

Energiewende in Deutschland – Forschung und Meilensteine



Hermann-Josef Wagner

Lehrstuhl Energiesysteme und Energiewirtschaft
Ruhr-Universität Bochum

www.lee.rub.de

Energie- und Umweltpolitik über Jahrzehnte

Energieforschungsprogramme des Bundes

Themen der Zukunft

Aktuelle Forschungsarbeiten (UPSW und GW-Ruhr)

Einige Energiethemen „in meinem bisherigen Leben“

Worüber ich sprechen möchte

Energie- und Umweltpolitik über Jahrzehnte

Energieforschungsprogramme des Bundes

Themen der Zukunft

Aktuelle Forschungsarbeiten (UPSW und GW-Ruhr)

Einige Energiethemen „in meinem bisherigen Leben“

Worüber ich sprechen möchte

Jahr	Energiewende
50'er Jahre	<ul style="list-style-type: none"> Steinkohle, Braunkohle – 130 Mio t Steinkohleförderung, Kraftwerke mit Staubfilter
60'er Jahre	<ul style="list-style-type: none"> Wintersmog im Ruhrgebiet Import von Öl → Wirtschaftsminister Erhard öffnet Deutschland für mehr Ölimporte Große Kohlekraftwerke, heutige Verbundunternehmen entstehen Kleine Wasserkraftwerke nicht restauriert → Prof. Ulrich W. Hütter entwickelt Urmodell der modernen Windenergieanlage auf Schwäbischen Alb
1973 / 1979	<ul style="list-style-type: none"> Zweite Ölkrise → Ölpreis steigt um Faktor 3 Neue Energiepolitik: <ul style="list-style-type: none"> - Stilllegung moderner Ölkraftwerke, Sonntagsfahrverbote für Autos - Bundesweiter Erdgasnetzausbau und Ersetzung des Stadtgases - Einsparungsgesetze - Entwicklung Windenergie, Biomassennutzung, Photovoltaik, Solarkollektoren Ausbauprogramm Kernenergie → Kernenergie Diskussion
1979 - 1983	<ul style="list-style-type: none"> 2 Enquete-Kommissionen „Zukünftige Kernenergienutzung“ des Deutschen Bundestages
1983	<ul style="list-style-type: none"> GROWIAN (3 MW Windanlagenprototyp) Ölpreise fallen
80'er Jahre	<ul style="list-style-type: none"> Waldsterben → Einführung der Rauchgasentschwefelung und -entstickung CO₂-Diskussion → Rio-Konferenz 1992
Ende der 80'er Jahre	<ul style="list-style-type: none"> Energiekonzept des Bundeswirtschaftsministerium → Kernenergieausbau
2002	<ul style="list-style-type: none"> Längerfristiges Energiekonzept mit vorzeitigem Kernenergieausstieg (Schröder Pakt)
2009	<ul style="list-style-type: none"> Verlängerung Kernenergienutzung unter der neuen Regierung (Frau Merkel)
2011	<ul style="list-style-type: none"> Kernenergieausstieg nach Japan-Unfall bis 2022 – Basis dazu: Gutachten der Akademie Leopoldina Energiekonzept bis 2050 verfeinert und beibehalten

Energie- und Umweltpolitik über Jahrzehnte - einige Aspekte

Nutzungssysteme	Endenergie- bereitstellung	Endenergie- substitution Mio t SKE/a	Entlastung der Primär- energiebilanz Mio t SKE/a
1. Biokonversion	10 Mio t SKE Abfall und Rückstandsbiomasse	5,0 ²⁾	10,0 ²⁾
2. Wasserkraftwerke - große Anlagen (MW-Bereich) - kleine Anlagen (kW-Bereich) Meereskraftwerke	23 TWh Strom	2,8	7,9
	10 TWh Strom und mech. Energie	1,2 - 1)	3,7 -
3. Windkonverter - große Anlagen (MW-Bereich) - kleine Anlagen (kW-Bereich)	11 TWh Strom	1,3	4,1
	1,25 TWh Strom	0,2	0,5
4. Sonnenenergie- anlagen Niedertemperatur- kollektoren Solarthermische Kraftwerke Photovoltaische Stromerzeugungs- anlagen	1,6 Mio t SKE Wärme	2,9 ersetzt Gas/Heizöl	3,2
		- 1)	-
		- 1)	-
		- 1)	-

Nutzungssysteme	Endenergie- bereitstellung	Endenergie- substitution Mio t SKE/a	Entlastung der Primär- energiebilanz Mio t SKE/a
5. Wärmepumpenanlagen elektrisch ange- trieben fossil befeuert	3,0 Mio t SKE Wärme (Umwelt)	ersetzt 7,1 Gas/Heizöl	bei Berück- sichtigung der Primärenergie zum Antrieb 1,9
	2,0 Mio t SKE Wärme (Antrieb)		
	1,2 Mio t SKE Wärme (Umwelt)	Gas/Heizöl- einsparung 3,0	3,3
	3,0 Mio t SKE Wärme (Antrieb)		
6. Geothermische Heiz- u. Kraftw.		- 1)	-
Summe	-	-	34,6

1) kein nennenswerter Beitrag bis zum Jahr 2000 zu erwarten
2) Nicht detaillierter Beitrag vieler verschiedener Umwandlungsverfahren zur Bereitstellung von Wärme, sowie festen und flüssigen Sekundärenergieträgern aus Biomasse mit einem Heizwert an organischer Trockensubstanz in Höhe von 10 Mio t SKE/a. Angenommener Umwandlungswirkungsgrad 50 %.

Quelle: Jül-Spez-156 Juni 1982, 1985 aktualisiert

Erwartungspotential der Systeme zur Nutzung regenerativer Energiequellen für die Bundesrepublik Deutschland um das Jahr 2000



Quelle: http://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/schleswig-holstein_magazin/zeitreise/zeitreise673.html



Monopteros

Quelle: <http://www.usm-nord.de/referenzen/industrieanlagenbau/growian-ii/>



Darrieus

Source: www.reuk.co.uk

„Historische“ große Windenergieanlagen



Windenergienutzung weltweit (Werte gerundet)		
	Gesamtkapazität [GW]	Anteil [%]
	Ende 2017	weltweit 2017
China	188	35
USA	89	16
Deutschland	56	10
Indien	32	6
Spanien	23	4
Vereinigtes Königreich	19	4
Frankreich	14	3
Brasilien	13	2
Kanada	12	2
Italien	9	2
Restliche Länder	85	16
Gesamt	540	100

Deutschland: Ende 2017 bei 56 GW, 51 Onshore und 5 Offshore.*
Zum Vergleich:
Ende des Jahres 2003: Welt ca. 40 GW, Deutschland ca. 15 GW

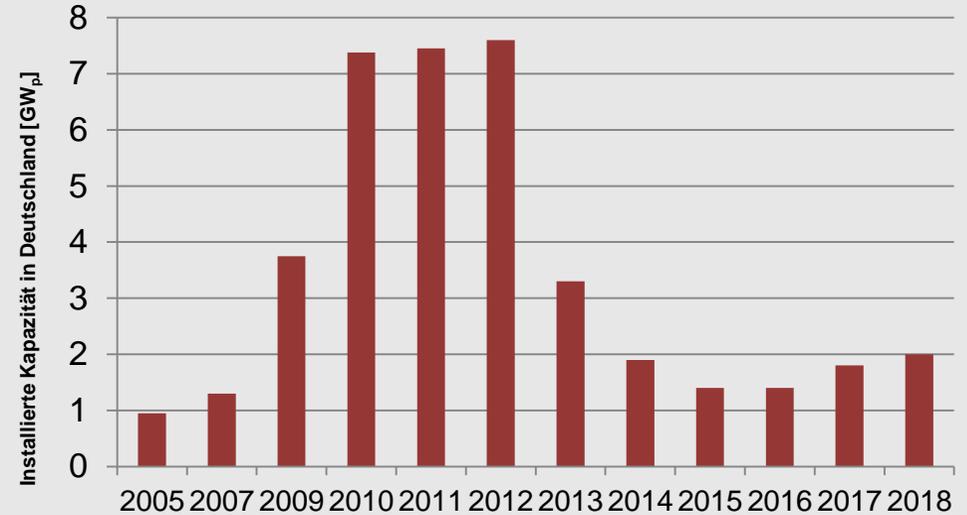
Quelle: <http://www.gwec.net/global-figures/graphs/>
 *<http://www.windbranche.de/windenergie-ausbau/deutschland>

Weltweite Windnutzung



Foto: Wagner 2013

Photovoltaikanlage Forschungszentrum Jülich, errichtet 1993



Quellen der Daten bis 2013:

BWK 5/2012

Quelle der Daten von 2014-2017:

Bundesnetzagentur/Photovoltaik

Quelle der Daten von 2018:

www.energy-charts.de

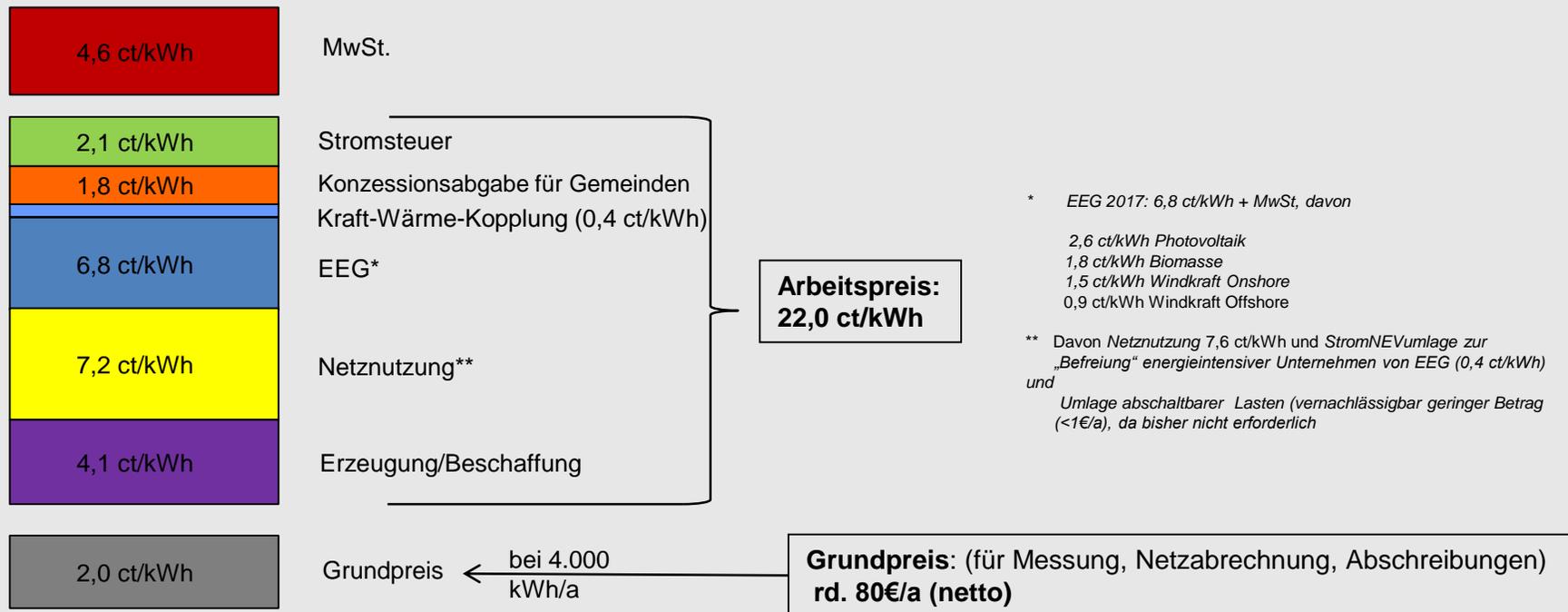
Ende 2018 installierte Leistungen in Deutschland: ca. 45 GW
Weltweite installierte Leistung Ende 2017: circa 405 GW*

* SolarPower Europe 2018

Photovoltaik

Gesamtpreis: 29,0 ct/kWh, davon staatlich verursachte Belastungen: 56 %

Zum Vergleich: zu Beginn des Jahres 2010 noch 21,3 ct/kWh,
zu Beginn des Jahres 2000 noch 11,6 ct/kWh

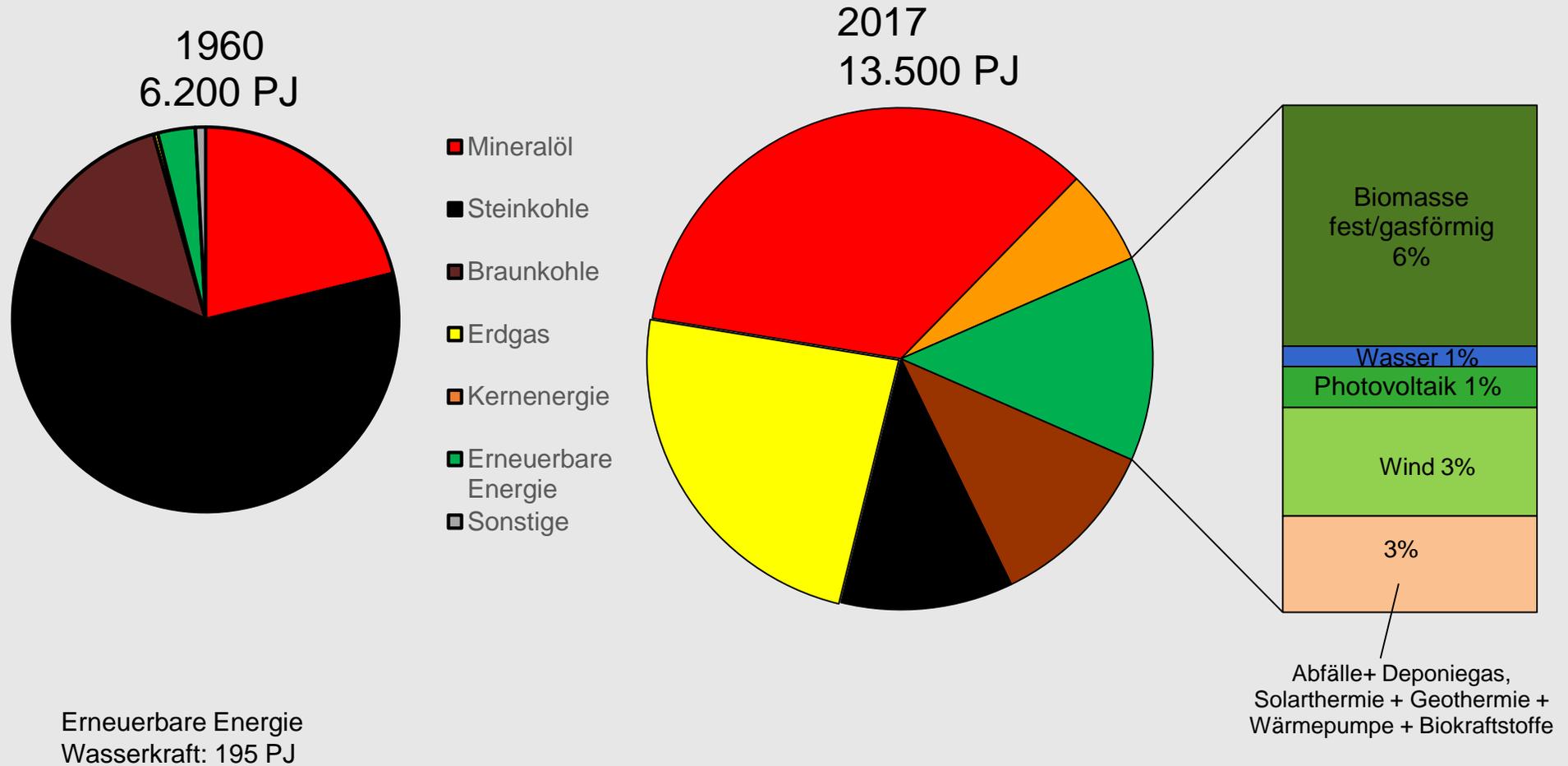


Werte auf eine Nachkommastelle gerundet

Quellen: Grundpreis, Beschaffung, Netznutzung unter Verwendung von Daten aus dem Strom Bert Eintarif der Stadtwerke Velbert, November 2017
Konzessionsabgabe: Mittelwert Deutschland, hängt von der Größe der Gemeinde ab.

EEG unter Verwendung der Daten für vorläufige Zahlen 2019

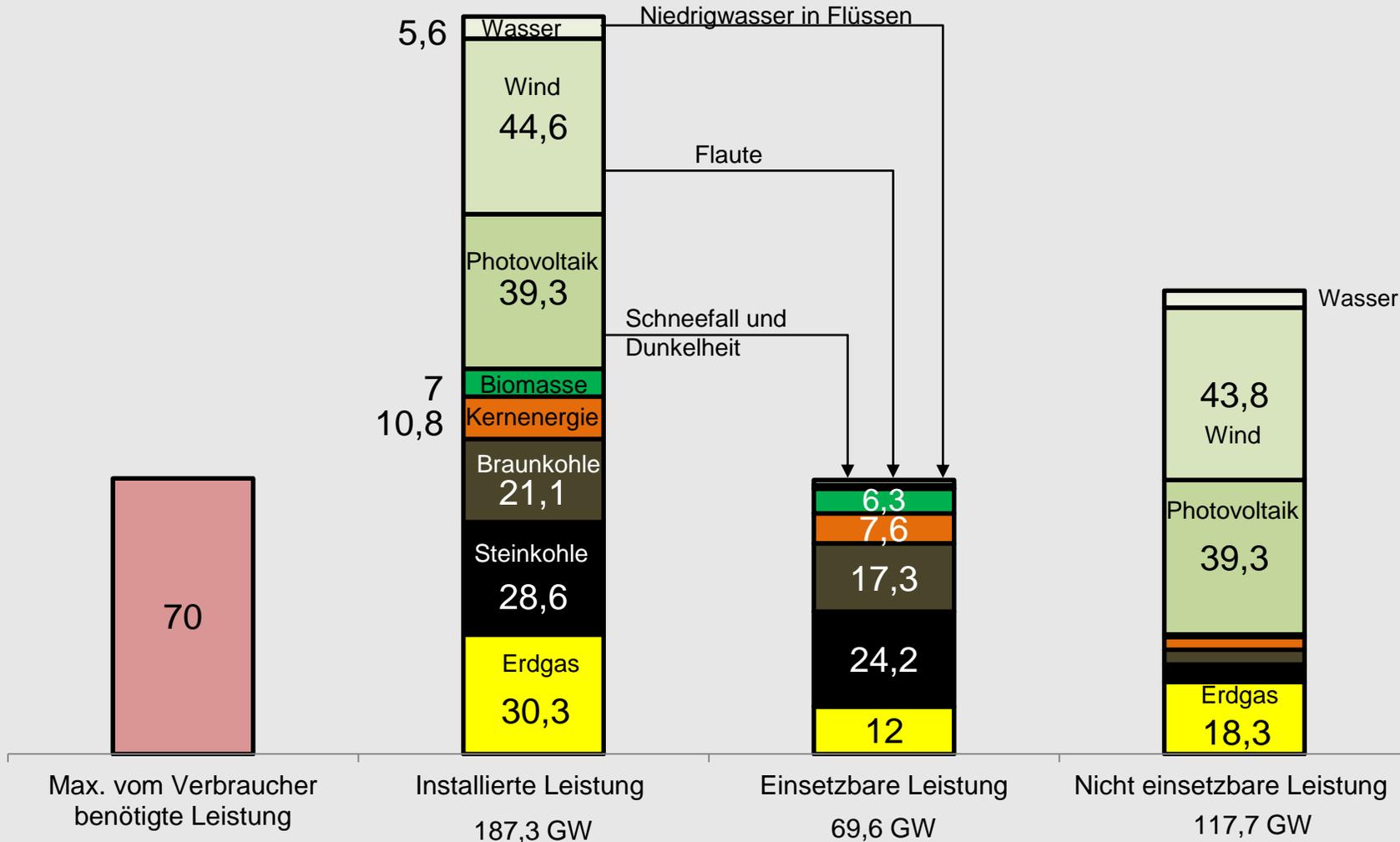
Strompreis: Haushalt mit einem Verbrauch von 4.000 kWh/a



Quelle: Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung Stand: 09.12.2015

Quelle: BMWI Energiedaten Stand: 23.01.2018, Werte gerundet
Erneuerbare Energien nach Energiedaten Gesamtausgabe Stand Januar 2018 BMWI

Primärenergieverbrauch in Deutschland



Quelle: DEBRIV Bundesverband Braunkohle 01/17

Leistungsbilanz der deutschen Stromerzeugung 24.01.2017 in GW

Energie- und Umweltpolitik über Jahrzehnte

Energieforschungsprogramme des Bundes

Themen der Zukunft

Aktuelle Forschungsarbeiten (UPSW und GW-Ruhr)

Einige Energiethemen „in meinem bisherigen Leben“

Worüber ich sprechen möchte

Jahr	Titel	Federführendes Ressort
1975	Rahmenprogramm Energieforschung und Energietechnologien	BMFT (BM Matthöfer)
1977	1. Programm „Energieforschung und Energietechnologien“	BMFT (BM Matthöfer)
1981	2. Programm „Energieforschung und Energietechnologien“	BMFT (BM von Bülow)
1990	3. Programm „Energieforschung und Energietechnologien“	BMFT (BM Riesenhuber)
1996	4. Programm „Energieforschung und Energietechnologien“	BMBF (BM Rüttgers)
2005	5. Programm „Energieforschung und Energietechnologien“	BMWA (BM Clement)
2011	6. Programm „Energieforschung und Energietechnologien“	BMWi (BM Rösler)
2018	7. Programm „Innovationen für die Energiewende“	BMWi (BM Altmaier)

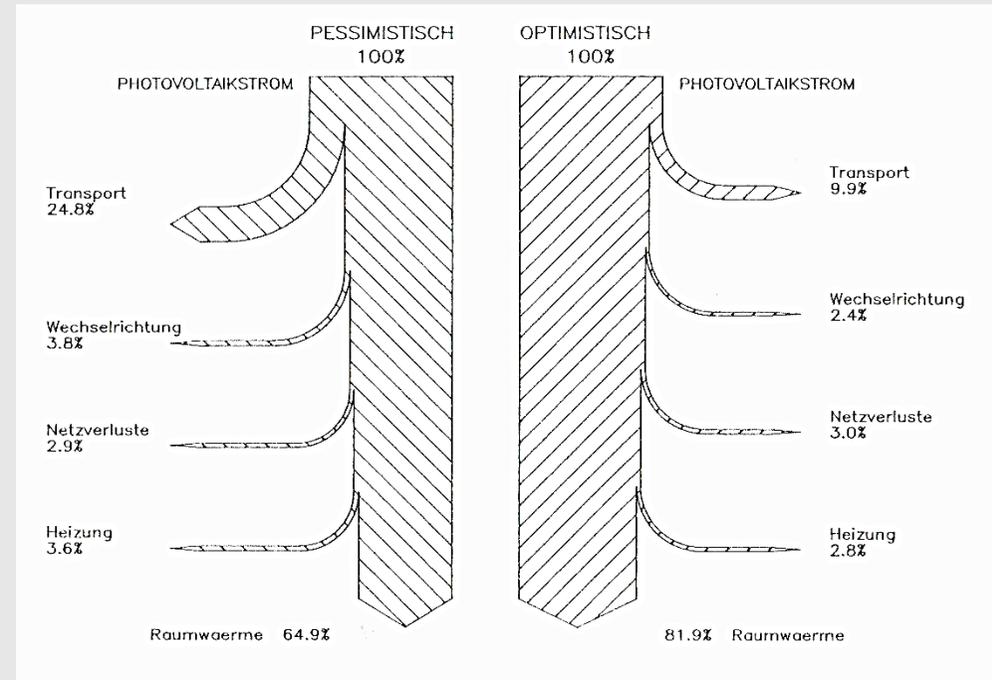
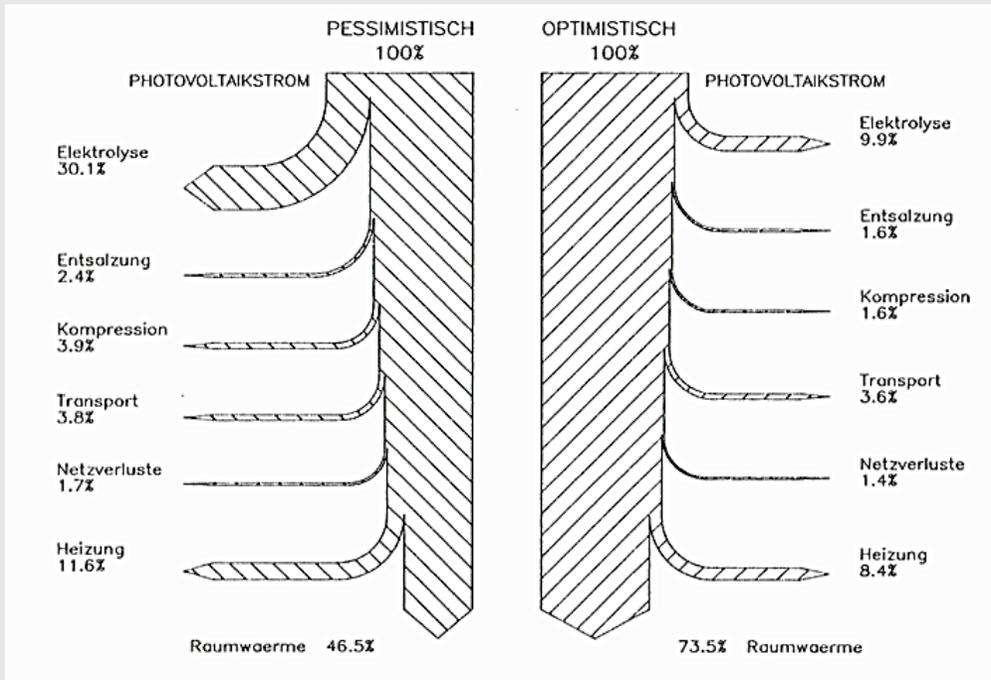
Energieforschungsprogramme der Bundesregierung

Jahr	Prognose	Politisches Ziel	Realität im Prognosejahr
1973	Große Steigerung des Primärenergieverbrauchs → starkes wirtschaftliches Wachstum (BIP Zuwachs 70%)	Hohe Ausbaurrate für Kernenergie auf 50.000 MW bis 1985	<ul style="list-style-type: none"> • 1973 Jom-Kippur Krieg • Ölembargo der OPEC, Anstieg von 2 auf 11 US\$/b → Produktionseinbruch → Rezession • Zuwachs BIP nur 32%
1974	1. Fortschreibung	Anpassungen der Zahlen für das Jahr 1985	
1977	2. Fortschreibung	Anpassung der Zahlen für das Jahr 1990	
1981	3. Fortschreibung Anstieg des Ölpreises um rund 70 %	Anpassung der Zahlen für das Jahr 1995 → Weiterer Kernenergieausbau auf 38.000 MW → Stabilisierung des Versorgungsbeitrags der heimischen Steinkohle	<ul style="list-style-type: none"> • Realer Ölpreis fällt um 70% • Kernenergie verliert an Wettbewerbsfähigkeit → Stromerzeugungskapazität in Deutschland rund 25.000 MW
1986	Anti-Atombewegung nach Unfall in Tschernobyl	Ausstieg aus Kernenergie durch Einbezug von erneuerbaren Energien → Schätzung der Stromerzeugung für 2015 der Windenergie auf 20,6 TWh und Photovoltaik auf 0,4 TWh	<ul style="list-style-type: none"> • 2002 Ausstieg aus Kernenergie durch Novellierung des Atomgesetzes rechtlich abgesichert
1991	Stromeinspeisegesetz		
2001	EEG	Bis 2020 die 20 % Kernenergiestrom durch erneuerbare Energien ersetzen	<ul style="list-style-type: none"> • Erfolg durch Technologieverbesserung und Kostensenkung → Konjunkturunbruch durch Zusammenbruch der US Bank Lehman-Brothers • Bis 2015 bereits 30% Strom aus erneuerbaren Energien
2010	Energiekonzept	<ul style="list-style-type: none"> • Verlängerung Kernenergienutzung • Ausbau erneuerbaren Energien → bis 2050 80 % Stromerzeugung in Deutschland 	<ul style="list-style-type: none"> • 2011 Unfall Fukushima → Ausstieg aus Kernenergie bis 2022

Energieprognosen für Deutschland

Wasserstoff (Sahara) - Raumwärme

Strom (Sahara) – Stromnetz - Raumwärme



Quelle: STE-Bericht erstellt für BMBF im Jahre 1987

Energie aus der Sahara – Thema seit 1987

Energie- und Umweltpolitik über Jahrzehnte

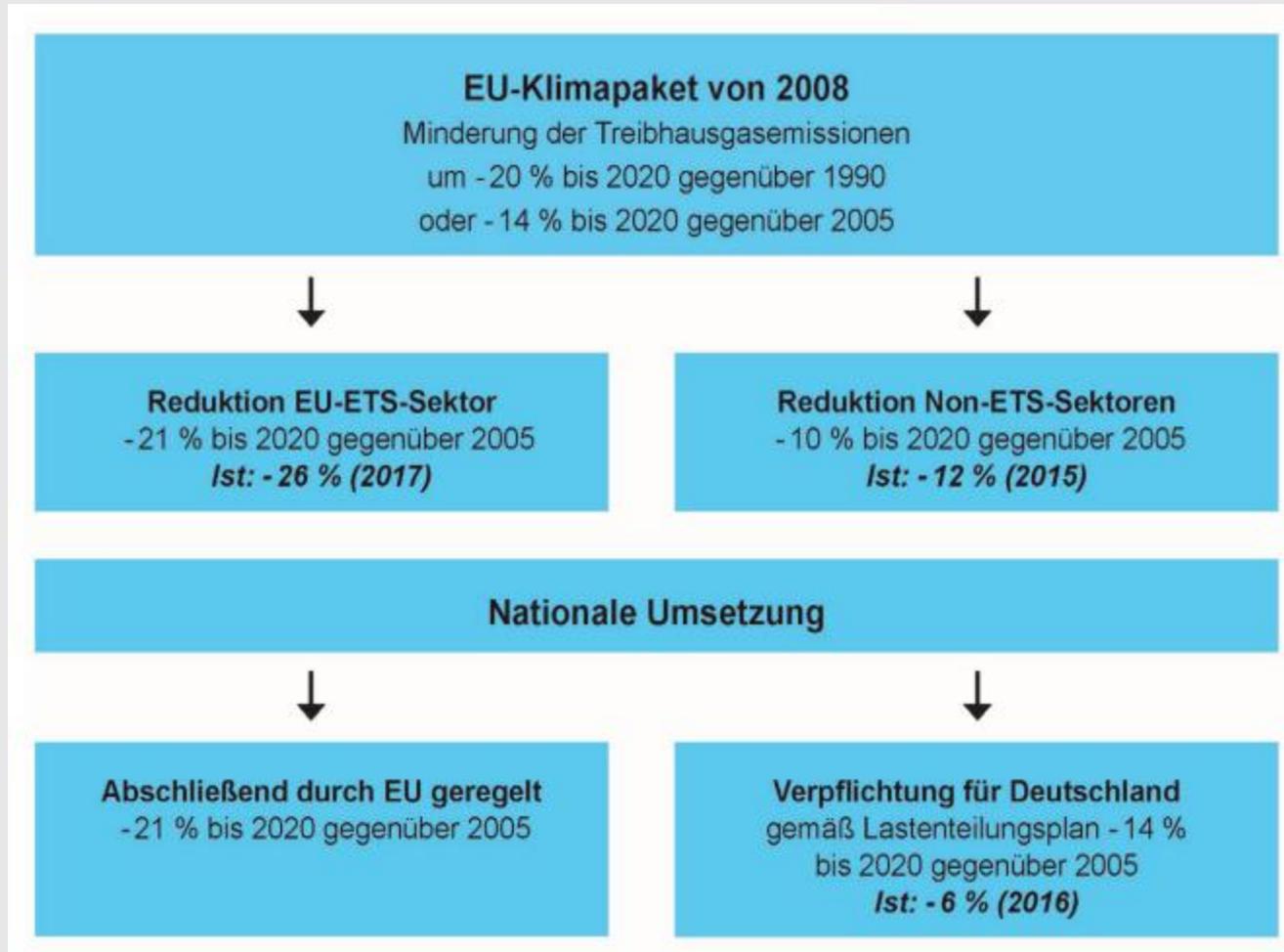
Energieforschungsprogramme des Bundes

Themen der Zukunft

Aktuelle Forschungsarbeiten (UPSW und GW-Ruhr)

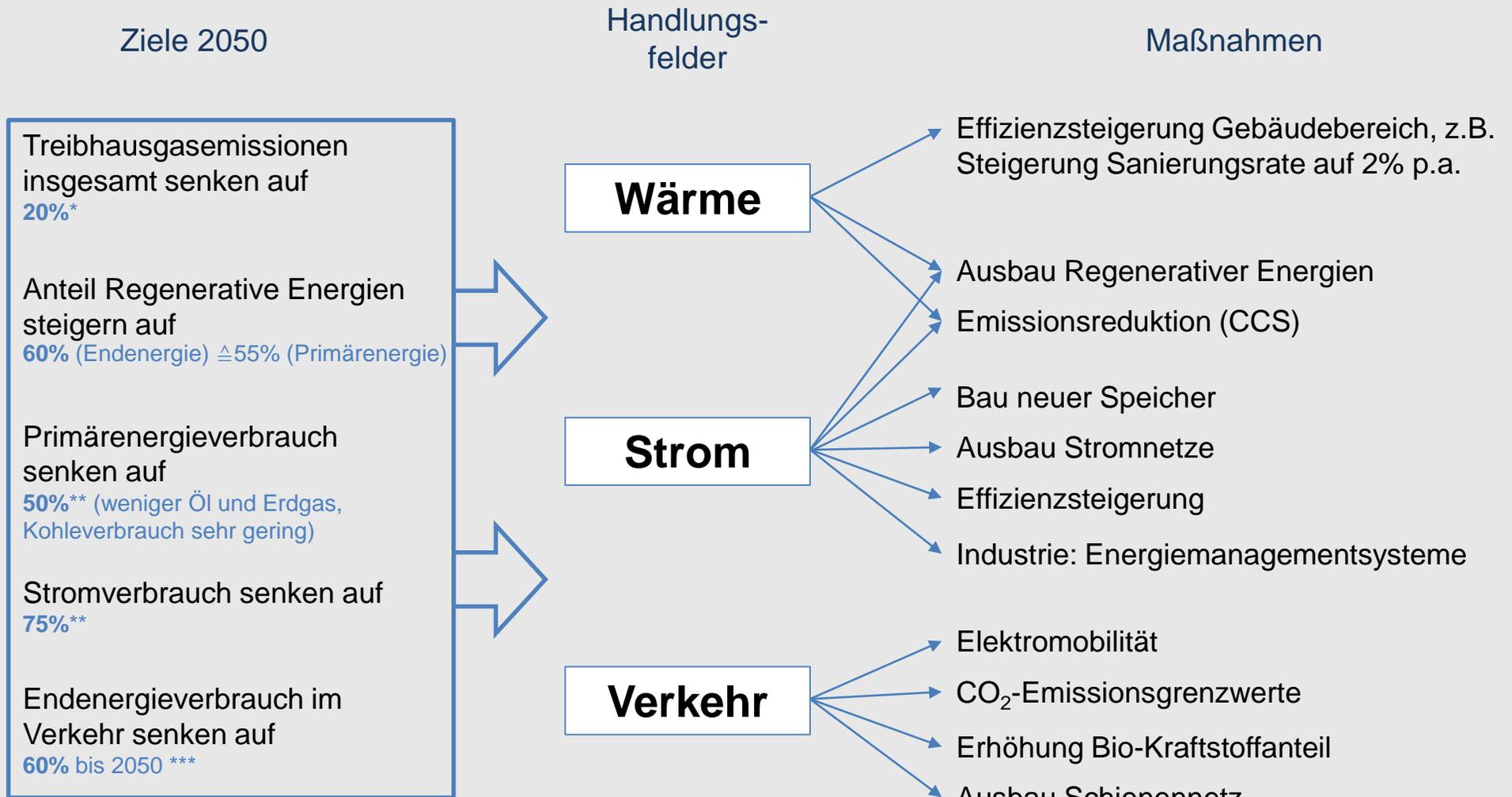
Einige Energiethemen „in meinem bisherigen Leben“

Worüber ich sprechen möchte



ETS = Emissionshandel

Verpflichtende Klimaziele für Deutschland bis 2020



* gegenüber 1990, ** gegenüber 2008, *** gegenüber 2005

Energiekonzept - Überblick

<p>Klimaschutzplan 2050 (14.11.2016 im Kabinett verabschiedet)</p>	<p>Energiekonzept 2010</p>
<p>Stromverbrauch steigt durch „Sektorkopplung“ (200-250 TWh \pm 30%)</p>	<p>Senkung Stromverbrauch gegenüber 2008 um 10-25% bis 2050</p>
<p>„Sektorkopplung“ = direkte Verbindung mit allen energieverbrauchenden Sektoren (Industrie, Gewerbe, Haushalt, Verkehr)</p>	<p>Das Wort „Sektorkopplung“ kommt nicht vor</p>
<p>Speicher?</p>	<p>Neuaufgabe 2016: Nachhaltigkeitsstrategie (11.01.2017 vom Kabinett verabschiedet) Senkung des Stromverbrauchs gegenüber 2008 um 25%</p>

Sektorkopplung versus Energiewende?

Energie- und Umweltpolitik über Jahrzehnte

Energieforschungsprogramme des Bundes

Themen der Zukunft

Aktuelle Forschungsarbeiten (UPSW und GW-Ruhr)

Einige Energiethemen „in meinem bisherigen Leben“

Worüber ich sprechen möchte

UPSW- Untergrundpumpspeicherkraftwerk

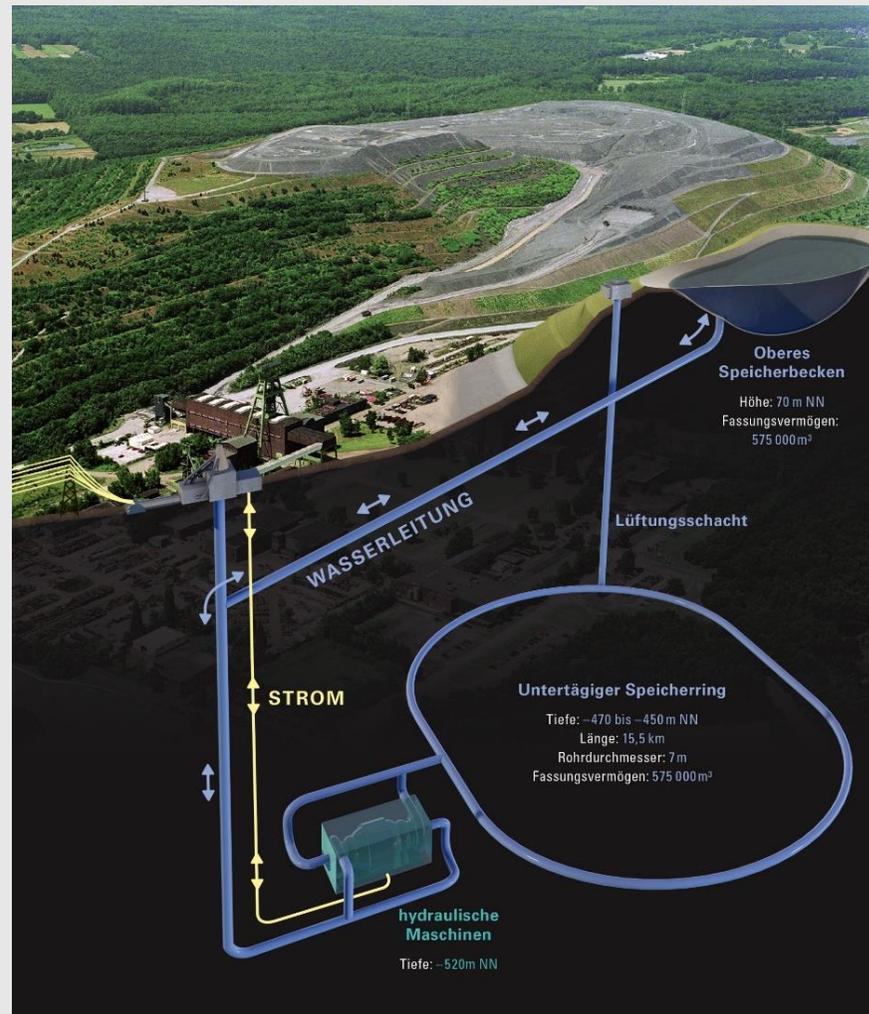


Quelle: RAG

Deutsche Steinkohleförderung endete 2018 - Schrämwalzenlader mit Schildausbau



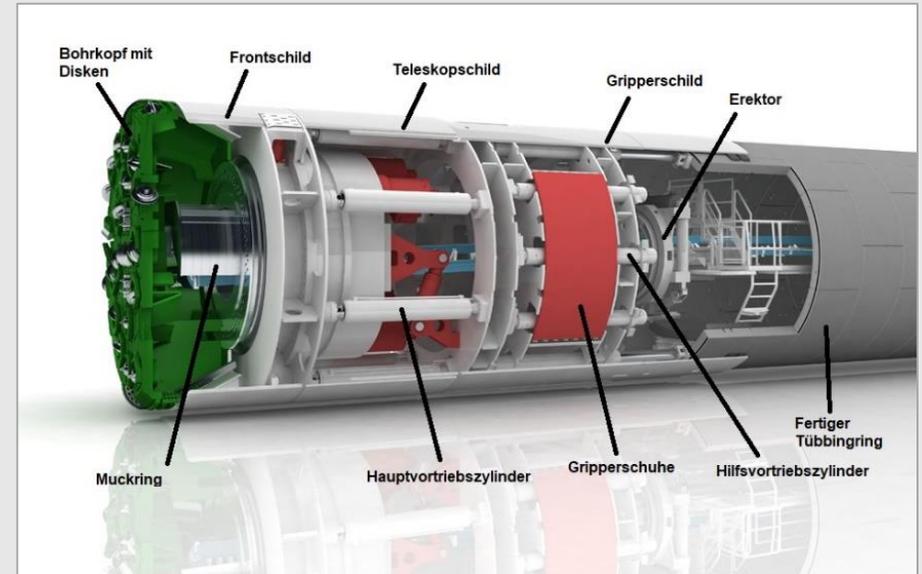
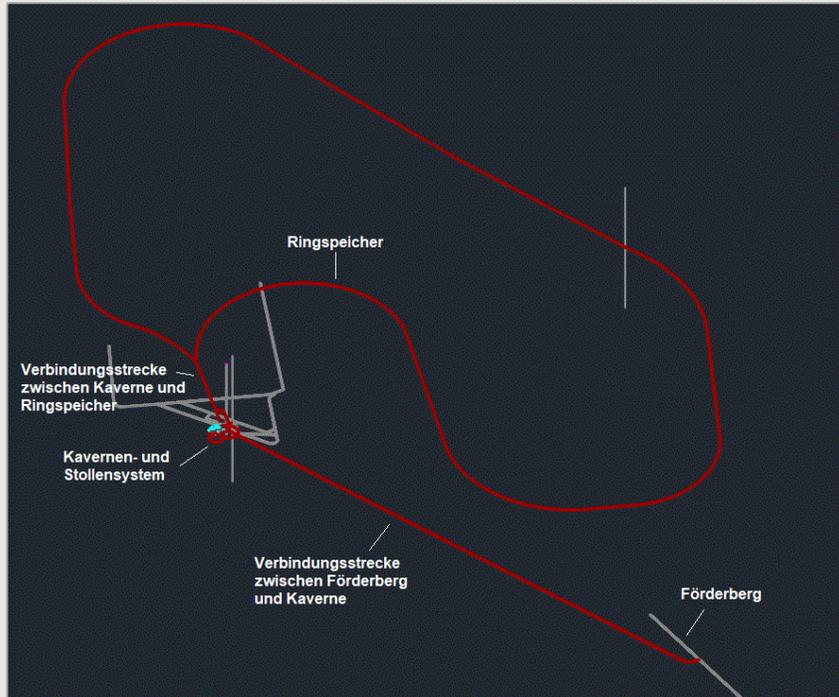
Zeche Prosper-Haniel



Funktionsskizze Pumpspeicherkraftwerk in Prosper-Haniel

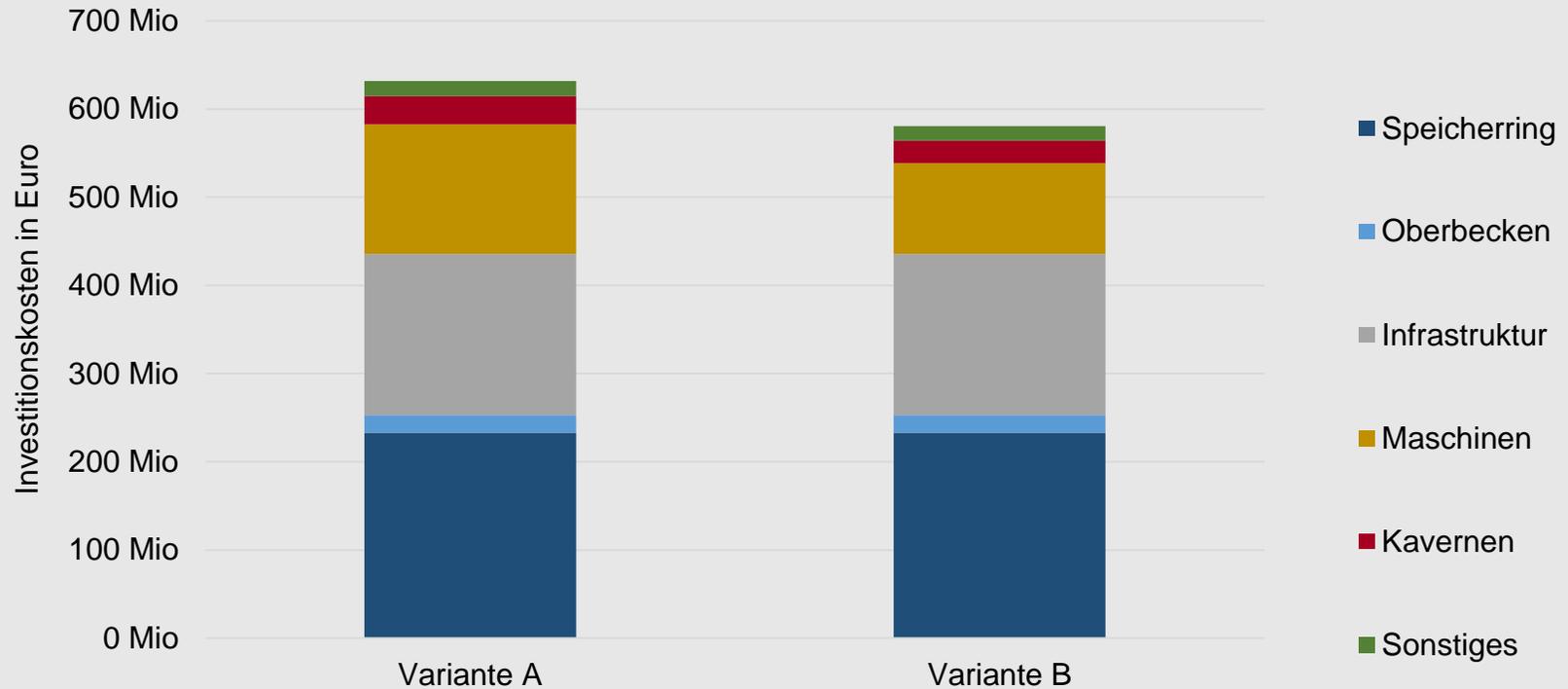
Index	Kostenposition	Mittlere Kosten
2	Speicherring	233,0 Mio
2.1	Speicherring durch TBM und Tübbing	211,7 Mio
2.2	Doppelschild-Tunnelbohrmaschine	20,0 Mio
2.3	Auslaufbauwerk	1,2 Mio
2.4	Drucktür zum Speicherring	0,1 Mio

Index	Bezeichnung	Variable	Mittlere Kosten
K.2.1.1	Personalgemeinkosten	$k_{\text{Personal, Gem}}$	18.130.479 €
K.2.1.2	Lohnkosten	k_{Lohn}	41.593.451 €
K.2.1.3	Kosten Tübbingausbau	$k_{\text{Tübbinge}}$	82.653.652 €
K.2.1.4	Kosten Baustoffe	k_{Baustoff}	27.728.967 €
K.2.1.5	Kosten Baustelleneinrichtung	$k_{\text{Baustelle}}$	15.997.481 €
K.2.1.6	Förderband und Schachtanlage	$k_{\text{För,Sch}}$	25.595.970 €



Komponenten des UPSW

Investitionskosten zweier ausgesuchter UPSW-Varianten



Investitionskosten der betrachteten Varianten

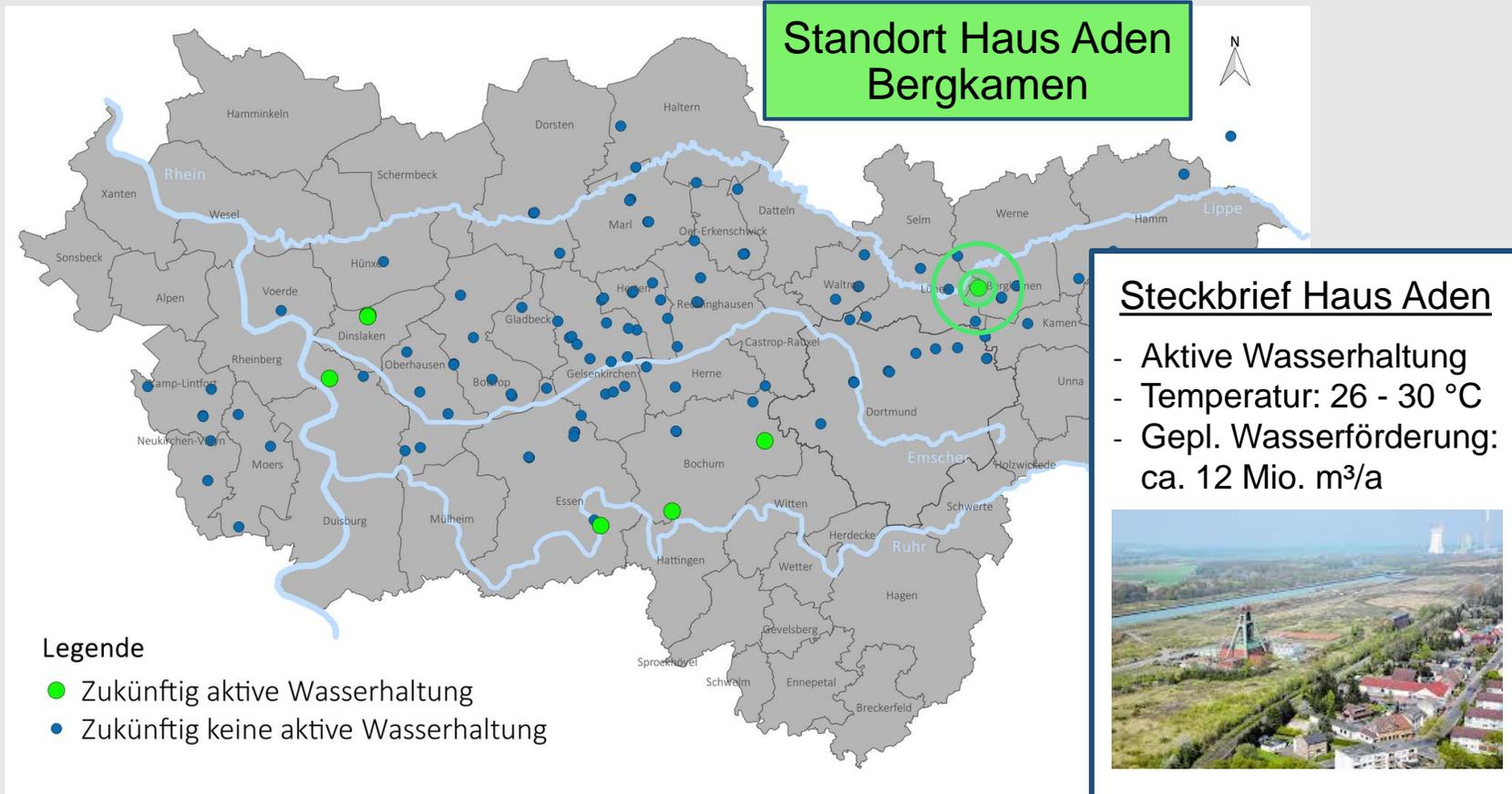
- Derzeitig finanzielle Situation schlecht:
 - Geringe Marge an den Strommärkten verhindert Wirtschaftlichkeit
 - Preise des Regelenergiemarkts sehr niedrig
- Viele Stillstandszeiten und wenig Erlöse

- PSW werden auf „schwarze Null“ gefahren → Investitionsstau
- Stillstand bei fertiggestellten Planungen

- **Keine Investoren → UPSW Projekt wird in Deutschland nicht weiter verfolgt**

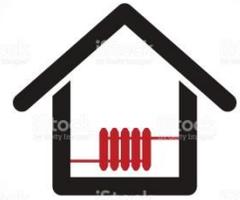
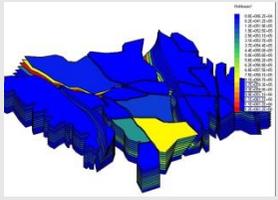
Warum Pumpspeicherwerke? - Derzeitige Situation

GW Ruhr - Grubenwasserwärme-Nutzung



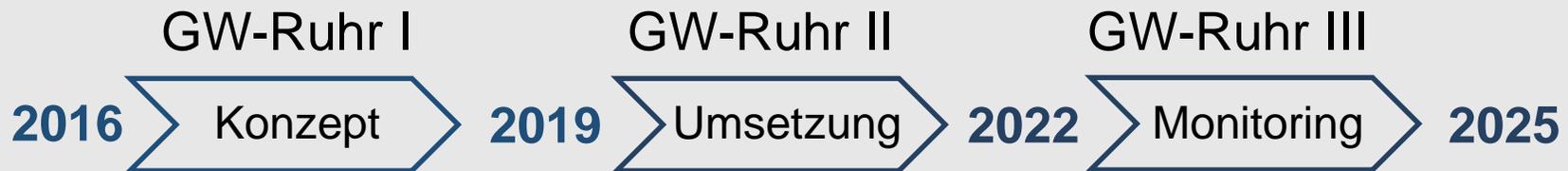
Wasserhaltung im Nachbergbau

Partner der ersten Projektphase:

  <p>Energiesysteme Energiewirtschaft</p>	  <p>Bergbau Wasserhaltung</p>	  <p>Montantechnik Geologie</p>	  <p>Akteure/Abnehmer Förderprogramme</p>
---	--	---	---

In der zweiten Projektphase kommen noch die Stadtwerke Bochum, die Stadtwerke Kamen und Essen 51 hinzu.

Projektphasen



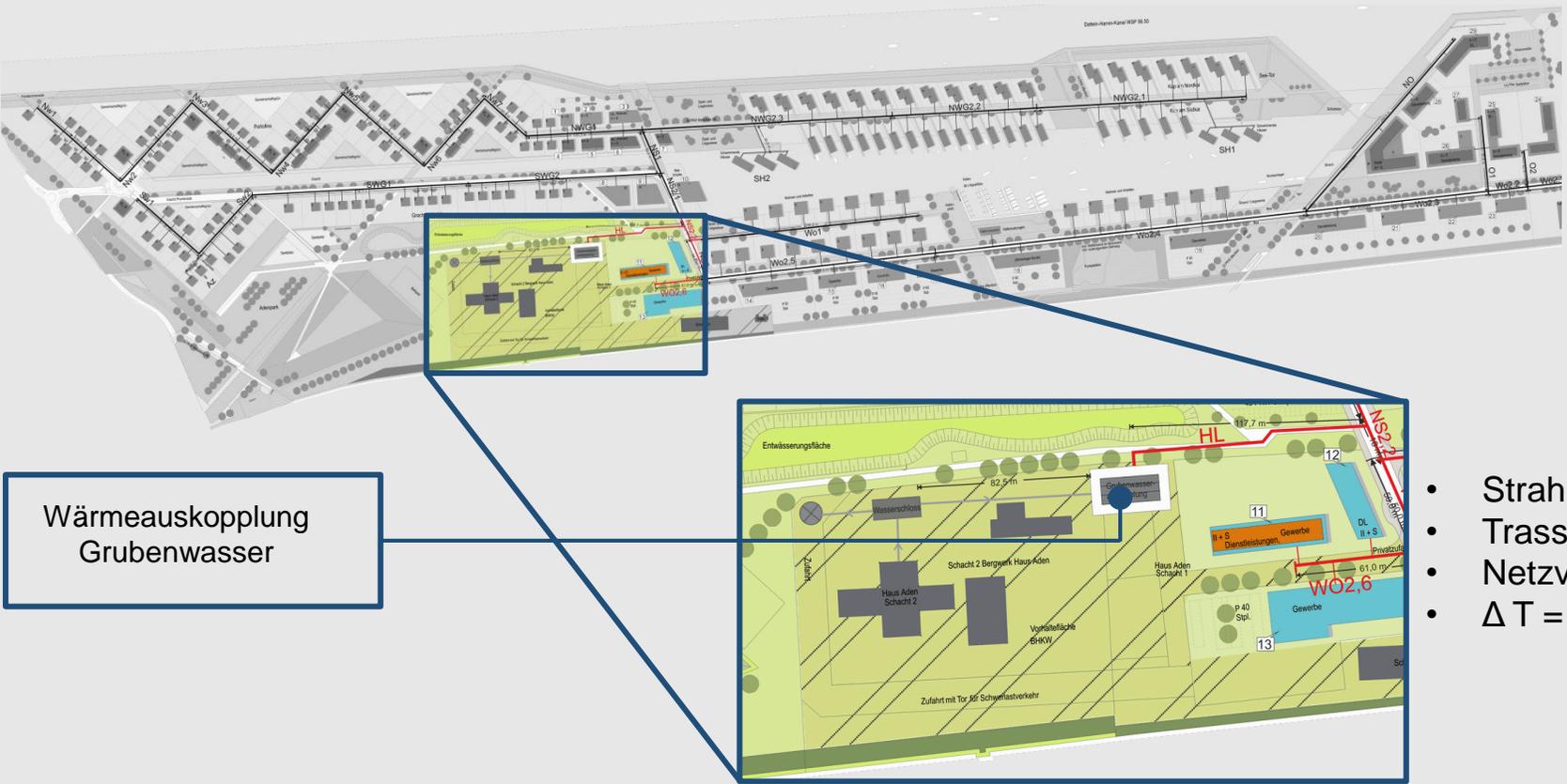
Projektteam

- Entwicklung innovativer Wärmenutzungskonzepte zur
Nachnutzung der Bergbauinfrastruktur
 - Betrachtung gesamtes Ruhrgebiet
 - Bewertung der Schachtstandorte (Robert Müser, Essen51, Haus Aden)
 - Identifizierung des Wärmepotenzials
 - Erstellung umsetzungsrelevanter Konzepte
- Gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und
Energie
 - Fördervolumen 1,1 Mio. Euro in Projektphase 1
- Veröffentlichung der Ergebnisse

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energieaufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ziele des Projektes



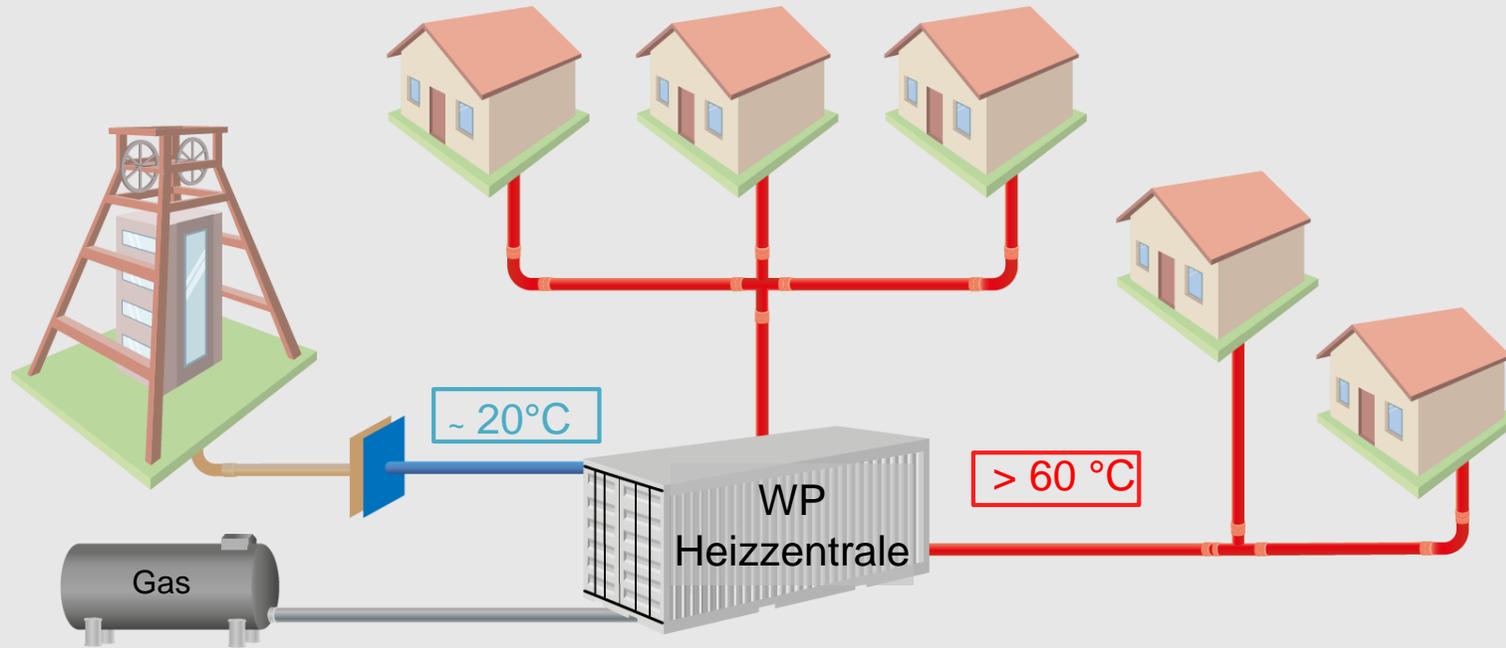
Wärmeauskopplung
 Grubenwasser

- Strahlennetz unisoliert
- Trassenlänge 4,5 km
- Netzvorlauftemperatur 20°C
- $\Delta T = 10 \text{ K}$

Dezentrale Wärmeversorgung Wasserstadt Aden

Zentrale Wärmeerzeugung

Dezentrale Wärmeerzeugung



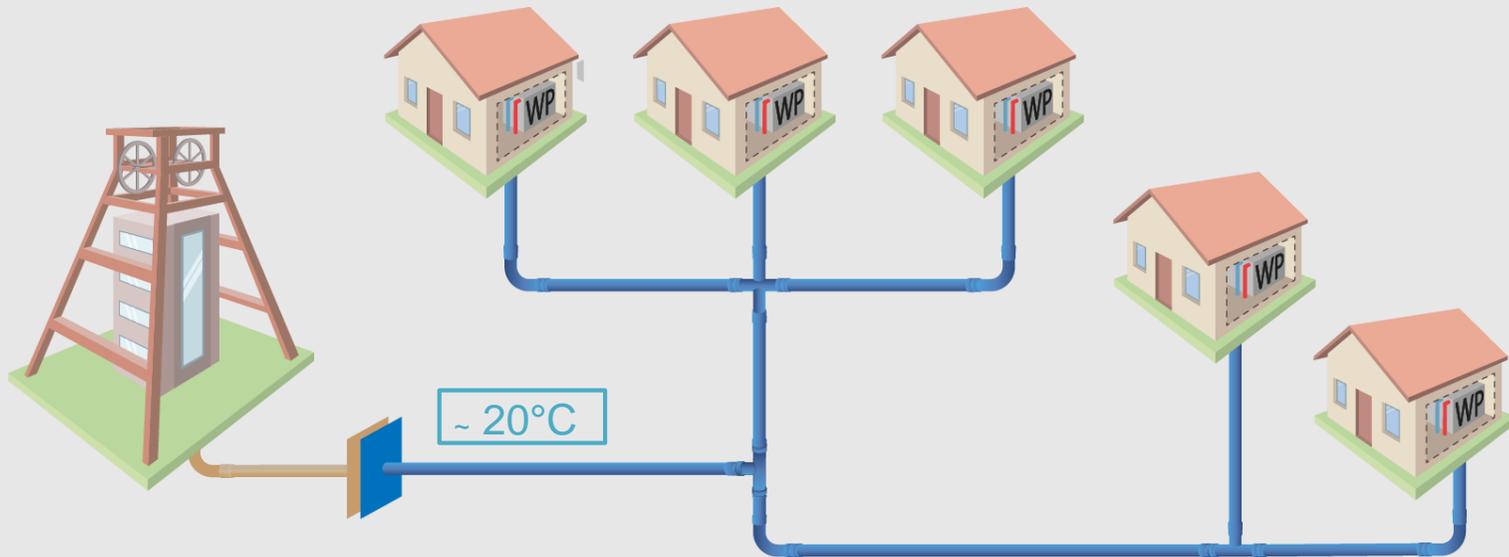
Anteil Grubenwasserwärme < 30 %

➔ ~~KfW 40~~

Siedlung Kamen: Konventionelles energetisches Konzept

Zentrale Wärmeenerzeugung

Dezentrale Wärmeenerzeugung



Anteil Grubenwasserwärme > 70 %

➔ KfW 40 ✓

Siedlung Kamen: Verfolgtes energetisches Konzept

- Drei potentielle Nutzungsorte: Kamen, Bochum, Essen
- Derzeit Abschluss der ersten Phase, Antrag für zweite Phase mit Projektträger im Detail abgesprochen, wird bis Ende Februar vorgelegt
- Austausch mit ähnlichen Projekten (Mijnwater, NL)
- Genehmigungsrechtliche Abklärung (BRA, LANUV)
- Arbeitsgemeinschaften GSW (Stadtwerke Kamen), Montan Immobilien, Stadtwerke Bochum → Machbarkeitsstudien und Beantragung KfW 40-Mittel sind eingeleitet

Stand des Projektes

Energie- und Umweltpolitik über Jahrzehnte

Energieforschungsprogramme des Bundes

Themen der Zukunft

Aktuelle Forschungsarbeiten

Einige Energiethemen „in meinem bisherigen Leben“

Worüber ich sprechen möchte

Energiepfade – Energiemodelle und Szenarien

Kernenergie – braucht Deutschland sie?

Energieversorgung Brasilien, Indonesien – Kernenergie?

Brennstoffzellen für Verkehr, Hausheizung

Methanol – Ersatz für Benzin?

Alkohol – brasilianischer Weg für Deutschland?

Wasserstoff und Synthesegas mit Überschuss- Strom aus Kernenergie

Wasserstoff aus Solarenergie, Wasserstoffautos

Sonnenstrom oder Wasserstoff aus der Sahara

Regenerative Energien - Potenziale, Kosten

Weltweite CO₂-Emissionen

Ökobilanzierung von Energieanlagen

**Zum Abschluss:
Einige Energiethemen „in meinem bisherigen Leben“**



Die Energiewende ist nicht neu, sondern ein kontinuierlicher Prozess seit Jahrzehnten.

Danke für's Zuhören