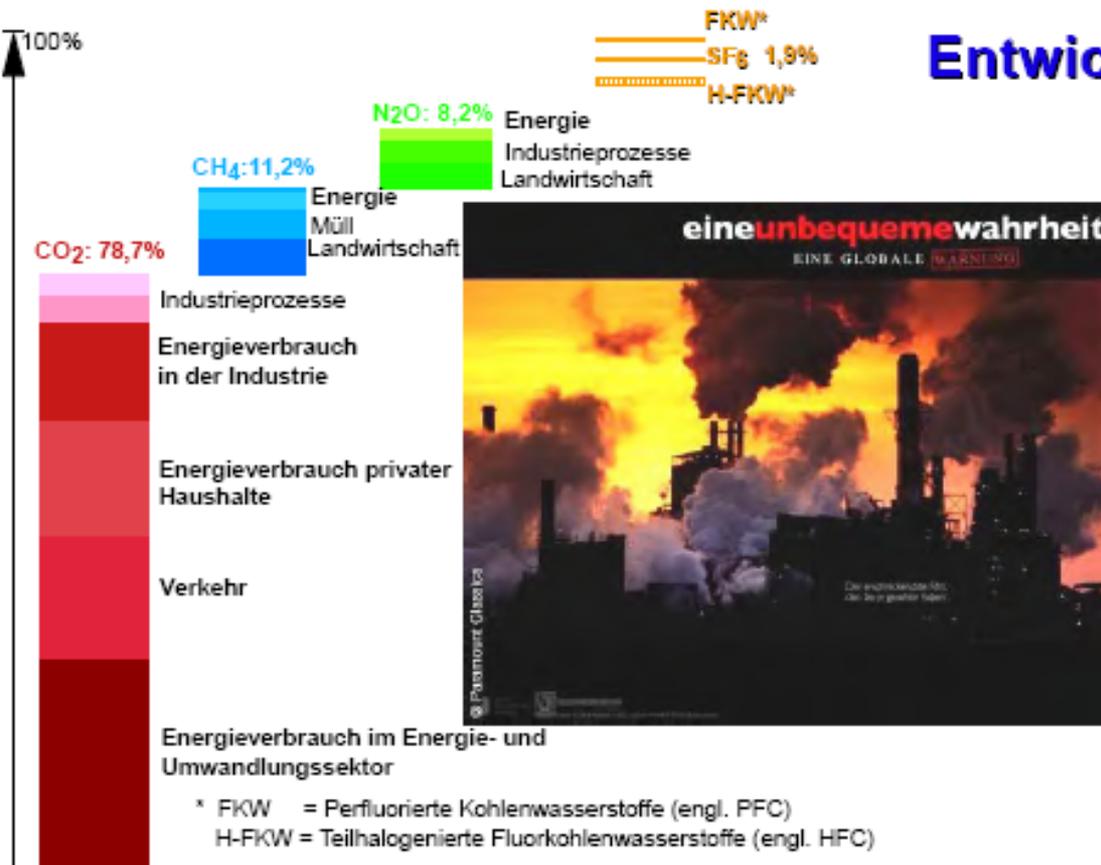
Ökonomie

- Energiepreise,
- Preisstabilität,
- Verteilungsgerechtigkeit,
- Innovations- und Industriepolitik
- ...



Verursacher von Treibhausgasemissionen und ...

Entwicklung der CO₂-Konzentration

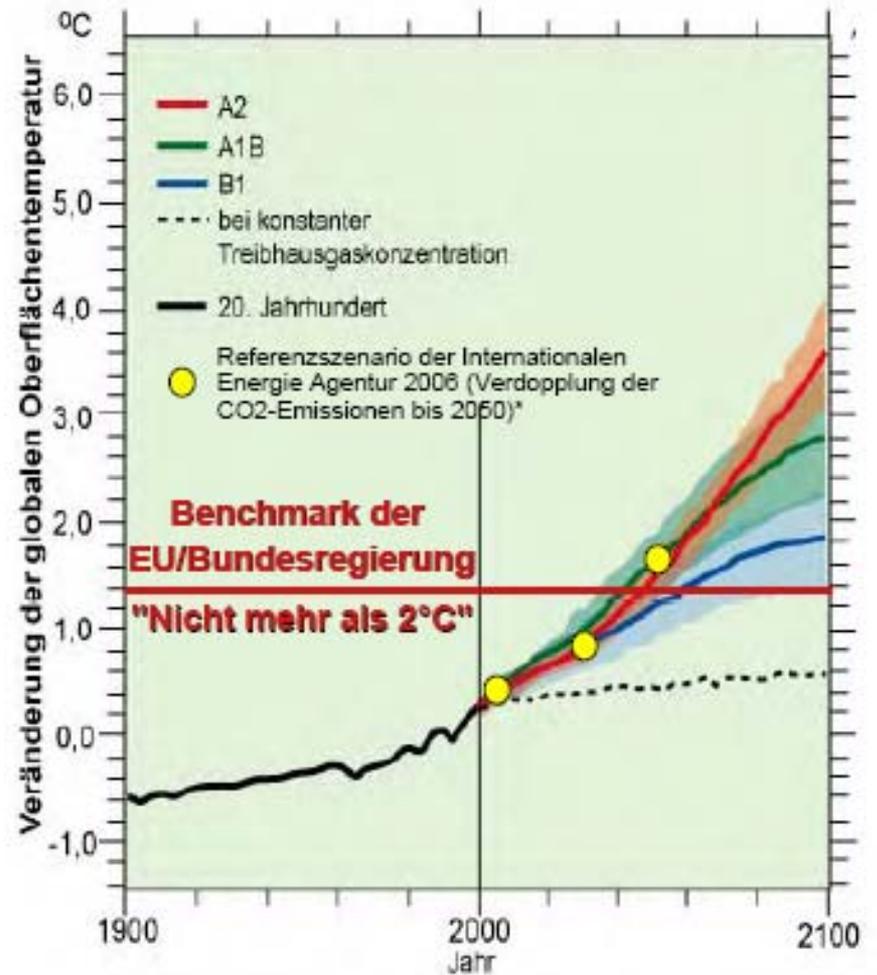
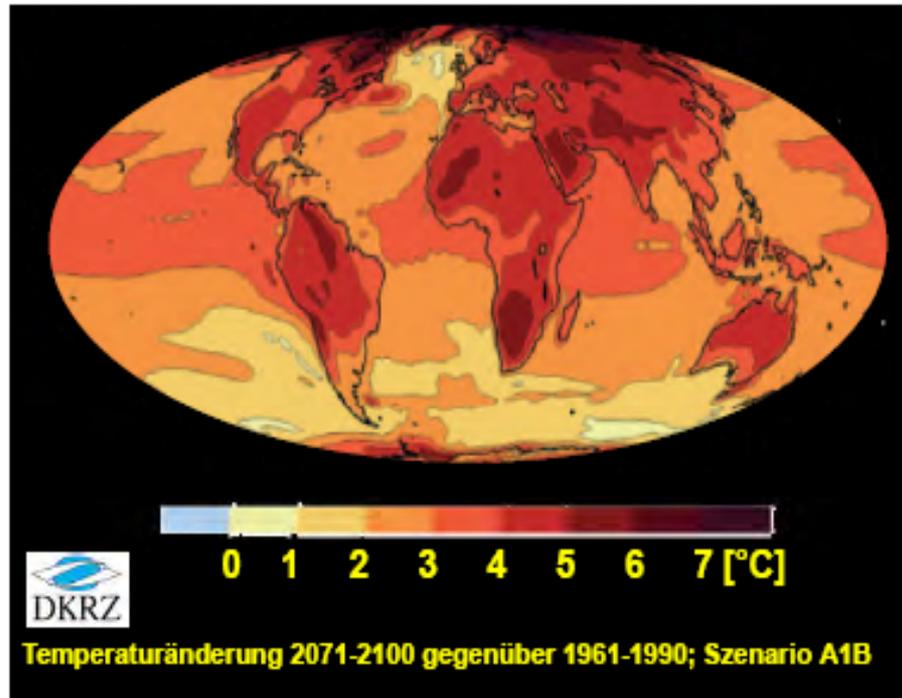


Hauptproblem: Die mittlere Verweilzeit von CO₂ in der Atmosphäre beträgt 120 Jahre.

Quelle: Europäische Kommission. Deutscher Bildungsserver nach IPCC

Möglicher Temperaturanstieg bis 2100 -

Szenarien des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2007



* Eintragung entsprechend vergleichbarer CO₂-Emissionen

Zieldreieck der Energiepolitik



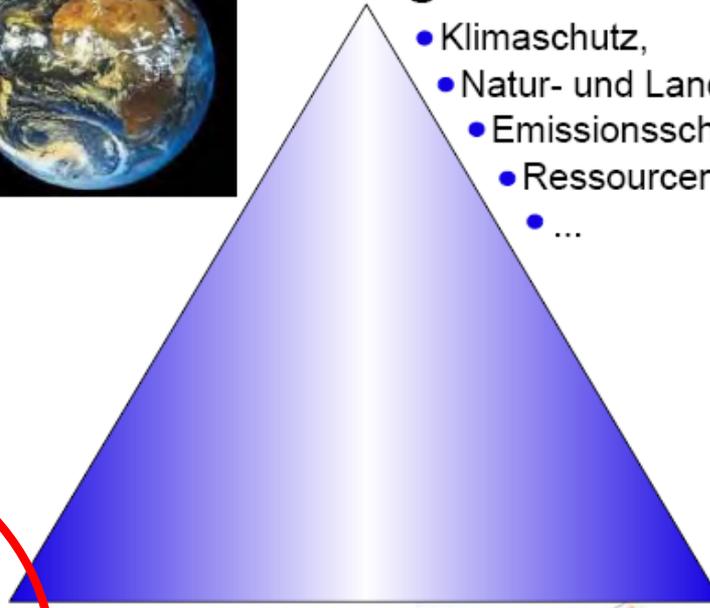
Ökologie

- Klimaschutz,
- Natur- und Landschaftsschutz,
- Emissionsschutz,
- Ressourcenschonung,
- ...



Versorgungssicherheit

- Ressourcenverfügbarkeit,
- Lieferabhängigkeiten vom Ausland,
- Versorgungszuverlässigkeit,
- Versorgungsqualität
- ...



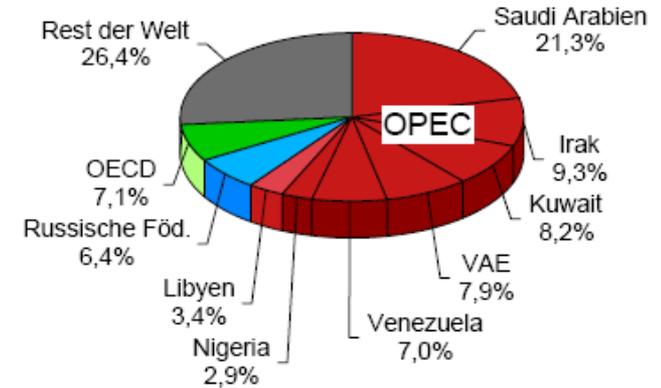
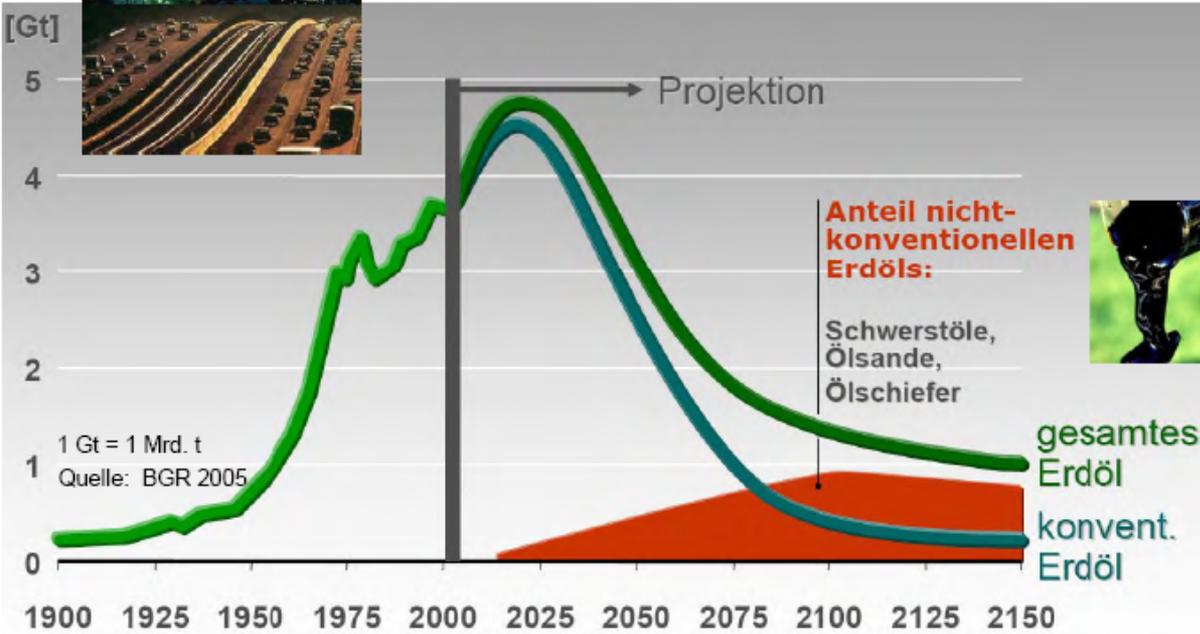
Ökonomie

- Energiepreise,
- Preisstabilität,
- Verteilungsgerechtigkeit,
- Innovations- und Industriepolitik
- ...



"Peak Oil" ist morgen - Welt einschließlich OPEC

Erwartete Reichweite von Erdöl und geographische Verteilung



(insgesamt: 1.238 Mrd. barrel)

nachrichtlich: Die Reserven kanadischer Ölsände beträgt 0,152 Mrd. barrel

Quelle: BP, statistical review of world energy

➔ Das Verhältnis von Reserven und gegenwärtiger(!) Förderung beträgt 41 Jahre

➔ Die Menge der Neufunde liegt weltweit seit 1986 unter der jährlichen Ölfördermenge.

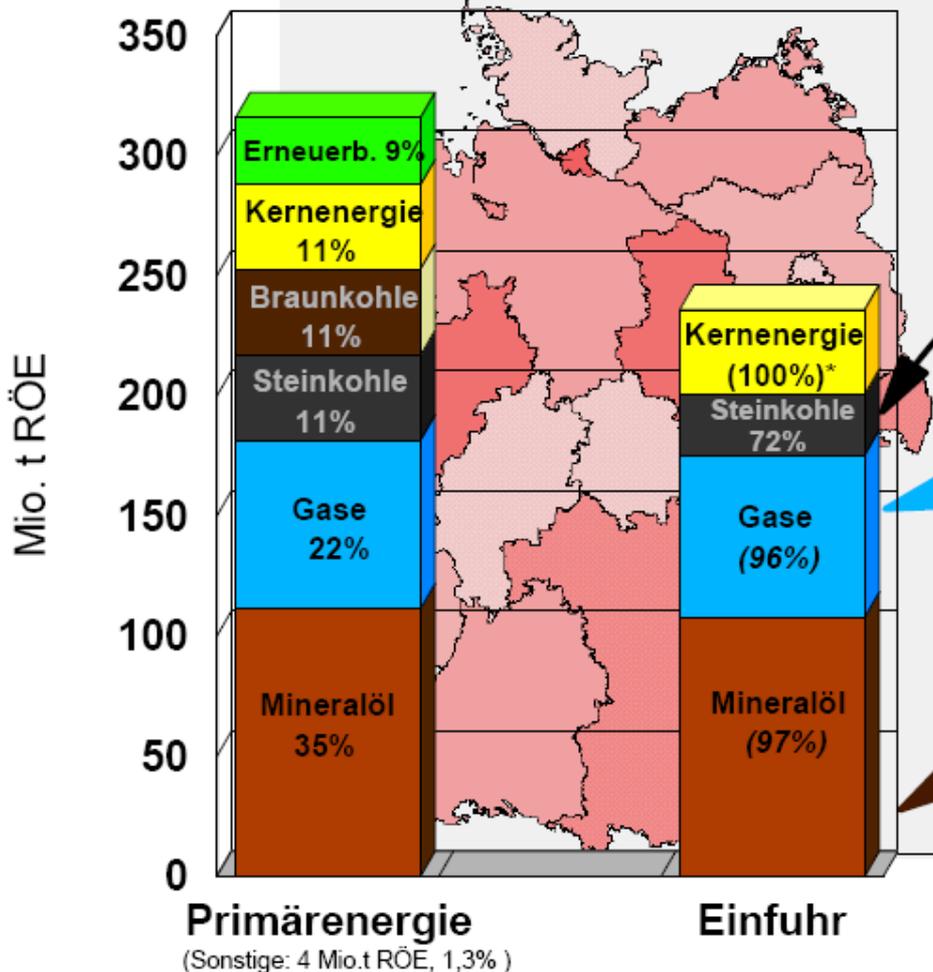
Quelle: Energy Watch Group



Was wäre, wenn jeder zweite Chinese ein Auto hätte? ⇒ **Dafür würden fast die gesamten Rohölexporte aus dem Nahen Osten benötigt!!!**

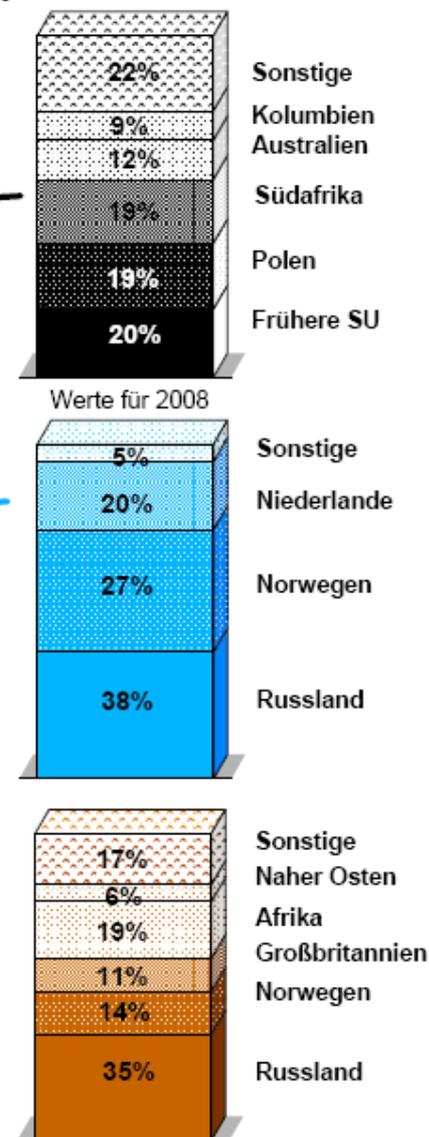
Primärenergieverbrauch in Deutschland 2009

(gesamt 13.400 PJ = 320 Mio. t Rohöleinheiten)



➔ Der Importanteil beträgt insgesamt 63%-74 %, je nach Bilanzierung der Kernenergie

Importstruktur 2009



nur Rohöl: Lieferungen aus OPEC-Ländern:
1973: 96%, 2009: 19.5%

Quelle: nach BMWi 2010

Zieldreieck der Energiepolitik



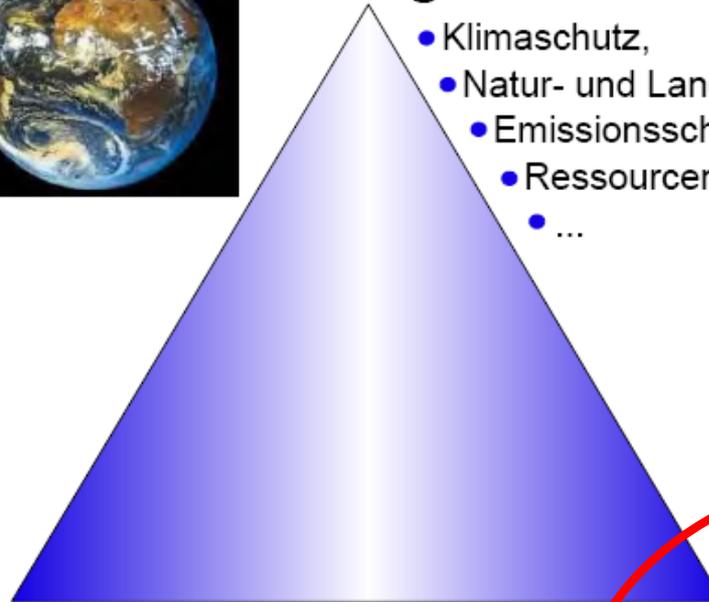
Ökologie

- Klimaschutz,
- Natur- und Landschaftsschutz,
- Emissionsschutz,
- Ressourcenschonung,
- ...



Versorgungssicherheit

- Ressourcenverfügbarkeit,
- Lieferabhängigkeiten vom Ausland,
- Versorgungszuverlässigkeit,
- Versorgungsqualität
- ...



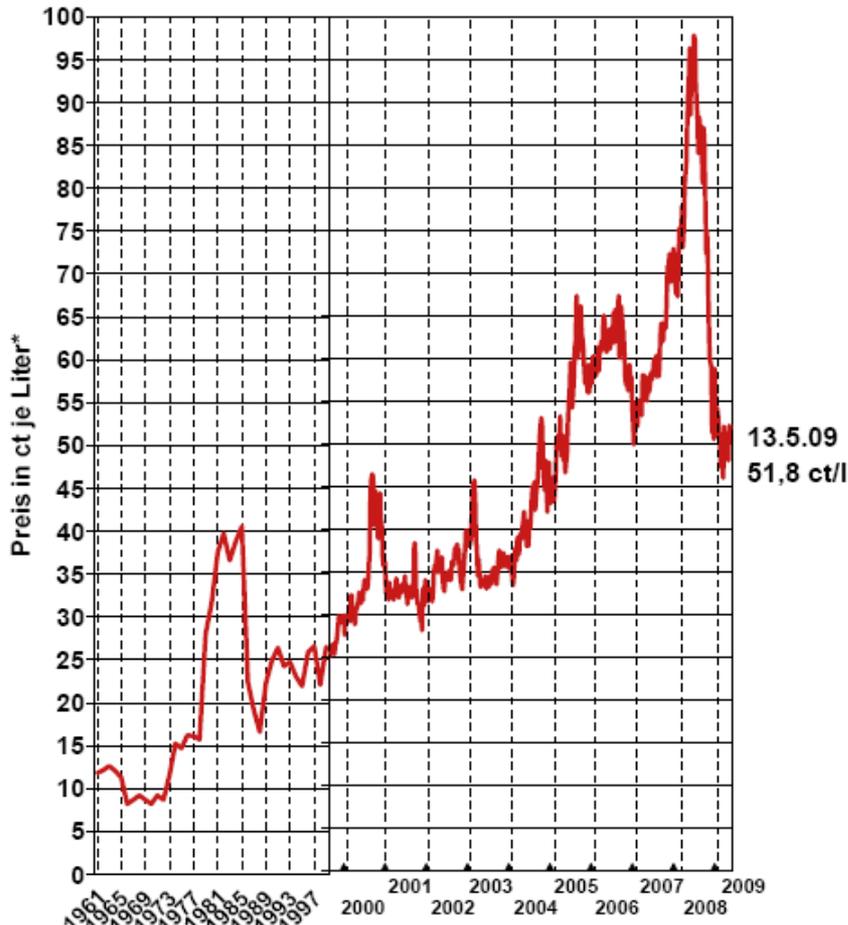
Ökonomie

- Energiepreise,
- Preisstabilität,
- Verteilungsgerechtigkeit,
- Innovations- und Industriepolitik
- ...



Energiepreisanstieg und (k)ein Ende in Sicht?

Entwicklung der Heizölpreise ...



* bei Abnahme von 5000 Litern, ab 1992 bei Abnahme von 3000 Litern, einschl. MwSt

Quellen: Statistisches Bundesamt, TECSON

nachrichtlich Rohölpreis: 2003: 25 US\$/b, 1. Halbjahr 2008 >100 US\$/b

... der Kosten von Energieimporten ...

(Salden in Mrd. €)

| | 2003 | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Mineralöl | 23,1 | 25,8 | 38,4 | 45,0 | 41,0 | 55,6 |
| Erdgas | 9,2 | 9,4 | 12,4 | 17,7 | 15,1 | 21,2 |
| Kohle | 1,5 | 3,0 | 3,1 | 3,3 | 3,6 | 5,3 |
| Uran | 0,2 | 0,1 | 0,3 | 0,5 | 0,5 | 0,6 |
| gesamt | 34,0 | 38,3 | 53,2 | 66,7 | 60,2 | 82,7 |

Quelle: Schiffer

Innerhalb von 4 Jahren hat sich die Energieimportrechnung mehr als verdoppelt.

Dieser Betrag steht für die inländische Wertschöpfung (zunächst) nicht mehr zur Verfügung.

Steigen die Ölpreise relativ kurzfristig aber nachhaltig um z.B. 10% , reduziert sich das Bruttoinlandsprodukt über 2 Jahre um jeweils etwa 0,1 Prozentpunkte

(Herbstgutachten der Wirtschaftsforschungsinstitute 2004)

Zieldreieck der Energiepolitik



Ökologie

- Klimaschutz,
- Natur- und Landschaftsschutz,
- Emissionsschutz,
- Ressourcenschonung,
- ...



Versorgungssicherheit

- Ressourcenverfügbarkeit,
- Lieferabhängigkeiten vom Ausland,
- Versorgungszuverlässigkeit,
- Versorgungsqualität
- ...



Ökonomie

- Energiepreise,
- Preisstabilität,
- Verteilungsgerechtigkeit,
- Innovations- und Industriepolitik
- ...

„Ambitioniert“

EU-Ausbauziele für Erneuerbare Energien 2020



EU-Gipfel März 2007

"**Der Europäische Rat** ... ist überzeugt, dass es von äußerster Wichtigkeit ist, der Industrie, den Investoren, den Innovatoren und den Forschern ein deutliches Signal zu geben... Daher billigt er ... ein verbindliches Ziel ... von **20 % für den Anteil erneuerbarer Energien** am Gesamtenergieverbrauch..." (2006: 8,3 %*)

*Anteil am Endenergieverbrauch der EU-27

Ausbauziele der Bundesregierung

Integriertes Energie- und Klimaprogramm vom
5.12.2007

Nationaler Aktionsplan für erneuerbare
Energien vom 04.08.2010

Steigerung des Anteils Erneuerbarer Energien bis 2020 im Vergleich zu 2010 am

Stromverbrauch: von **16,8 %** auf 35 % ➔ **38,6 %**

Wärmebedarf: von **9,8 %** auf 14 % ➔ **15,5 %**

Kraftstoffverbrauch: von **5,8 %** auf 17 % ➔ **13,2 %**

➔ rd. ein Drittel der geplanten CO₂-Reduktion bis 2020 durch Erneuerbare Energien



Foto: bundesregierung.de

... und Baden-Württemberg?

Energiekonzept 2020 vom 27.07.2009

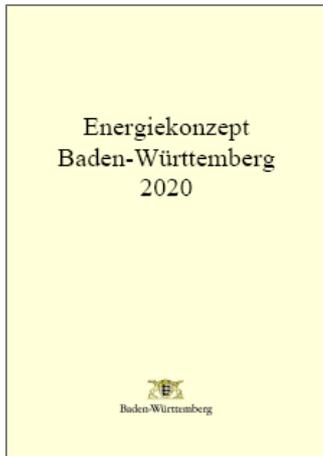
Steigerung des Anteils Erneuerbarer Energien bis 2020

Stromerzeugung (2009: 15,5 %) auf 20 %

Wärmebereitstellung (2009: 9,8 %) auf 16 %

Kraftstoffverbrauch analog zur Bundesebene

Primärenergie (2009: 9,3 %) auf 13%



Klimaschutzkonzept 2020 plus vom 17.02.2011

Strom-Einsparpotenzial bei konsequenter Umsetzung der Maßnahmen aus dem Klimaschutzkonzept 2020PLUS:

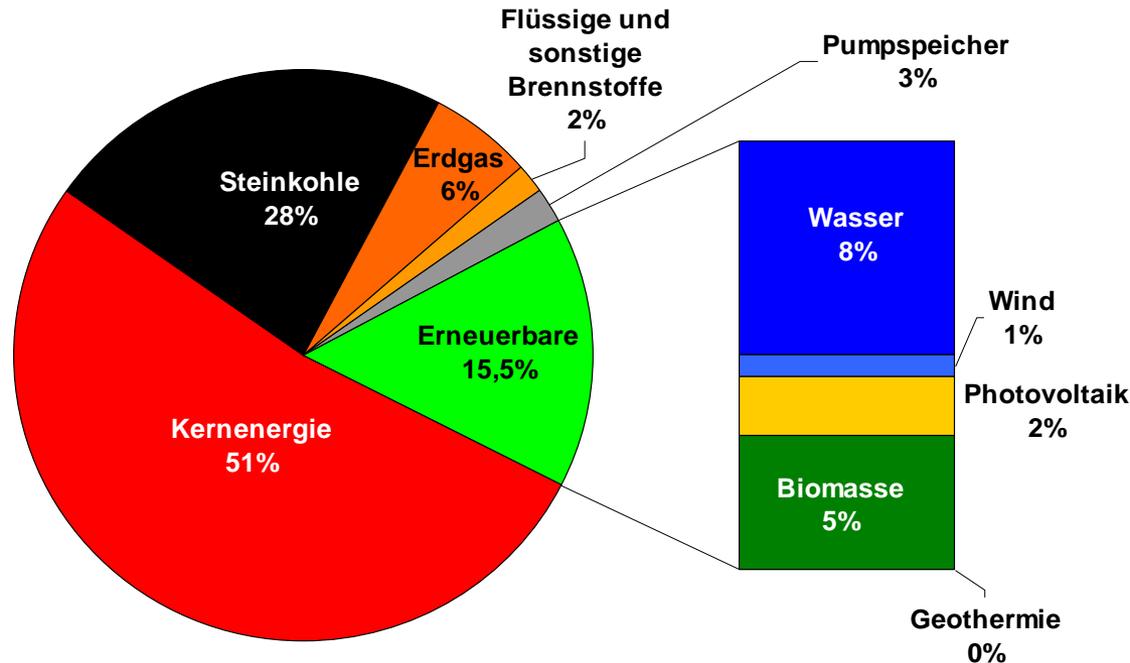
- Industrie & GHD: **5 – 6 TWh/a**
- Private Haushalte: **ca. 3 TWh/a**

Bis 2050 soll die Stromerzeugung zu 100% mit Erneuerbaren Energien erfolgen.

Stromversorgung in Baden-Württemberg –

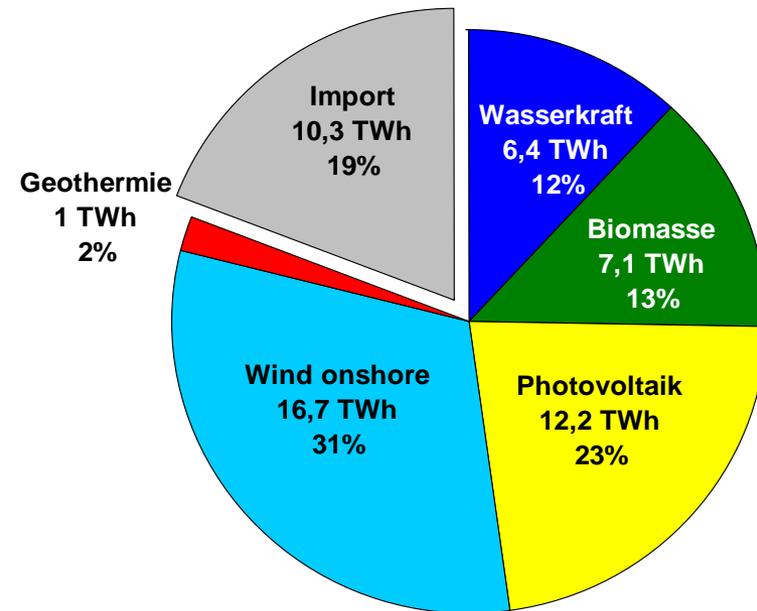
Status 2009

65,7 TWh Erzeugung + 12,5 TWh Import



Vision 2050: 100% EE mit Import

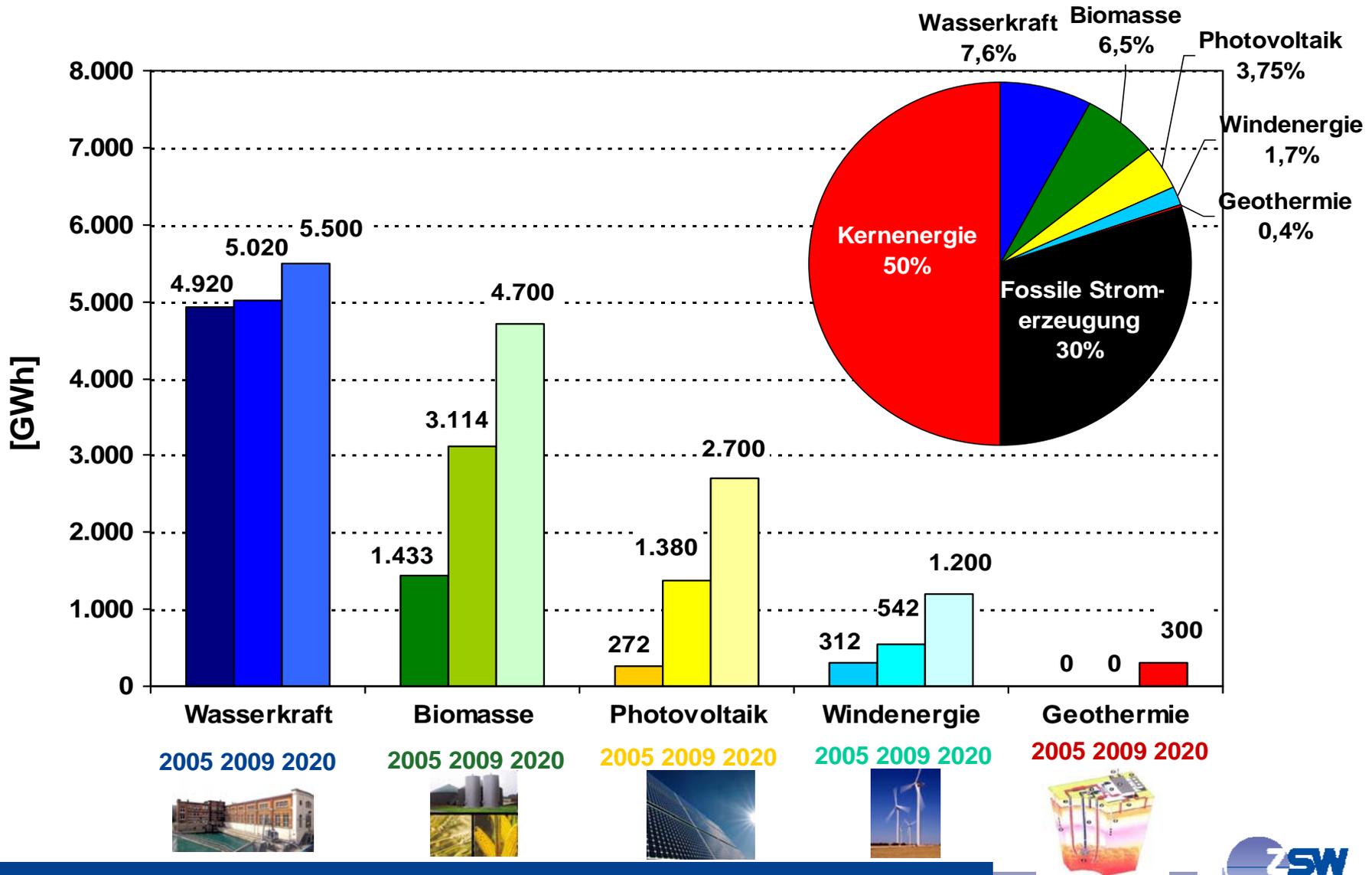
43,4 TWh Erzeugung + 10,3 TWh Import



Quellen: Statistisches Landesamt, ZSW: Erneuerbare Energien in Baden-Württemberg 2009, Klimaschutzkonzept 2020 plus.

- ➔ Potenziell können die Erneuerbaren Energien die Strombereitstellung in Baden-Württemberg 2050 auch ohne Import allein bestreiten.
- ➔ Voraussetzung hierfür sind
 - ⇒ die konsequente Umsetzung von Energieeffizienz- und Energieeinsparmaßnahmen
 - ⇒ der Netzausbau, intelligente Netze sowie der Einsatz von Speichertechnologien

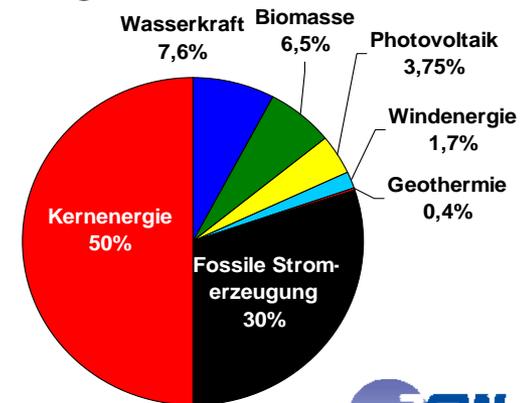
Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien – Ziele für Baden-Württemberg gemäß Energiekonzept 2020



Die Welt nach dem 11.3.2011



- ⇒ Angela Merkel (12.03.2011): “Die Geschehnisse in Japan sind ein Einschnitt für die Welt. (...) Auch Deutschland kann nicht einfach zur Tagesordnung übergehen.”
- ⇒ Angela Merkel (23.03.2011): „Je schneller der Ausstieg möglich ist, umso besser. Aber es muss ein Ausstieg mit Augenmaß sein.“
- ⇒ „Restrisiko“ hat eine völlig neue Bedeutung!
- ⇒ Die Zielsetzungen des Energiekonzepts 2020 (50% der Stromerzeugung aus Kernenergie) sind neu zu bewerten!





Stromerzeugung: Kraftwerkspark der Zukunft

Kernenergie:

Nach Fukushima erfolgt der Ausstieg eventuell schon bis 2020.



Steinkohle:

Klimaschutz und zunehmende Flexibilitätsanforderungen an den fossilen Kraftwerkspark machen Kraftwerksneubauten zunehmend unwirtschaftlich. Steigende Zertifikatspreise wirken negativ auf die Rentabilität.



Erdgas:

Gerade bei einem beschleunigten Ausstieg aus der Kernenergie sind Neubauten/Modernisierungen in größerem Umfang erforderlich, um die Versorgungssicherheit zu sichern. Die potenzielle Nutzung von aus erneuerbarem Strom erzeugtem Erdgassubstitut eröffnet die Möglichkeit des langfristigen und CO₂-neutralen Betriebs.



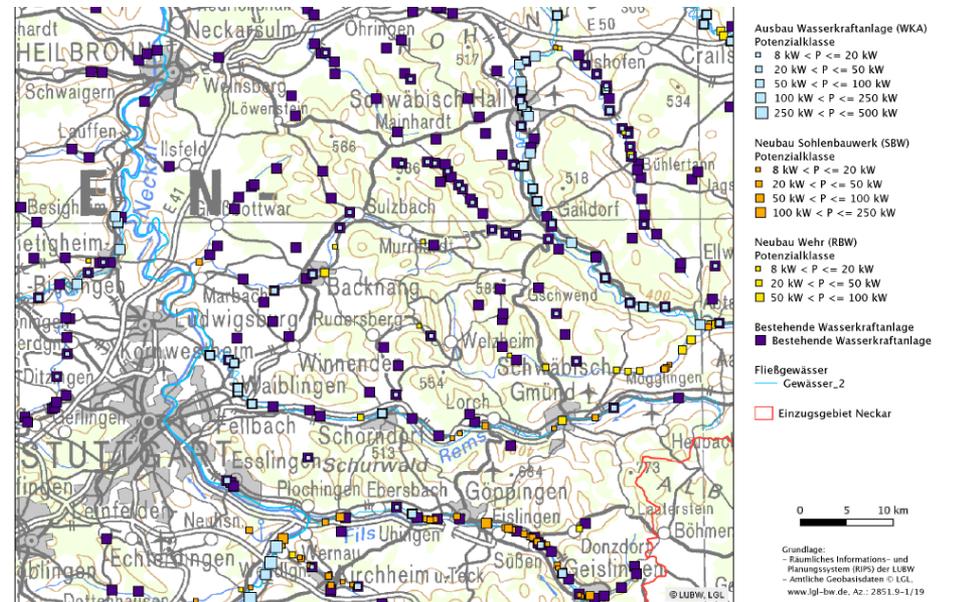
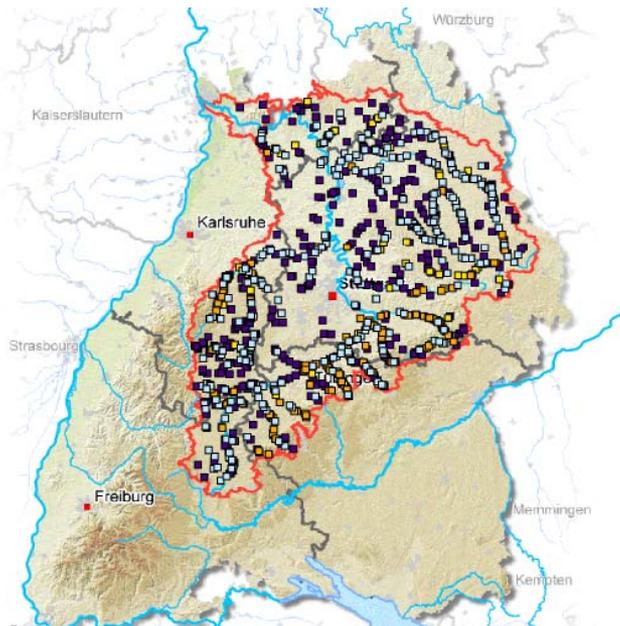
Flüssige Brennstoffe:

Werden auch in Zukunft kaum eine Rolle spielen.



Kraftwerkspark der Zukunft – Wasserkraft

- ➔ Strom aus Wasserkraft ist grundlastfähig, aber nur eingeschränkt regelbar.
- ➔ Über Modernisierungs-, Erweiterungs- und teilweise Neubaumaßnahmen ist eine Steigerung der Wasserkrafterzeugung von 5,02 TWh (2009) auf 5,5 TWh (2020) möglich.
- ➔ Diese Ziel wird schon im Energiekonzept 2020 angestrebt. Es kurzfristig zu übertreffen ist weder mit gewässerökologischen noch mit ökonomischen Interessen vereinbar. Langfristig (bis 2050) sind bei maximalem Ausbaugrad 6,4 TWh aus Wasserkraft zu erzeugen.
- ➔ Die Potenziale des Rheins sind schon heute weitgehend erschlossen, Kleinanlagen an Neckar, Donau und Jagst sind möglich. Im Neckareinzugsgebiet allein könnten rund 120 GWh zusätzlich bereitgestellt werden.

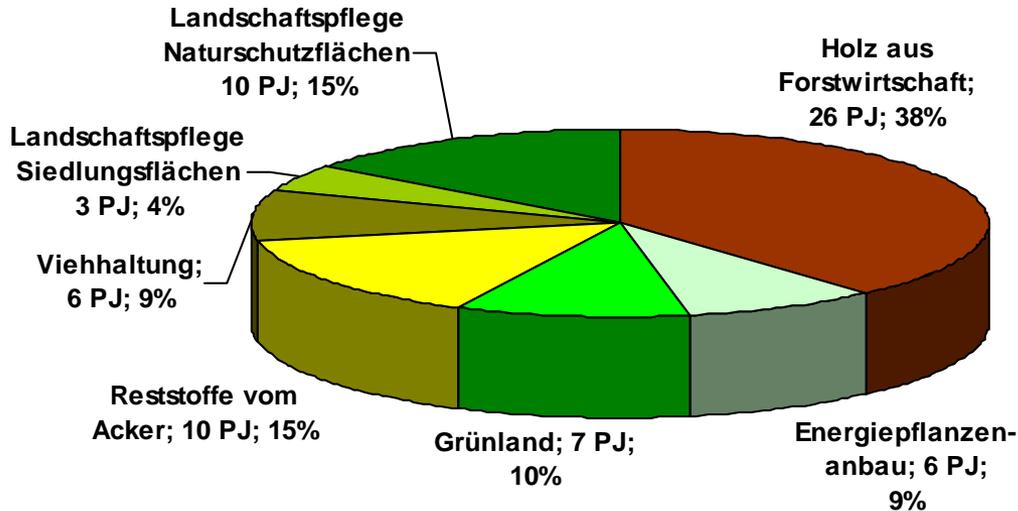


Quelle: Heimerl, Dußling, Reiss (2010); Ausbaupotenzial der Wasserkraft bis 1.000 kW im Einzugsgebiet des Neckars unter Berücksichtigung ökologischer



Kraftwerkspark der Zukunft – Biomasse

Nachhaltig und wirtschaftlich nutzbare Primärenergie-Potenziale aus Land- u. Forstwirtschaft sowie Landschaftspflege 68 PJ (18.889 GWh)



Plus 20 PJ (5.556 GWh) aus anderen biogenen Quellen (biogene Flüssigbrennstoffe, biogener Anteil des Abfalls, Klär- und Deponiegas etc.)

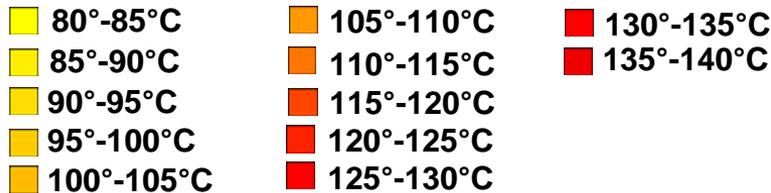
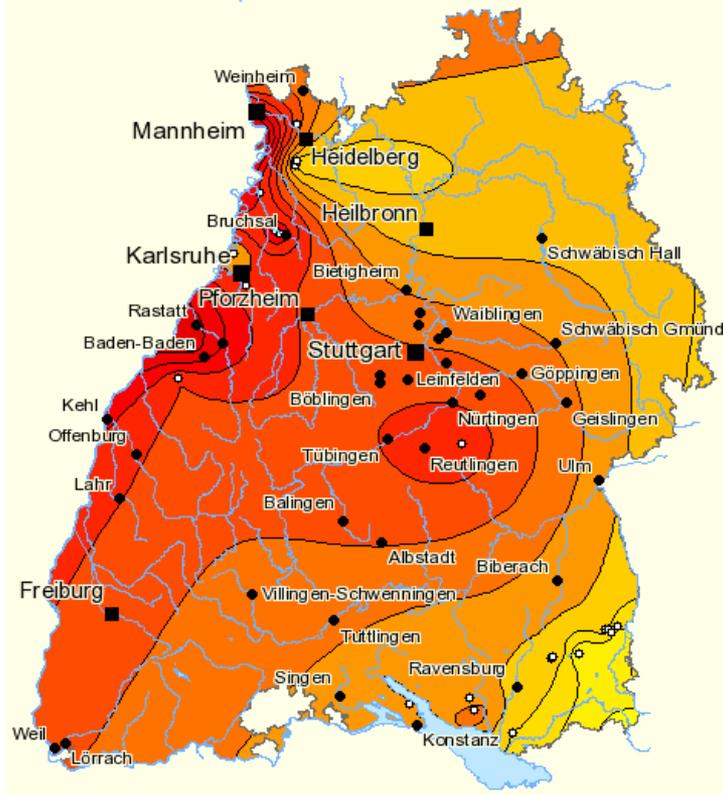
Quelle: Nachhaltigkeitsbeirat der Landesregierung Baden-Württemberg (NBBW) (2008)

- ➔ **Steigerung der Stromerzeugung aus Biomasse (fest, flüssig und gasförmig inkl. biogener Anteil des Abfalls, Deponie- und Klärgas) von 3,1 TWh (2009) auf 4,7 TWh (2020). Dieses Ziel des Energiekonzepts 2020 bezieht die Ausschöpfung des nachhaltig bereitstehenden Potenzials bereits ein.**
- ➔ **Langfristig können ggf. größere Anteile für die Stromerzeugung mobilisiert werden, wenn es Nutzungsänderungen im Wärmebereich gibt. (KlimSchK: 7,1 TWh in 2050)**
- ➔ **Die Nutzung muss so effizient wie möglich erfolgen! Die Stromerzeugung muss zum Großteil in Kraft-Wärme-Kopplung erfolgen.**
- ➔ **Die Neuanlagen müssen schon heute so konzipiert sein, dass sie bedarfsabhängig einspeisen können, d.h. zukünftig im Lastfolgebetrieb einsetzbar sind. (größere Gas- und Wärmespeicher, ggf. zweites BHKW)**



Kraftwerkspark der Zukunft – Tiefengeothermie

Temperaturverteilung in 2.500 m Tiefe



- ➔ 50 von 151 bundesweit erteilten Aufsuchungs-erlaubnissen und Bewilligungen von Konzessions-gebieten sind in Baden-Württemberg.
- ➔ Geothermische Stromerzeugung ist nur bei prioritärer (Ab)wärmenutzung über Nah- und Fernwärmenetze sinnvoll.
- ➔ Forschung und Entwicklung ist insbesondere für das Hot-Dry-Rock-Verfahren zwingend erforderlich.
- ➔ Unterstützt durch die technologische Weiterentwicklung soll die Stromerzeugung von **0 TWh** (2009) auf **0,3 TWh** (2020) ansteigen.
- ➔ Das technisch mögliche Potenzial bis max. 6 TWh wird hauptsächlich aufgrund fehlender Wärmesenken nicht ausgeschöpft.

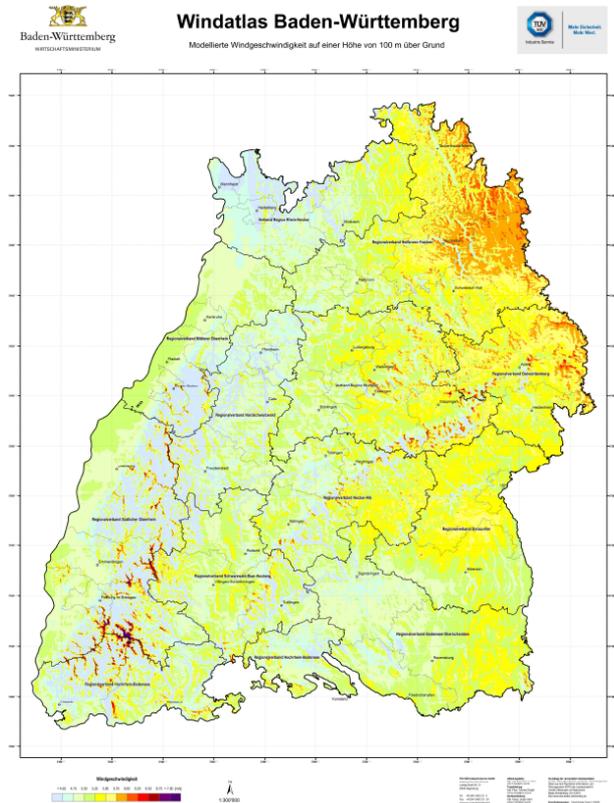
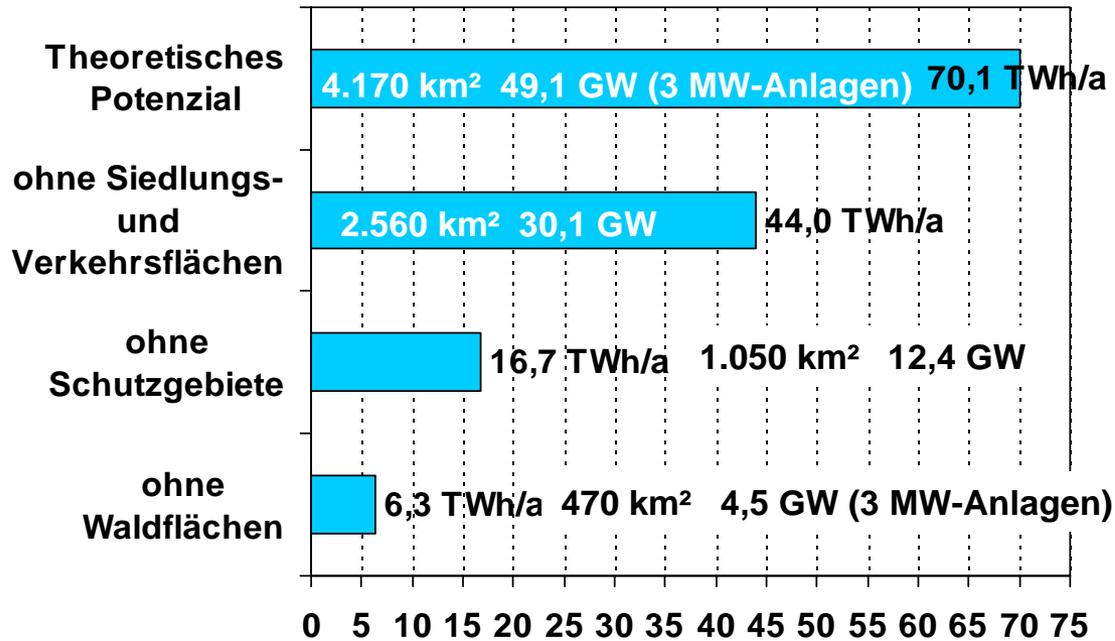
Aufgrund der zu beobachtenden Entwicklung im Bereich der tiefengeothermischen Stromerzeugung ist das Erreichen des Ziels für 2020 eher unwahrscheinlich. Eine deutliche Steigerung ist nahezu ausgeschlossen.

Quelle: Regierungspräsidium Freiburg LGRB



Kraftwerkspark der Zukunft – Windenergie

- ➔ Bislang sieht das Energiekonzept 2020 eine Steigerung der Stromerzeugung aus Windenergie von **0,54 TWh** (2009) auf **1,2 TWh** (2020) vor.
- ➔ Erweiterung auf **10% der Stromerzeugung** bis 2020 ist in der Diskussion!
- ➔ Je nach Ausgestaltung bzw. Höhe der Stromerzeugung in 2020 bedeutet dies bis zu **7,2 TWh** in 2020!
- ➔ Potenziell stellt dies **kein** Problem dar!

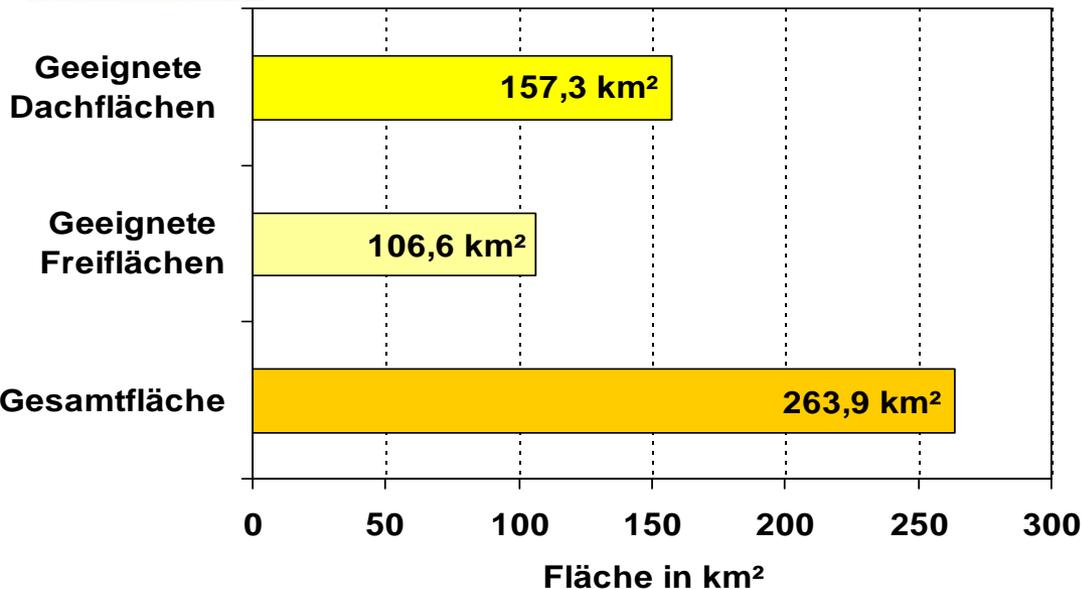


Quelle: TÜV-Süd (2011), Windatlas Baden-Württemberg





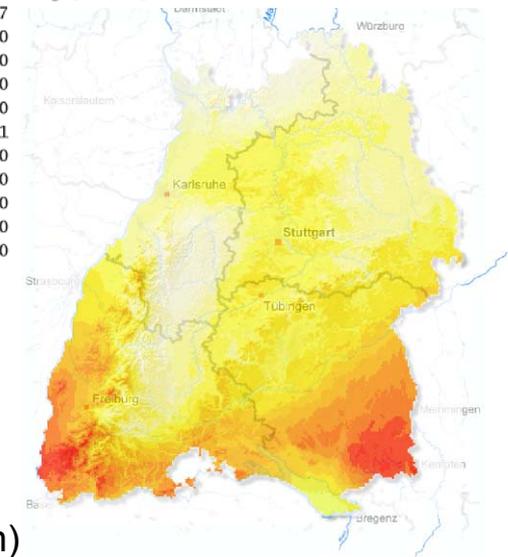
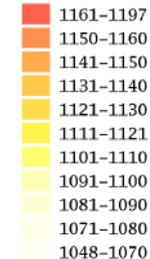
Kraftwerkspark der Zukunft – Photovoltaik



➔ Als geeignet werden Dachflächen mit bis zu 180° Südabweichung eingestuft, d.h. auch Dächer mit Ost- oder Westorientierung werden miteinbezogen.

➔ Als geeignet werden Freiflächen eingestuft, die aufgrund ihrer geografischen Lage und Beschaffenheit für die Nutzung von solarer Strahlungsenergie in Frage kommen.

Solare Einstrahlung
mittlere jährliche
Sonneneinstrahlung [kWh/m²]



Photovoltaik versus Solarthermie? Welche Fläche für welche Technologie?

➔ Photovoltaik hat heute auf dem Dach eindeutige Kostenvorteile gegenüber der Solarthermie. Solarthermie wird sich zukünftig vermutlich nur in Großanlagen (solare Nahwärme) ökonomisch nutzen lassen.

➔ **Theoretisches Potenzial** zur Stromerzeugung bei $\eta = 20\%$ auf 185 km² (**70%** der Eignungsfläche) = **40,7 TWh/a** (davon 24,2 TWh auf Dächern und 16,5 TWh auf Freiflächen)

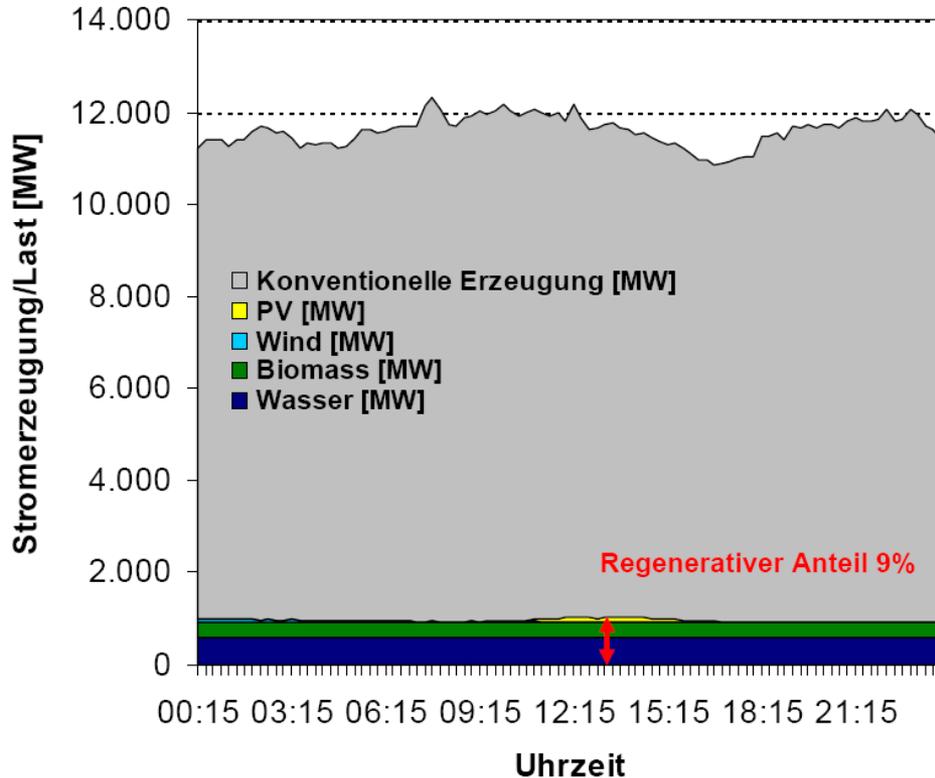
➔ **Theoretisches Potenzial** zur Stromerzeugung bei $\eta = 20\%$ auf 263,9 km² = **58 TWh/a** (Gesamte Eignungsfläche)



Kraftwerkspark der Zukunft – Herausforderung der fluktuierenden Einspeisung

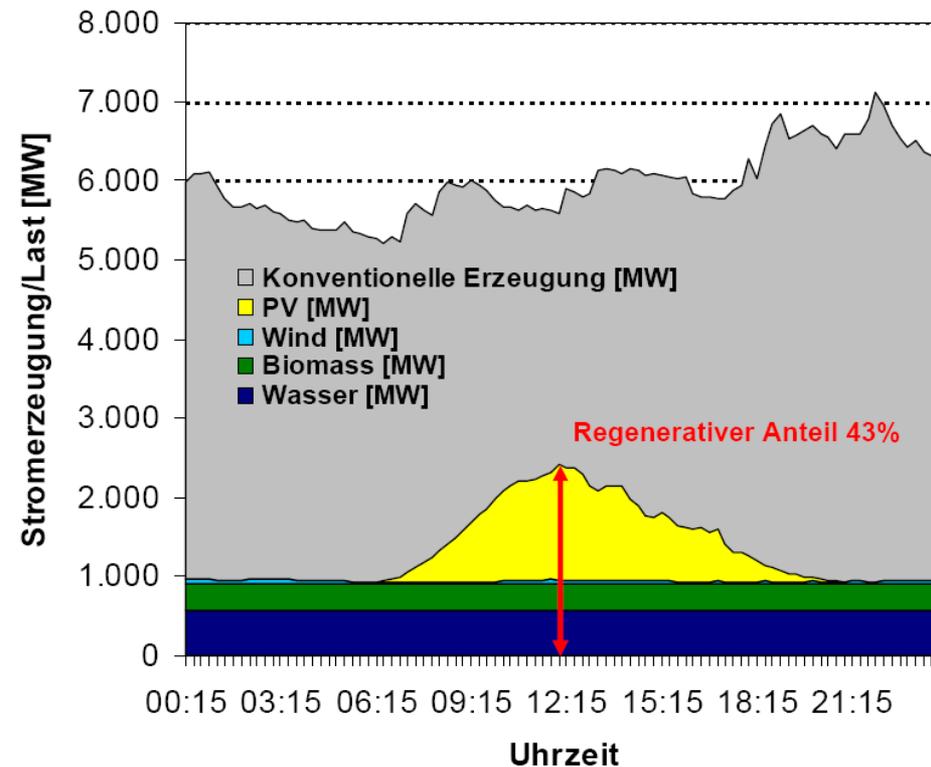
26.01.2011 (Mittwoch)

Tag mit extrem *niedrigem* Anteil erneuerbarer Stromerzeugung



25.07.2010 (Sonntag)

Tag mit extrem *hohem* Anteil erneuerbarer Stromerzeugung



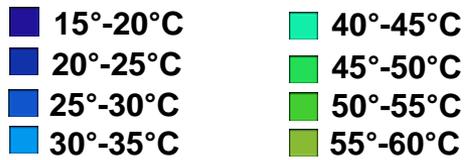
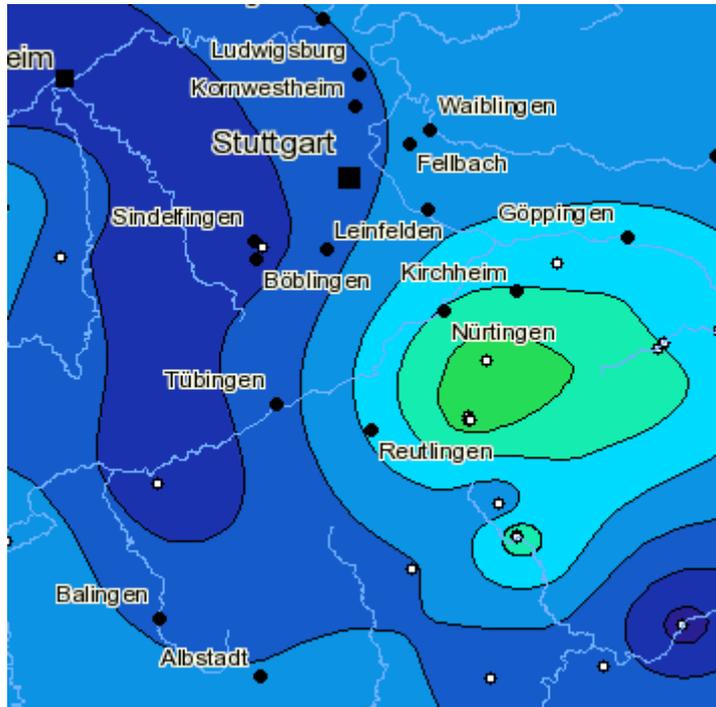
Annahme für beide Tage: Bandstromerzeugung aus Biomasse und Wasserkraft (gesamt 910 MW)



Wärmeerzeugung der Zukunft – Oberflächennahe Geothermie



Temperaturverteilung in 300 m Tiefe



Quelle: Regierungspräsidium Freiburg LGRB

- ➔ Bisherige Nutzung der oberflächennahen Geothermie im Rems-Murr-Kreis:
729 Erdwärmesonden (Stand 2010)
- ➔ Relativ günstige Temperaturverhältnisse
- ➔ Hohe Jahresarbeitszahlen sind anzustreben (> 3,5), um nicht mit Strom zu heizen.
- ➔ Der Strom für den Betrieb der Wärmepumpe sollte vorzugsweise aus Erneuerbaren Energien stammen.
- ➔ Möglichkeit der Kombination mit dem Strom aus Photovoltaikanlagen.
- ➔ Möglichkeit der Kombination mit solarthermischen Anlagen
- ➔ Potenziell im Rahmen von Lastmanagement einsetzbar, was zur Netzentlastung und – Stabilisierung beitragen kann.