

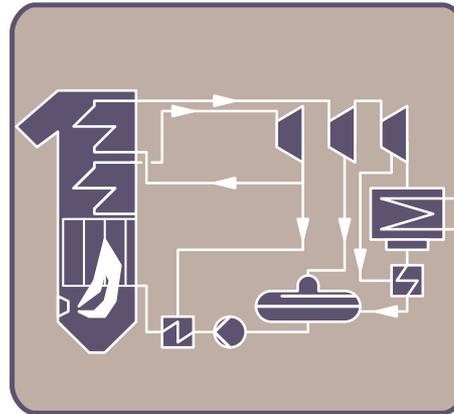
Sektorenggekoppelte Energiesysteme zur Integration erneuerbarer Energien

*Jens Hinrich Prause, Raphael Wittenburg,
Dr. Moritz Hübel, Dr. Jürgen Nocke, Prof. Dr. Egon Hassel*

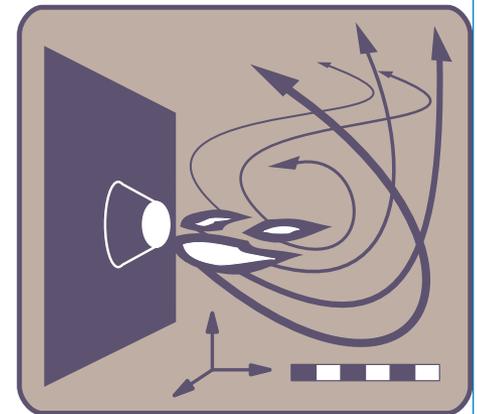
Energie System Ebene



Kraftwerks Ebene



Komponenten Ebene



Ziele	Ökonomische und ökologische Bewertung	Verbesserung von Betrieb oder Auslegung auf Kraftwerksebene	Verbesserung von Betrieb oder Auslegung auf Komponentenebene
Ansatz	Gemischt ganzzahlige Optimierung oder deterministisch	0D/1D basierend auf physikalischen Gleichungen	3D-CFD basierend auf physikalischen Gleichungen
Maximale Zeitskala	Jahre	Tage	Minuten

I Einleitung

II Modellansatz „Sektorenkopplung“

III Szenarien & Ergebnisse

IV Fazit und Ausblick



Einleitung

Endenergienutzung
Deutschland 2014



640 TWh

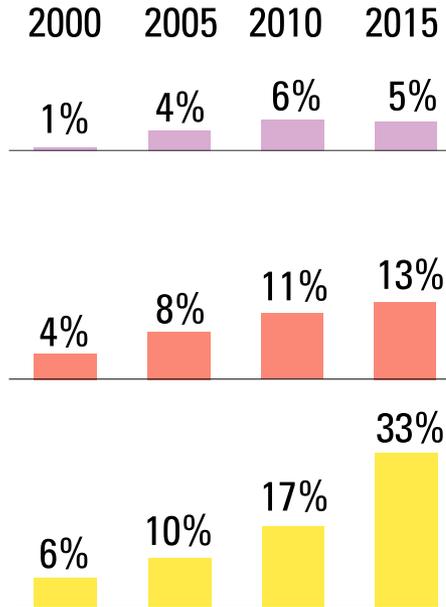


1.140 TWh



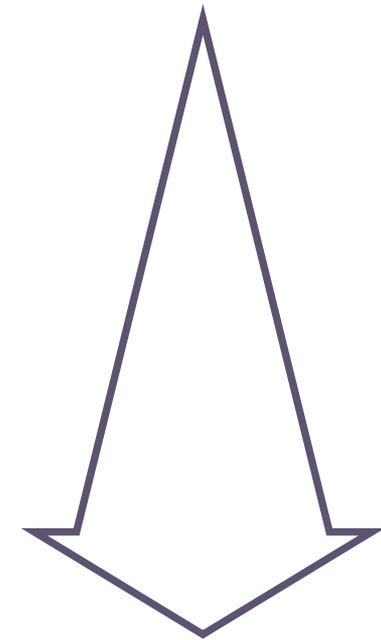
590 TWh

Anteil Erneuerbarer Energie
Deutschland

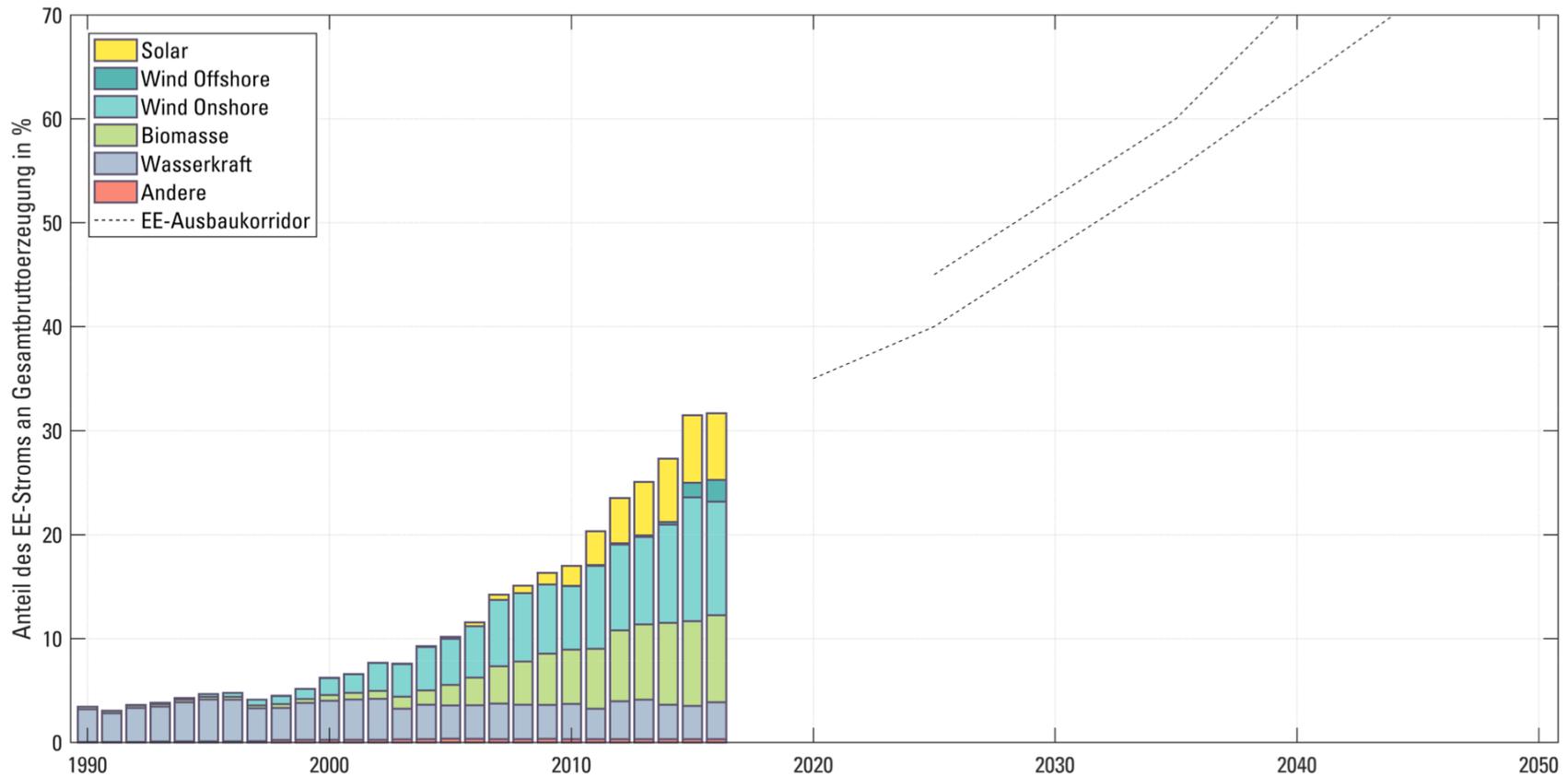


Quelle: Energiedaten BMWi

Speicheraufwand

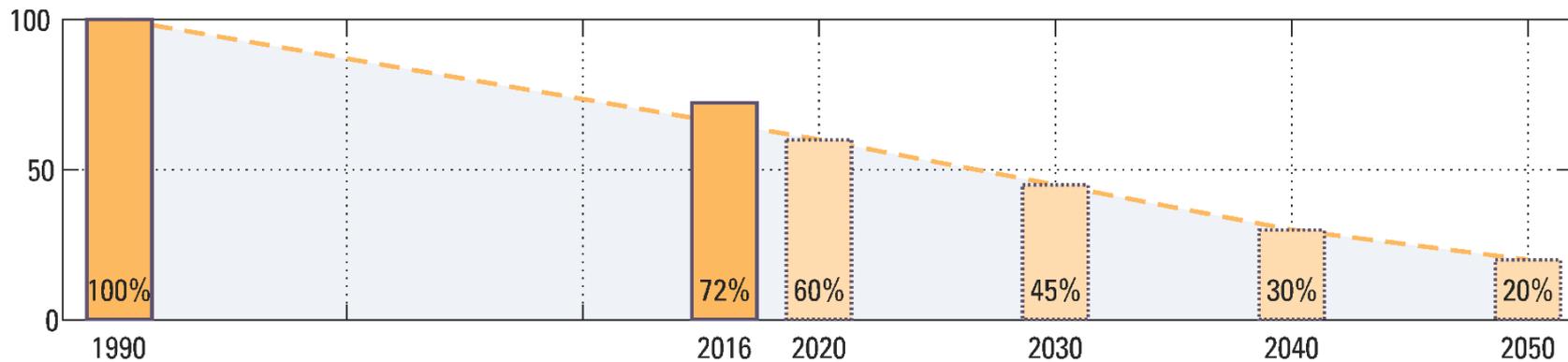


Einleitung

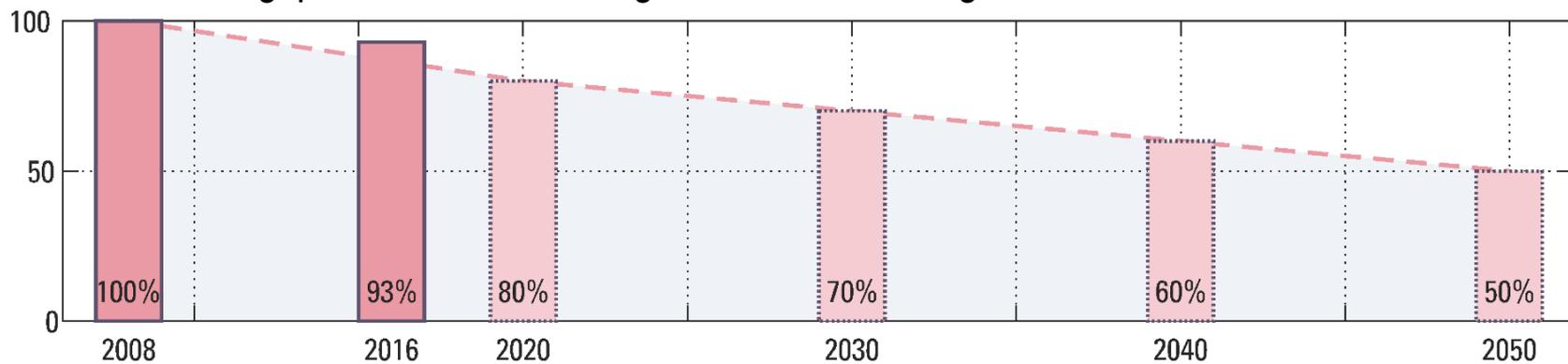


Einleitung

Entwicklungspfad der Treibhausgasemissionen bezogen auf 1990 in %



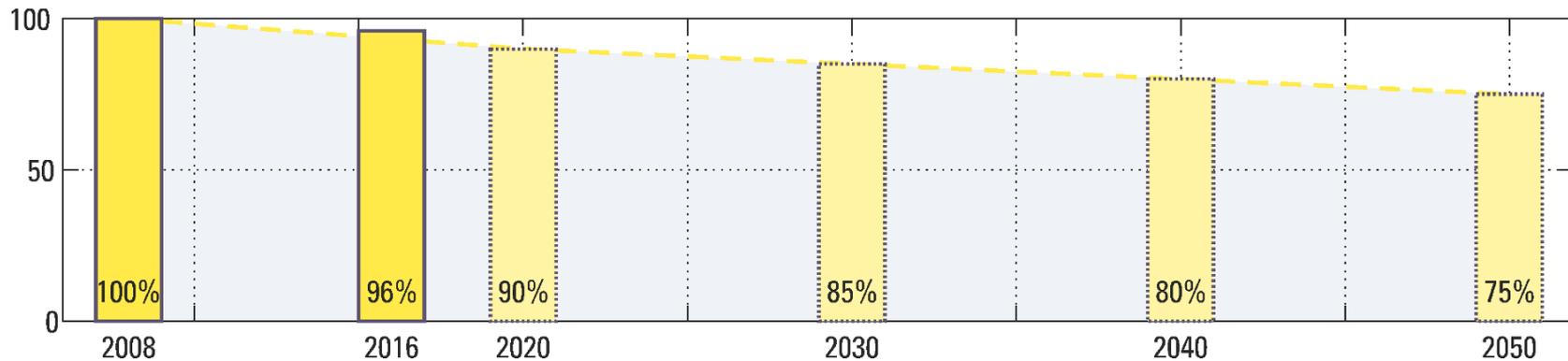
Entwicklungspfad des Primärenergieverbrauchs bezogen auf 2008 in %



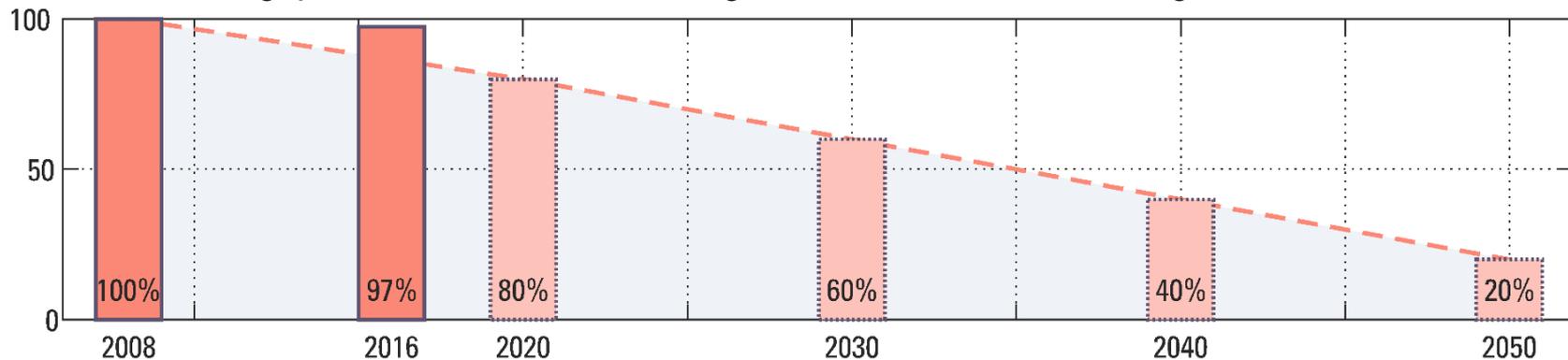
*Bundesregierung Deutschland: *Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung*, 2010 (abgerufen am 9. August 2017) https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.html. – Beschluss des Bundeskabinetts vom 28. September 2010

Einleitung

Entwicklungspfad des Endenergieverbrauch von Strom bezogen auf 2008 in %

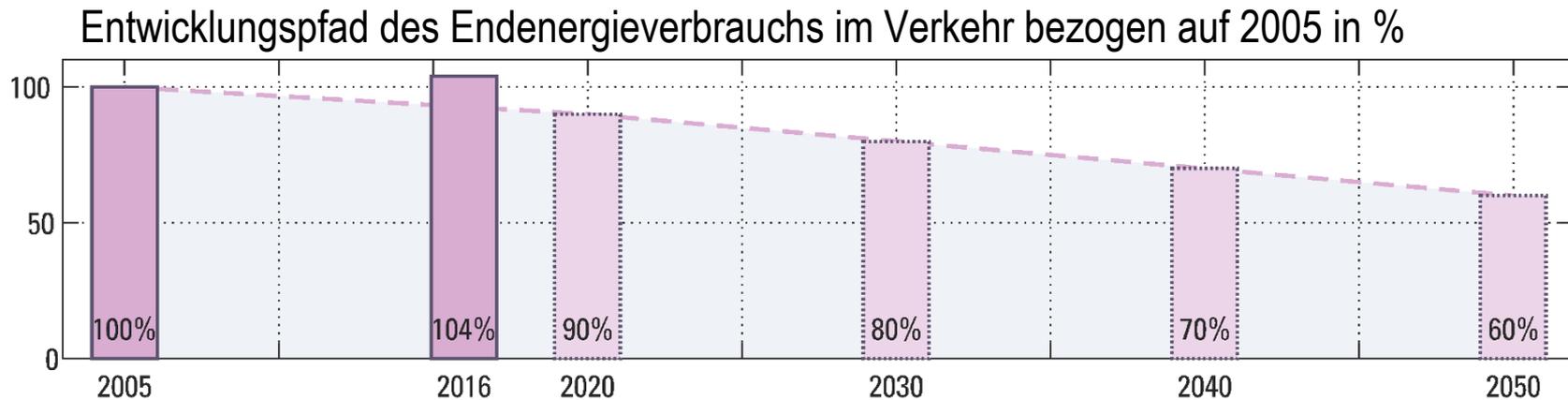


Entwicklungspfad des foss. Primärenergiebedarfs für Wärme bezogen auf 2008 in %



*Bundesregierung Deutschland: *Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung*, 2010 (abgerufen am 9. August 2017) https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.html. – Beschluss des Bundeskabinetts vom 28. September 2010

Einleitung



*Bundesregierung Deutschland: *Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung*, 2010 (abgerufen am 9. August 2017) https://www.bundesregierung.de/ContentArchiv/DE/Archiv17/_Anlagen/2012/02/energiekonzept-final.html. – Beschluss des Bundeskabinetts vom 28. September 2010

Modellansatz

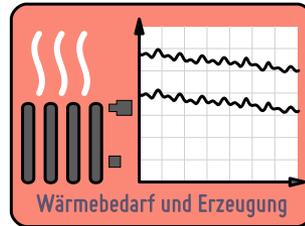
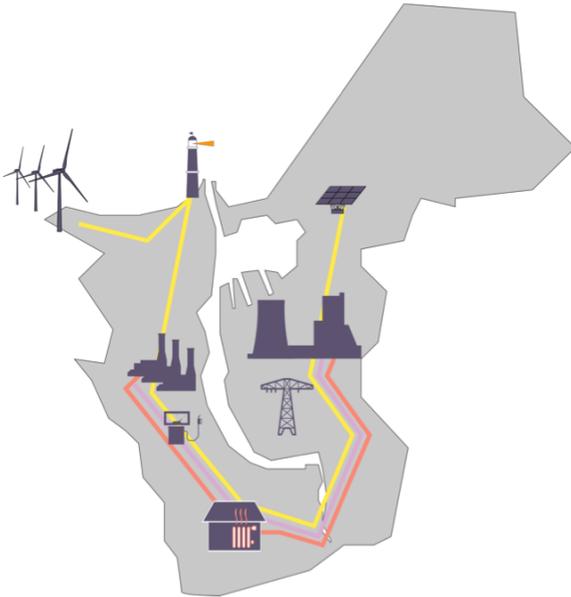
Auswahl auf Basis von Nutzerzahlen und Eignung zur Modellierung gekoppelter Systeme

1. Homer Energy (US Dept of Energy's National Renewable Energy Laboratory)
2. EnergyPLAN (Sustainable Energy Planning Research Group, Aalborg)
3. Long-range Energy Alternatives Planning System (Stockholm Environment Institut)

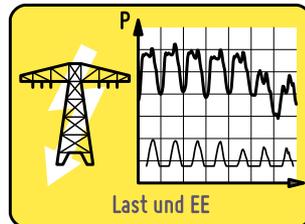
	Homer Energy	EnergyPLAN	LEAP
Technologieangebot zur Sektorenkopplung	Bedingt	Voll	-
Zeitliche Auflösung	Stundenwerte	Stundenwerte	Jahresmittelwerte
Softwareart	Kommerziell	Freeware	Freeware
Ausgabe	Grafisch, textuell	Textuell	Grafisch, textuell
Programmierschnittstellen	Matlab	Nein	Nein

Szenarien & Ergebnisse

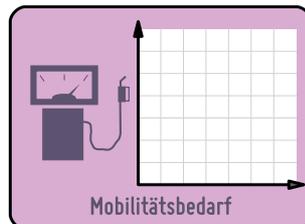
Szenario 2015



- Verbrauch: Summe aus offiziellen Jahreswerten (SWR AG), Zeitverlauf aus Außentemperatur und repräsentativen Warmwasserdaten skaliert
- Erzeugung: Kohlekraftwerk nach real Fahrplan, GuD-Kraftwerk nach Berechnung.



- Verbrauch: skaliertes Zeitverlauf auf Einwohnerzahl der Regelzone 50Hz
- Erzeugung: Einsatz EBS-HKW mit real-Fahrplan, Einspeisung EE nach skalierten Stromnetzdaten (50Hertz), KWK-Strom aus GuD Kraftwerk, Rest Im- und Export

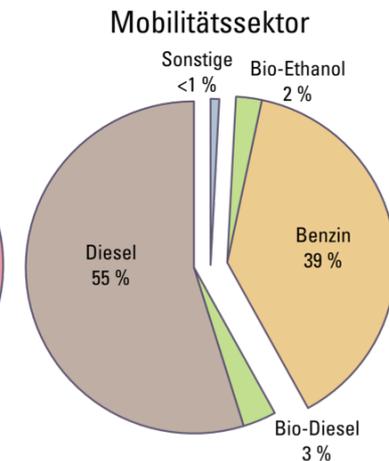
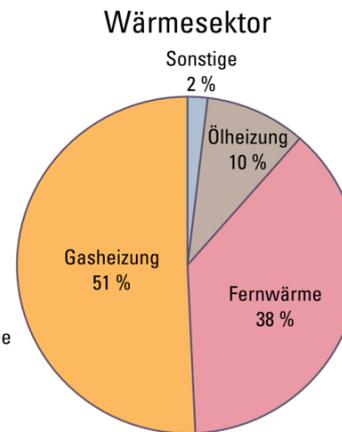
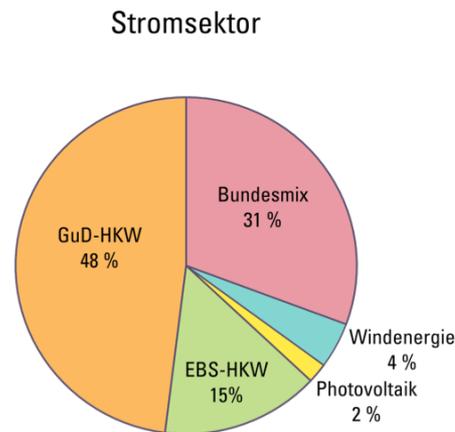
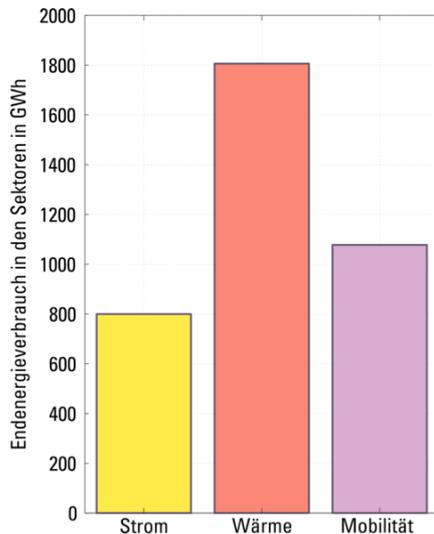


- Verbrauch: Summe anhand gemeldeter Fahrzeuge, Zeitverlauf aus Tankstellenverkäufen (nur Straßenverkehr!)
- Erzeugung: Import

Szenarien & Ergebnisse

Referenzszenario 2015

- Stromverbrauch von ca. 800 GWh
- Stromerzeugung größtenteils aus GuD-HKW, Import, EBS-HKW.
- Endenergieverbrauch Wärme: 1800 GWh
- Wärmeerzeugung über Gasheizungen und Fernwärme
- Endenergie für Mobilität: 1080 GWh
- Endenergiebereitstellung über importierte fossile Kraftstoffe



Szenarien & Ergebnisse

Plausibilitätsprüfung

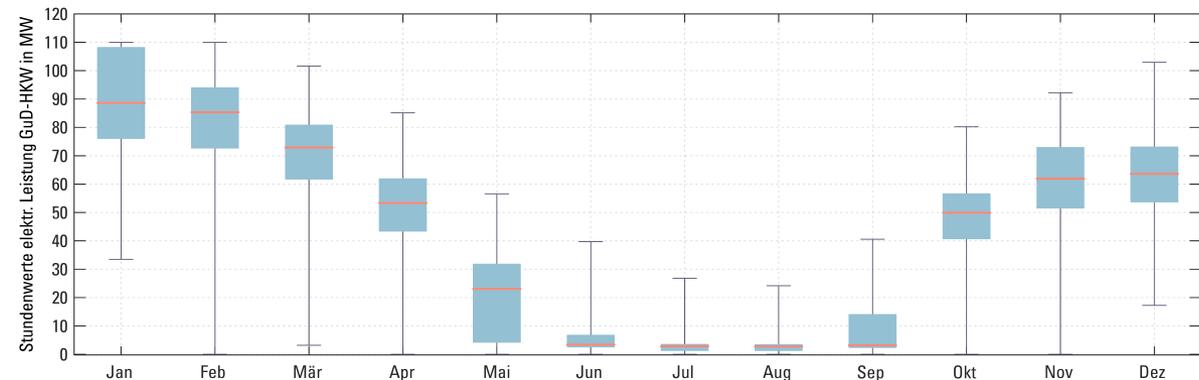
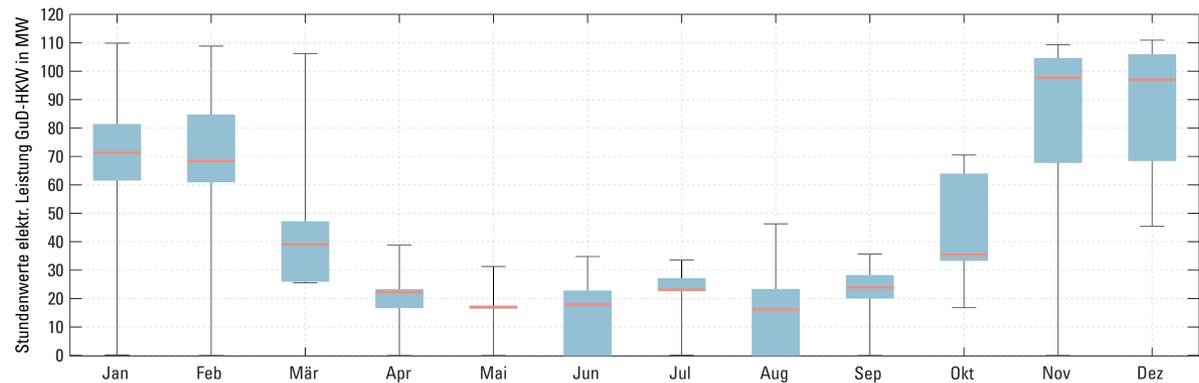
Verteilung der mit EnergyPLAN berechneten stündlichen Stromeinspeisung des GuD-HKW Marienehe in MW

Verteilung der tatsächlichen stündlichen Stromeinspeisung des GuD-HKW Marienehe in MW

Eingespeiste Jahresarbeit:

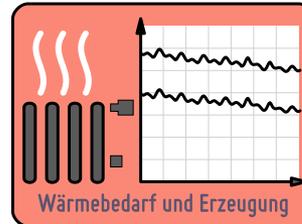
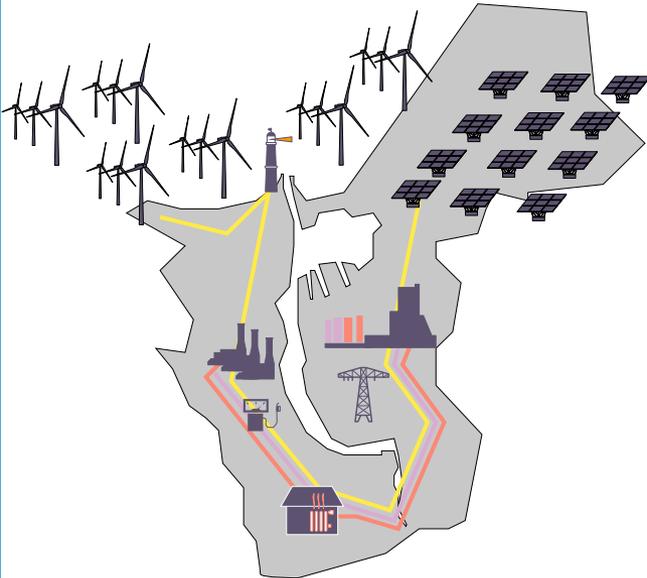
375,8 GWh im Modell

384,0 GWh tatsächlich

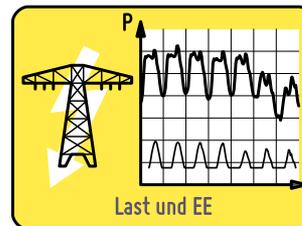


Szenarien & Ergebnisse

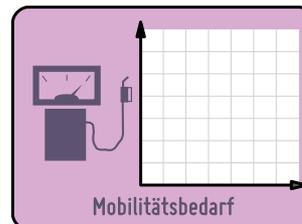
Szenario 2050



- Verbrauch: von 2015 skaliertes Bedarf auf „Entwicklungspfad“*
- Erzeugung: 40%-elektrischer-Wärmepumpenanteil, 2%-Solarthermie, GuD nach Berechnung



- Verbrauch: von 2015 skaliertes Bedarf auf „Entwicklungspfad“*
- Erzeugung: Umsetzung des EE-Anteils nach „Entwicklungspfad“*, Zusätzlich Biomassekraftwerk. KWK-Strom aus GuD.

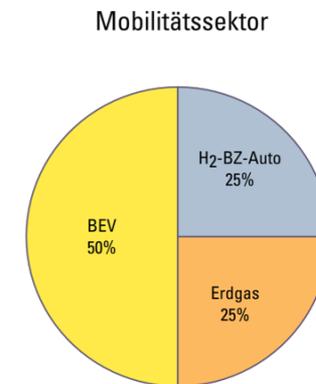
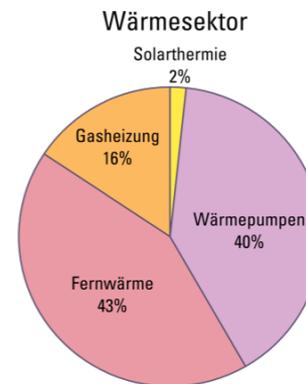
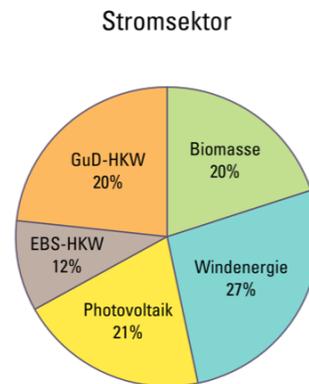
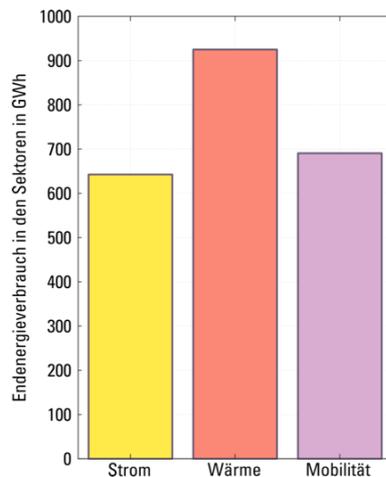


- Verbrauch: von 2015 skaliertes Bedarf auf „Entwicklungspfad“*
- Erzeugung: BEV Batterie-Elektrisch 50%, H2 25%, Erdgas 25% (Annahmen)

Szenarien & Ergebnisse

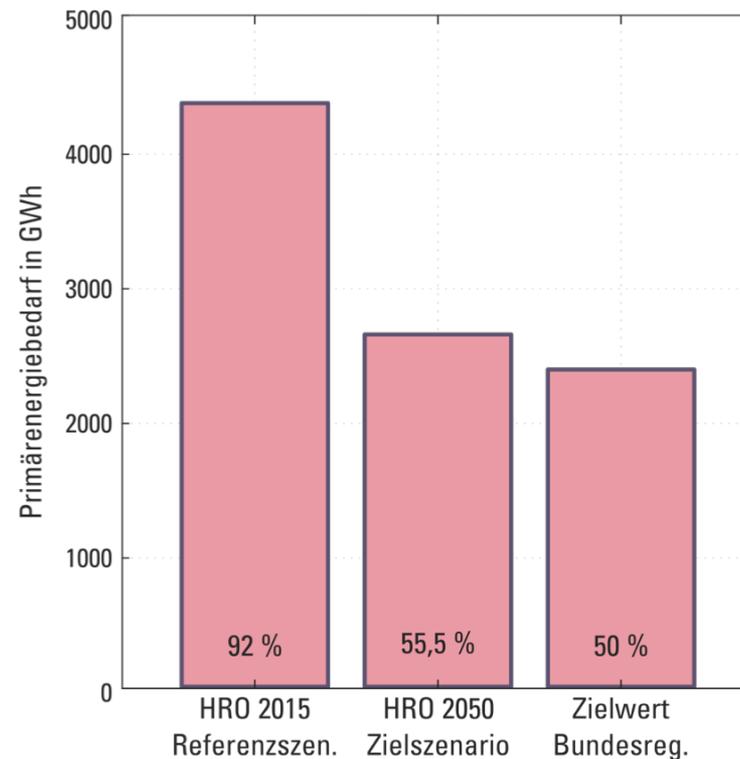
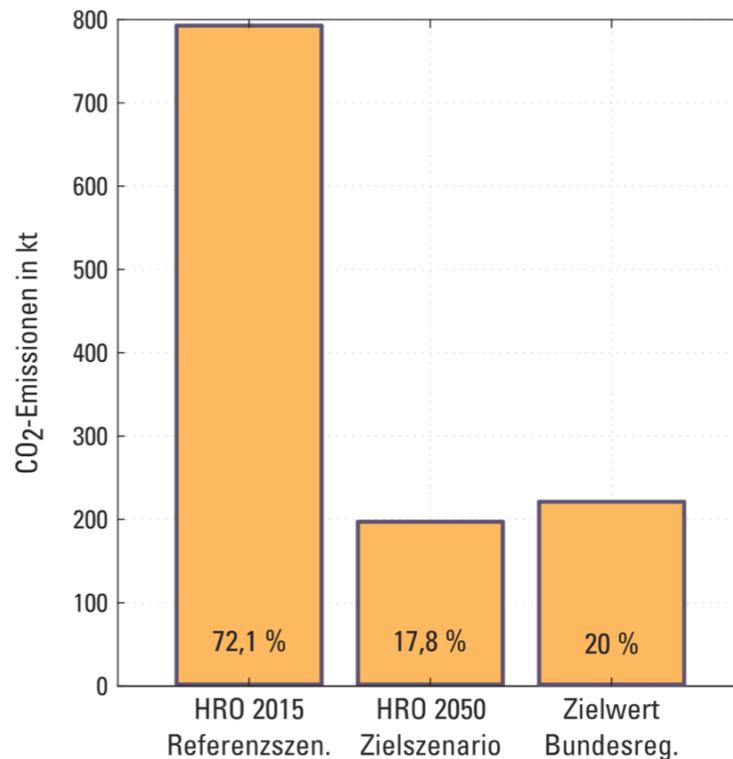
Zielszenario 2050

- Endenergie Stromverbrauch von ca. 642 GWh
- Stromerzeugung 80% aus erneuerbaren Energien!
- Endenergieverbrauch Wärme: 925 GWh
- Wärmeerzeugung über größtenteils Fernwärme und Wärmepumpen (40%)
- Endenergie für Mobilität: 690 GWh
- Bereitstellung über Strom (50%), Wasserstoff (25%), Erdgas (25%)



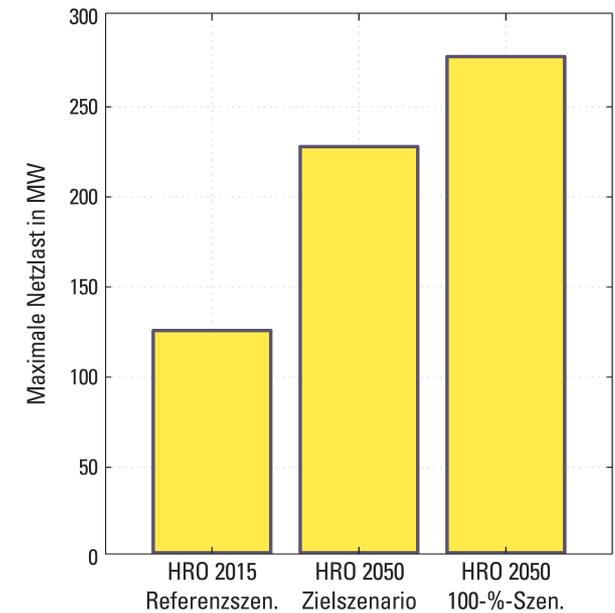
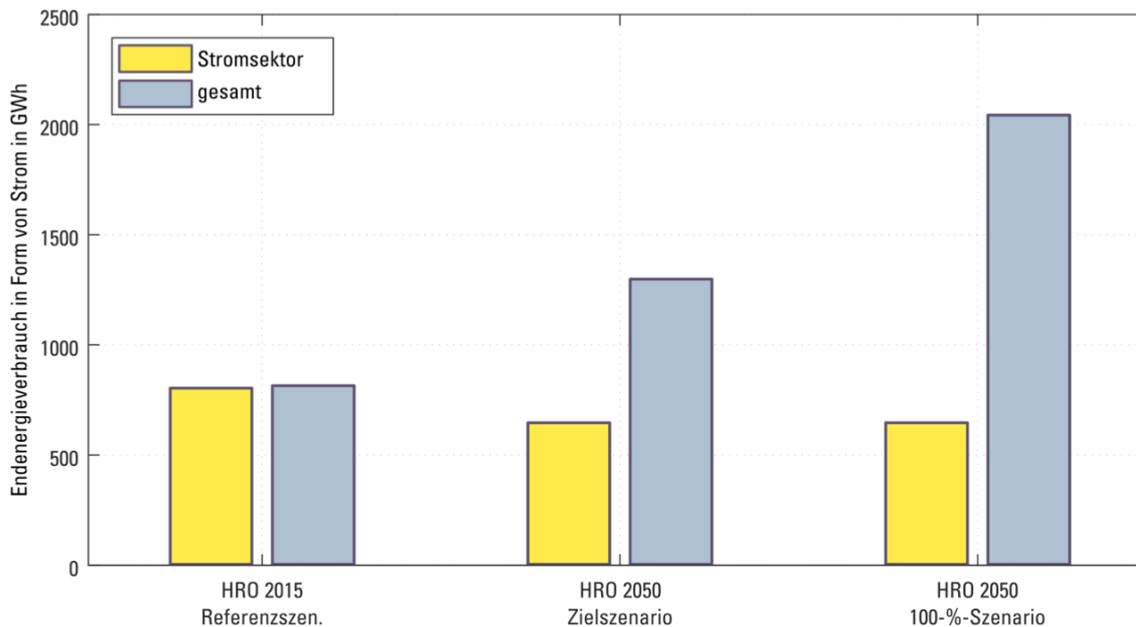
Szenarien & Ergebnisse

Erreichung der Klimaziele



Szenarien & Ergebnisse

Auswirkungen auf das Stromsystem



Zusammenfassung & Ausblick

- Identifikation von EnergyPLAN als geeignetes Softwaretools zur Energieflussmodellierung und Sektorenkopplung.
- Modell eines repräsentativen Energiesystems (Rostock) erstellt, bedatet und validiert.
- Möglichkeit der Demonstration verschiedener Ausbaupfade für Erneuerbare Energien und Sektorenkopplungstechnologie dargestellt:
- Treibhausgasemissionen:
 - Szenario Rostock 2015: 791.000 t CO₂ pro Jahr
 - Szenario Rostock 2050: 195.000 t CO₂ pro Jahr

→ Reduktion von Treibhausgasemissionen von 75% bezogen auf 2015!

Damit Reduktionsziel von 80% bezogen auf 1990 deutlich überschritten!

Nächste Schritte:

- Variation der Sektorenkopplungs-Technologien und Anteile.
- Energiesystem für den ländlichen Raum und Skalierung auf das Bundesland Mecklenburg-Vorpommern.
- Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit

Danksagung

Dieses Forschungsprojekt ist durch den Europäischen Sozialfonds (ESF) und durch das Bundesland Mecklenburg-Vorpommern im Rahmen der Landesexzellenzinitiative „NetzStabil“ gefördert (Projekt-nummer: 63160020231043-74).



Europäische Fonds EFRE, ESF und ELER
in Mecklenburg-Vorpommern

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

