

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

Geothermiekongress 2018

Heizen mit geothermischen Wärmepumpensystemen – Beitrag für einen klimaneutralen Gebäudebestand

Christiane Lohse

Fachgebiet I 2.3 Erneuerbare Energien

Jens Schuberth

Fachgebiet I 2.4 Energieeffizienz

Gliederung

1 KLIMASCHUTZZIELE – MEILENSTEINE FÜR EINEN KLIMANEUTRALEN GEBÄUDEBESTAND IN 2050

- Klimaschutz und Transformation des Energiesystems
- Nationaler Klimaschutzplan 2050
- CO₂-Emissionen der Gebäude
- Endenergieverbrauch der Gebäude

2 SZENARIEN FÜR DIE TREIBHAUSGASREDUKTION IM GEBÄUDEBESTAND

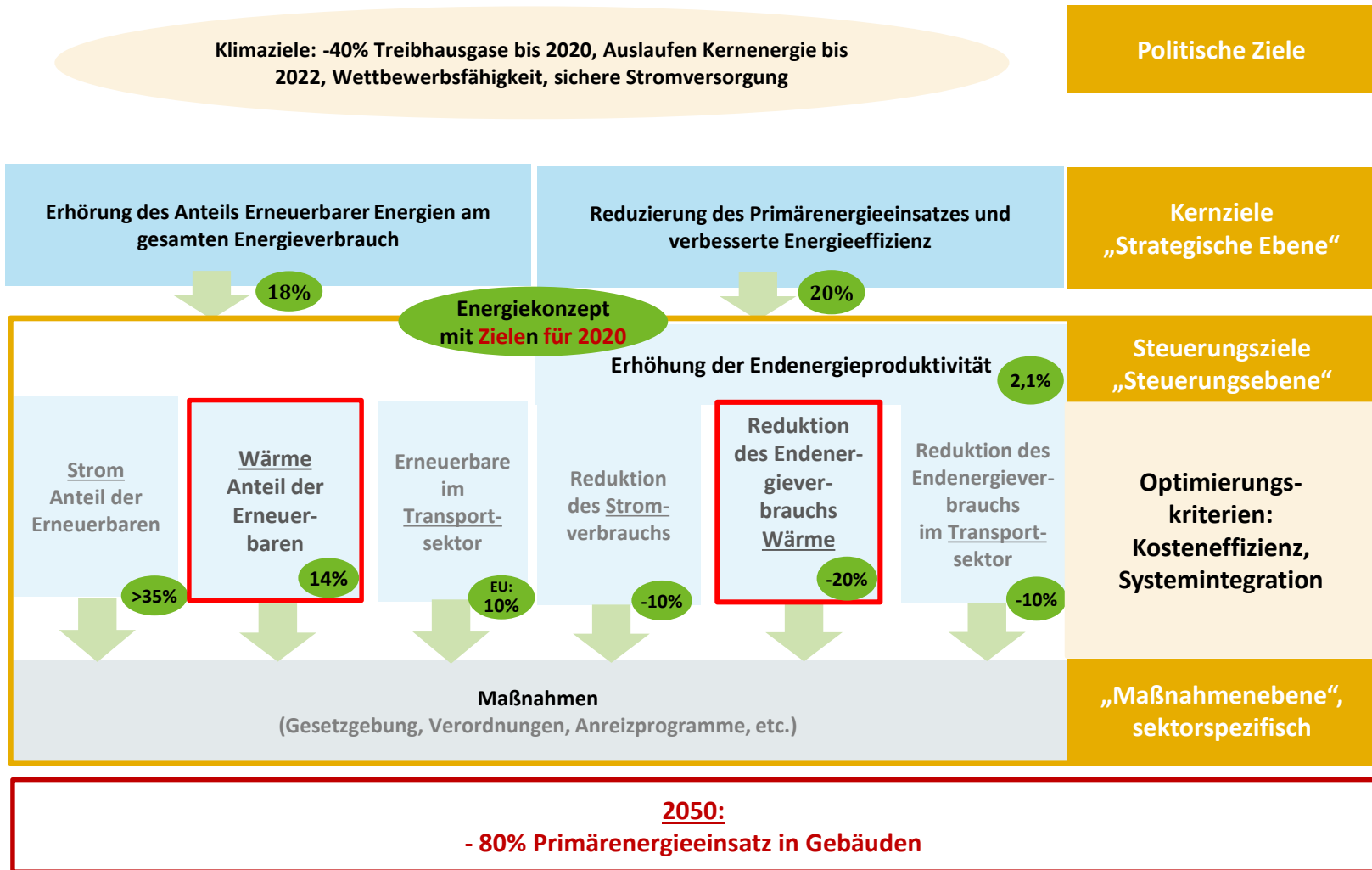
- Ressourcenschonendes und treibhausgasneutrales Deutschland 2050 (UBA, RTD)
- Ökonomisch optimierte Prospektion bis 2050 (Fraunhofer ISE)

3 NACHHALTIGKEIT VON WÄRMEPUMPENSYSTEMEN

- Räumliches Ausbaupotenzial erdgekoppelter Wärmepumpen (GIS)
- Wärmepumpen — Effizienzbedingungen, Effizienz im Betrieb

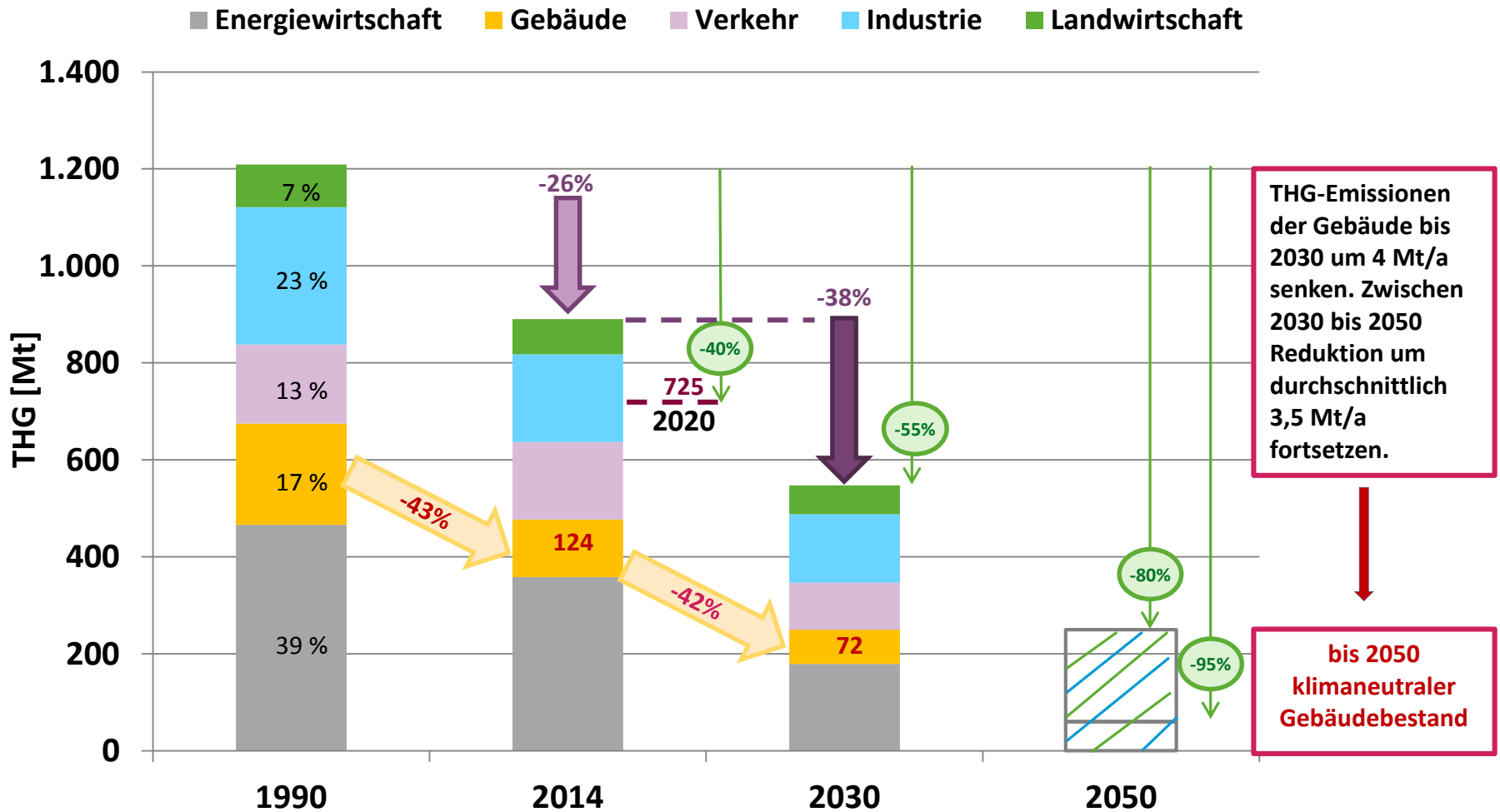
4 UMWELTVERTRÄGLICHKEIT VON WÄRMEPUMPENSYSTEMEN

Klimaschutz und Transformation des Energiesystems



Quelle: eigene Darstellung auf Basis BMU

Nationaler Klimaschutzplan 2050

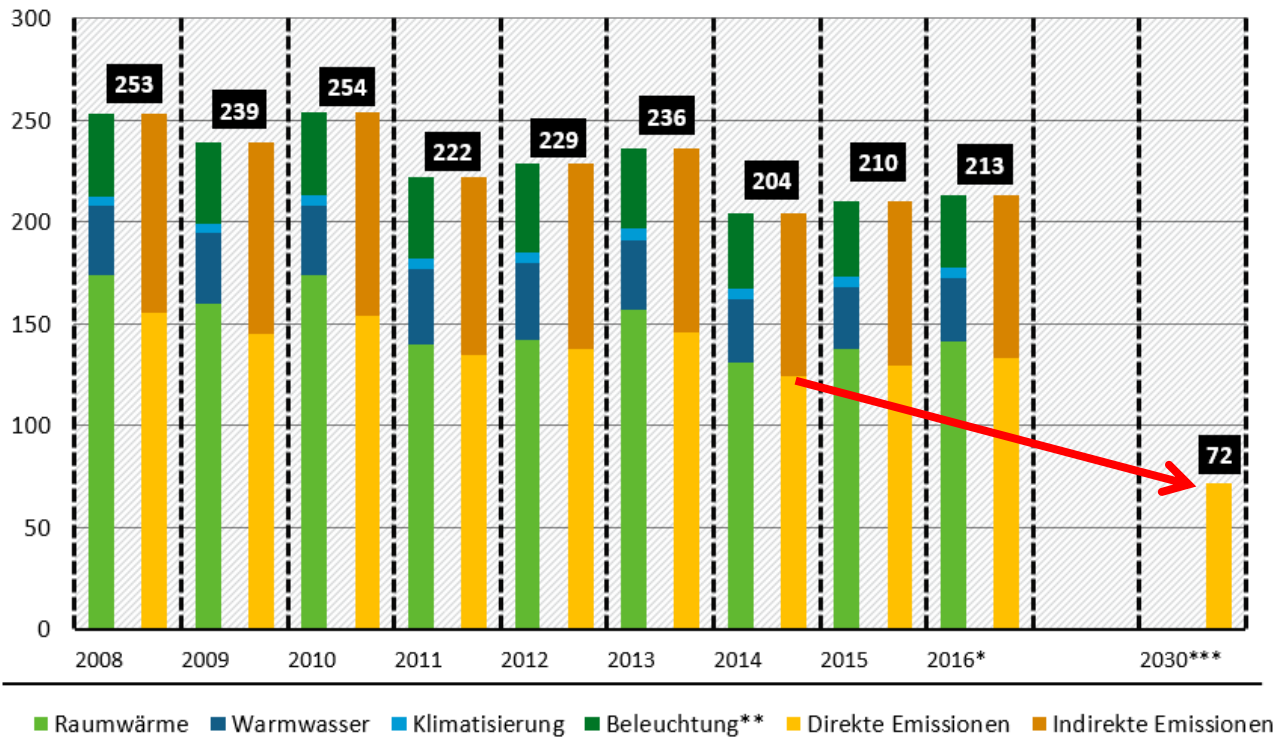


Quelle: Lohse&Wagener-Lohse (ECOS, 2018); Daten: Berechnungen UBA auf Basis AGEb

THG - Emissionen der Gebäude

THG – Emissionen (gebäuderelevant)

Mt CO_{2äq}



* vorläufige Angaben

** nur feste Beleuchtung der Industrie und des GHD-Sektors

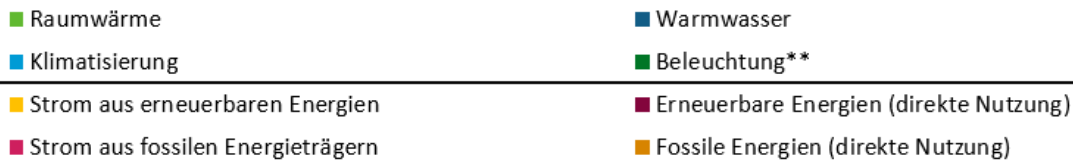
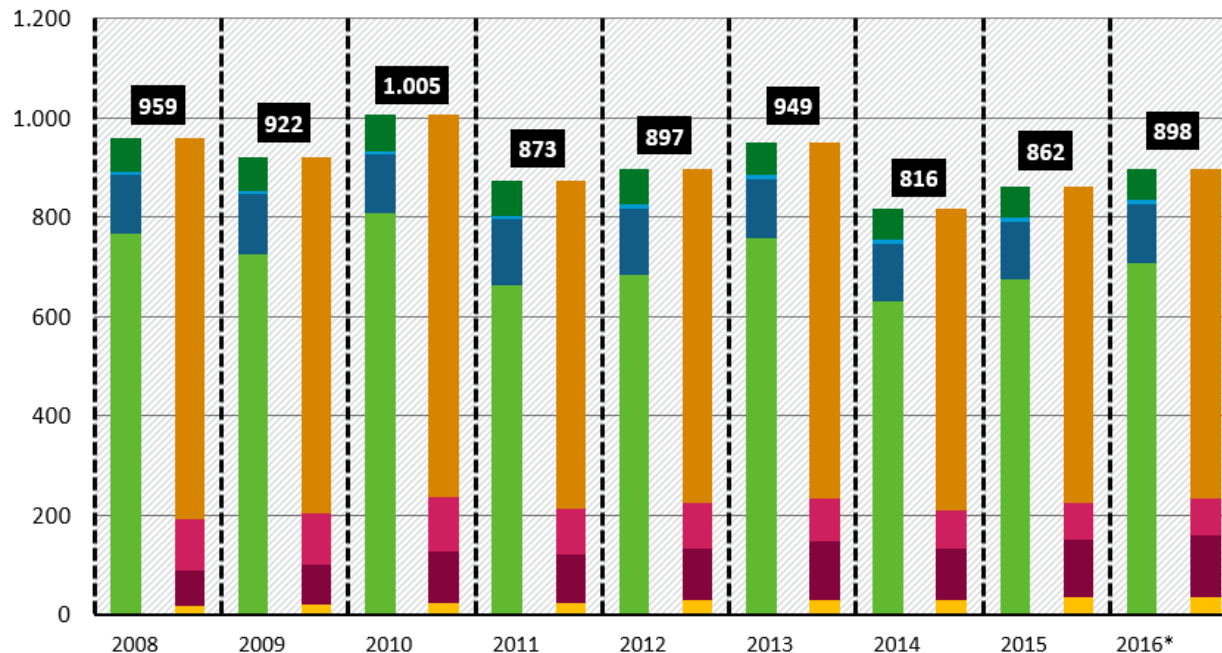
*** Ziel des Klimaschutzplans 2050

Quelle: Eigene Berechnung des UBA auf Basis AGEb, Anwendungsbilanzen, Stand 12/2017; UBA, Emissionsbilanz, Stand 10/2017; UBA, CO₂-Emissionsfaktoren, Stand 09/2016; BMU, Klimaschutzplan 2050, Stand 11/2016

Endenergieverbrauch der Gebäude

Gebäuderelevanter Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Anwendungen

TWh



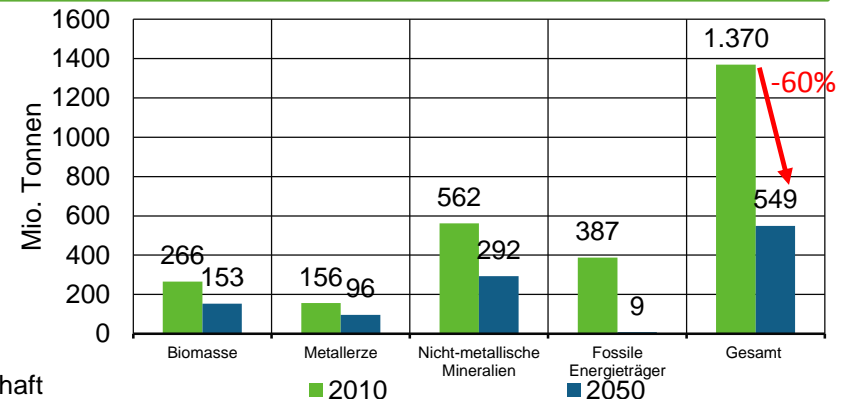
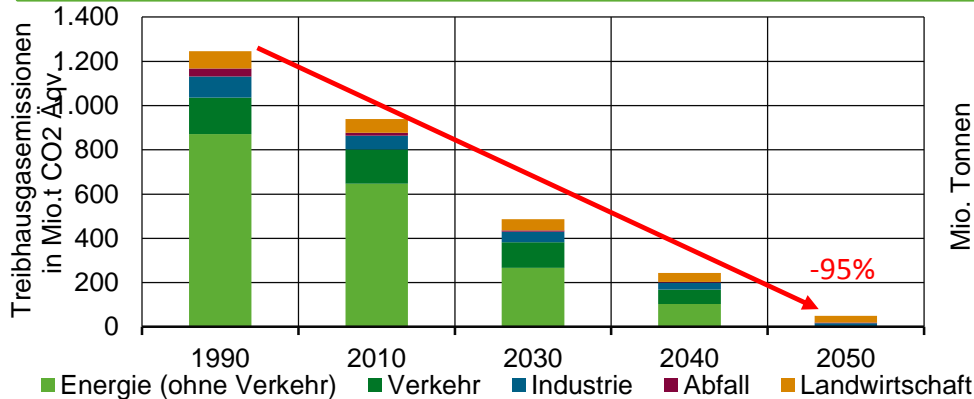
* vorläufige Angaben

** nur feste Beleuchtung der Industrie und des GHD-Sektors

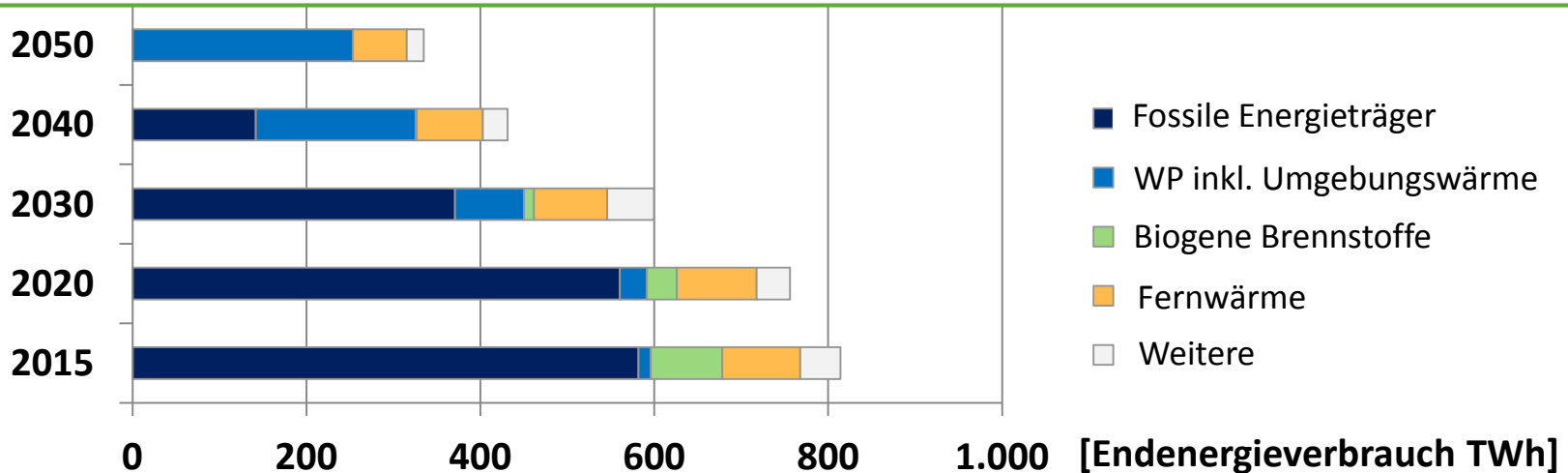
Quelle: Eigene Darstellung UBA auf Basis AGEB, Anwendungsbilanzen, Stand 12/2017

Ressourchenschonendes und treibhausgasneutrales Deutschland 2050 – GreenEe-Szenario Gebäude (UBA, RTD)

GreenEe-Szenario – Gebäude (sowohl treibhausgasneutral als auch ressourchenschonend)



Entwicklung Endenergiewärmebedarf (Raumwärme und Warmwasser) für Gebäudebestand nach Art der Heiztechnik und Energieträger [GreenEe-Szenario - Gebäude]



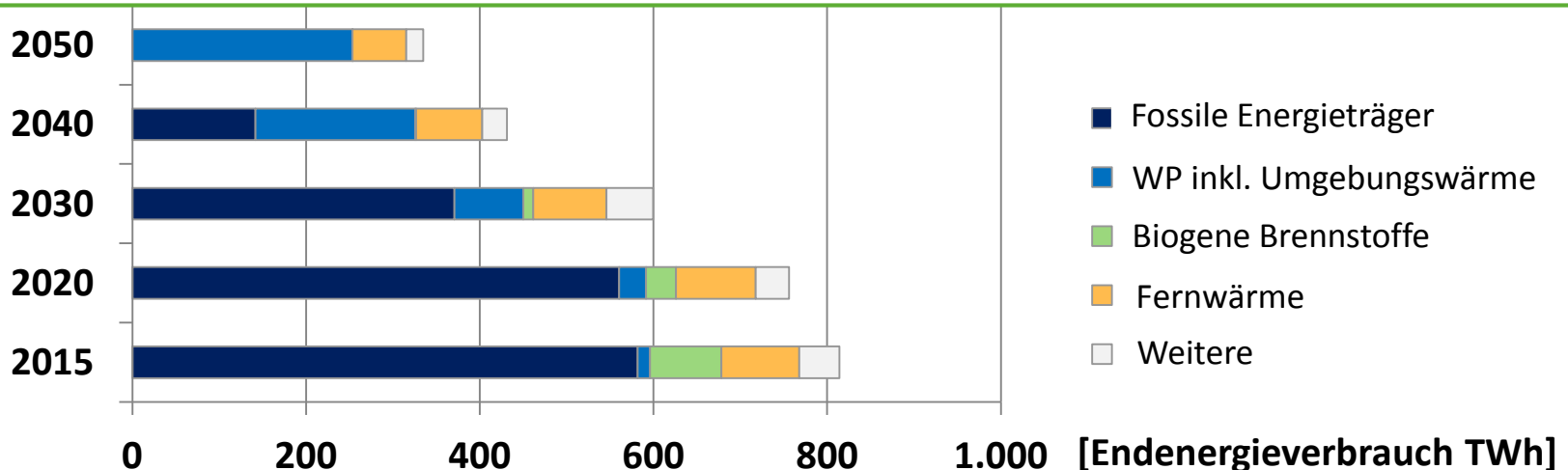
Quelle: eigene Darstellung auf Basis UBA-Publikation "Den Weg zu einem treibhausgasneutralen Deutschland ressourchenschonend gestalten", Dessau Okt 2017

Ressourchenschonendes und treibhausgasneutrales Deutschland 2050 – GreenEe-Szenario Gebäude (UBA, RTD)

Charakteristika des GreenEe-Szenario – Gebäude

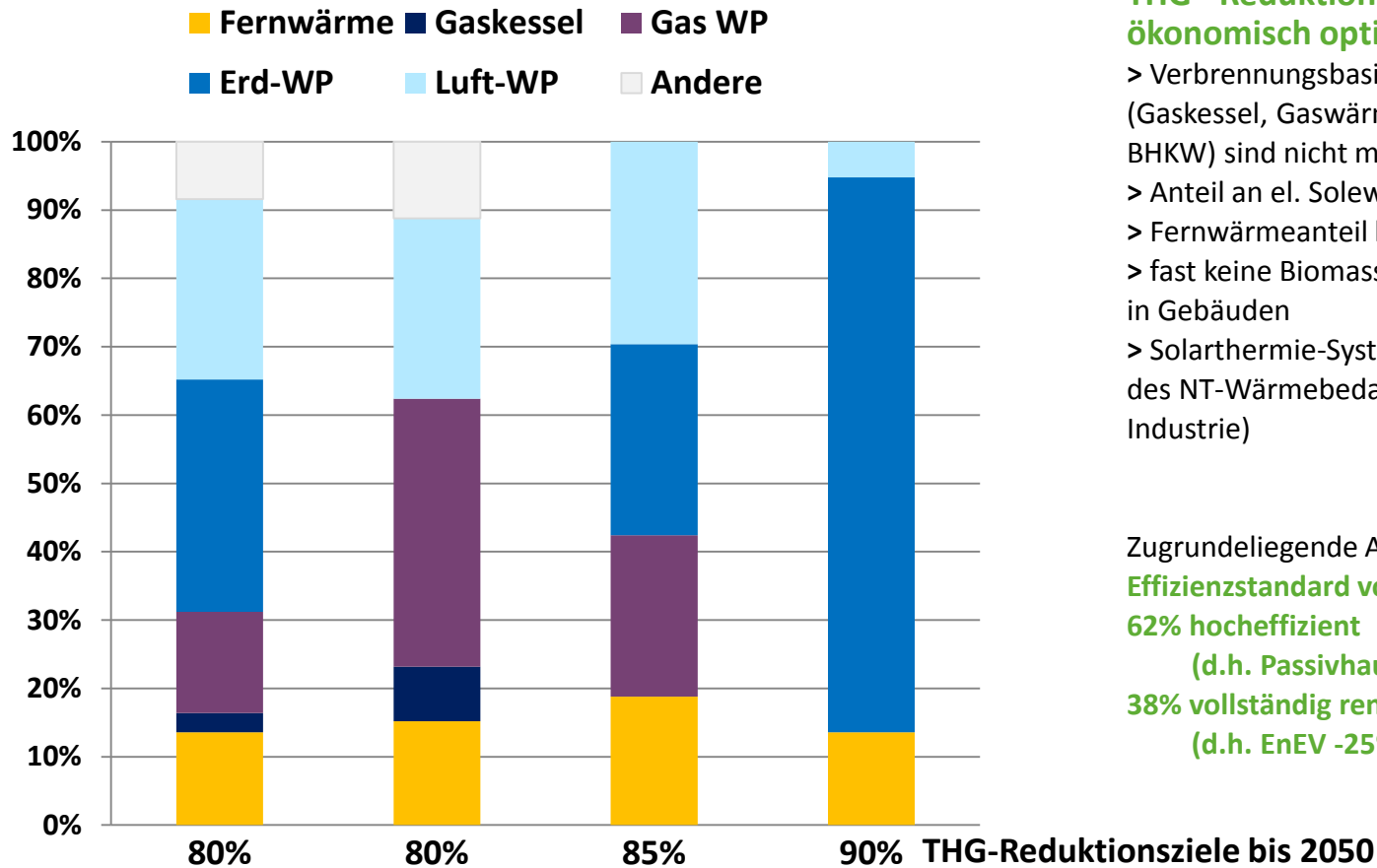
- sehr hohe Sanierungsstandards
- Sanierungsrate ansteigend auf 2,2 % (2020) und weiter bis 3 % (2050)
- bis 2050 Wärmepumpen und Fern-/Nahwärme verdrängen vollständig Öl- und Gaskessel aus der Heizwärmeversorgung
 - ab 2020: kein Neubau von Ölheizungen
 - ab 2030: kein Neubau dezentraler Heizungen mit biogenen Brennstoffen
 - ab 2040: kein Neubau von Gasheizungen

Entwicklung Endenergiewärmebedarf (Raumwärme und Warmwasser) für Gebäudebestand nach Art der Heiztechnik und Energieträger [GreenEe-Szenario - Gebäude]



Quelle: eigene Darstellung auf Basis UBA-Publikation "Den Weg zu einem treibhausgasneutralen Deutschland ressourchenschonend gestalten", Dessau Okt 2017

Ökonomisch optimierte Prospektion bis 2050 (Szenarien: Fraunhofer ISE)



Kohleverstromung

Auslaufen Kohleverstromung bis 2040

ambitionierte Gebäudesanierungsrate von 3 % p.a.

THG - Reduktion um 90% bis 2050, ökonomisch optimiert:

- > Verbrennungsbasierte Technologien (Gaskessel, Gaswärmepumpe, kleines BHKW) sind nicht mehr relevant
- > Anteil an el. Solewärmepumpen fast 80%
- > Fernwärmeanteil bei 15% bis 20%
- > fast keine Biomasse zur Wärmeversorgung in Gebäuden
- > Solarthermie-Systeme decken einen Teil des NT-Wärmebedarfs (Gebäude und Industrie)

Zugrundeliegende Annahmen

Effizienzstandard von Gebäuden in 2050:

62% hocheffizient

(d.h. Passivhausstandard)

38% vollständig renovierten

(d.h. EnEV -25%)

Quelle: Darstellung Lohse&Wagener-Lohse (ECOS, 2018); Daten ISE-Studie "What will the energy transformation cost?", ISE, Nov 2015

Räumliches Ausbaupotenzial erdgekoppelter Wärmepumpen (GIS)

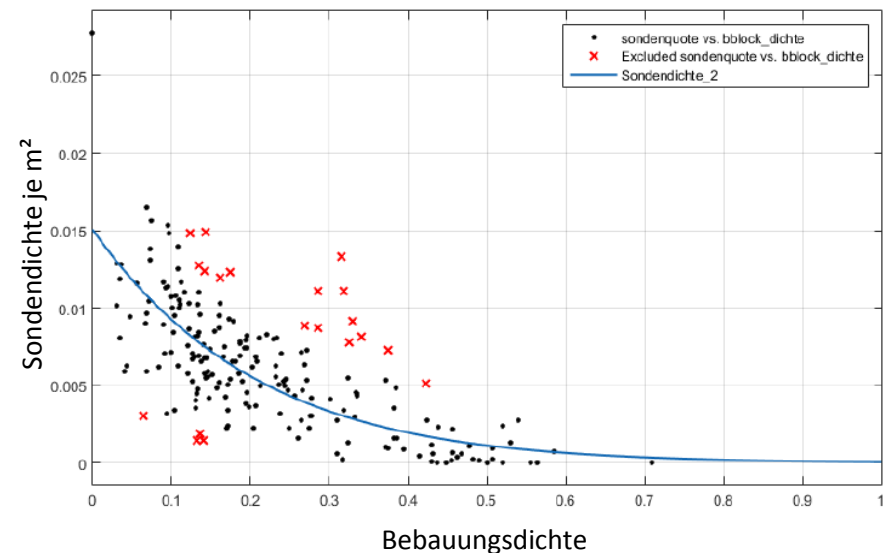
Welches Potenzial besteht aufgrund der Rauminanspruchnahme der Systeme? Zeigt die GIS-basierte Analyse entsprechend nutzbare Freiräume?



Analyse: aus Daten Liegenschaftskataster von 3 Mio Wohnkomplexen (Art, Anzahl, Wärmebedarf, Grundfläche) sieben Siedlungsdichteklassen gebildet.

➤ Max. Deckungsgrad 44% - 74%, 2050 bis zu 150 TWh Wärme mit Erd-WP'en

Restriktionen Schutzgebiete (Land, Boden, Wasser) beachtet, geophysik./techn. Einschränkungen (Ressourcenmanagement Wärmequelle) beachtet, Restriktionszonen für Bohrungen ausgewiesen; Annahmen SCOP 5 (2030), SCOP 6 (2050)

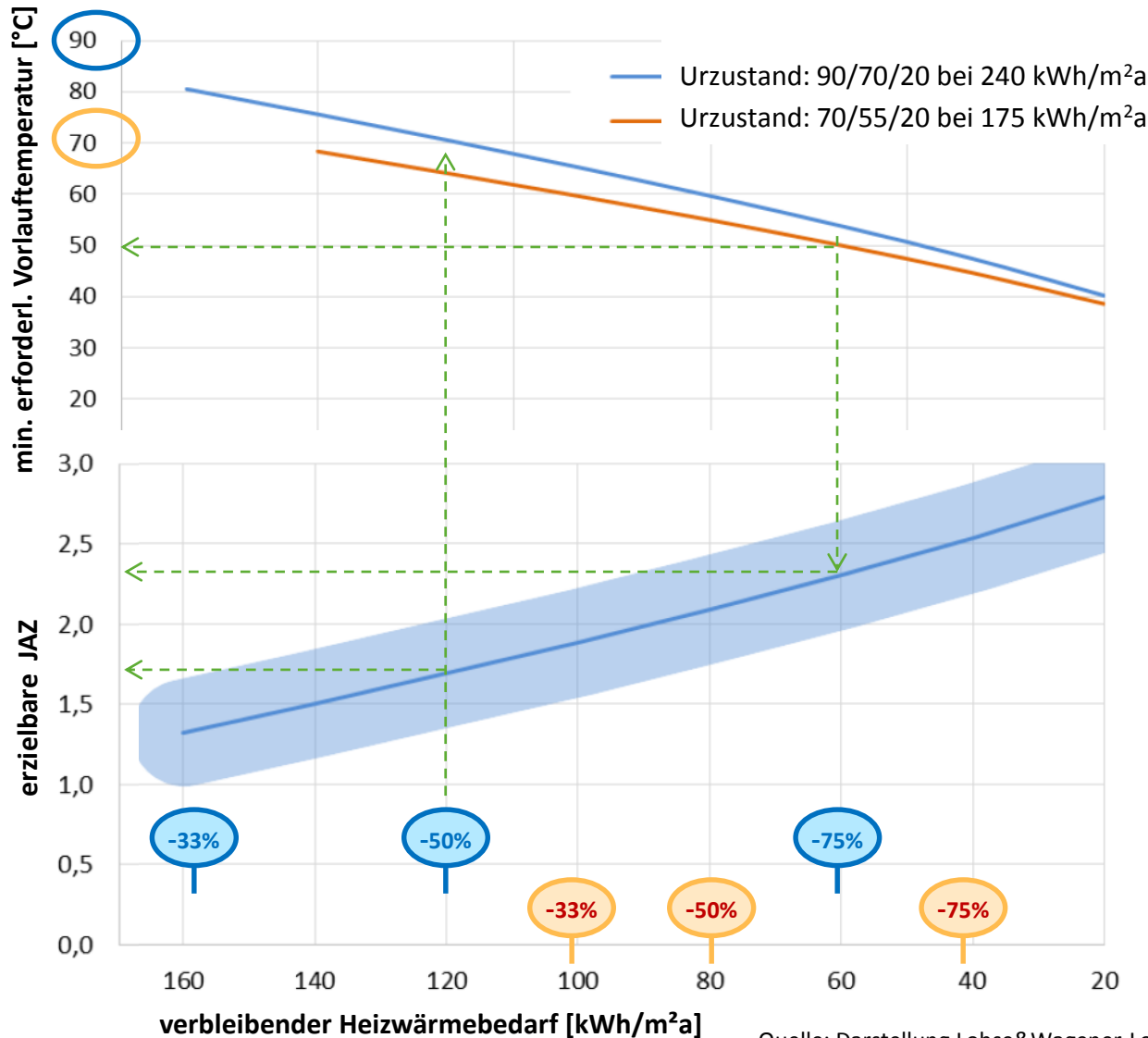


... und Luft-Wärmepumpen im Bestand?

Verteilung der max. möglichen Sondendichte in Abhängigkeit von der Bauungsdichte

Quelle: Jochum P., et al., Feb 2017

Wärmepumpen im Gebäudebestand – Effizienzbedingungen



Berechnungen:
Erzielbare Effizienz von Luft-WPEn in Altbauten mit hohen Vorlauftemperaturen und hohem Heizwärmebedarf.

Gegenseitige Abhängigkeit von verbleibendem Heizwärmebedarf und minimal erforderliche Vorlauftemperatur.

Zwei Fallbeispiele mit entsprechender Vorlauf-/Rücklauf-/ Raumtemperatur:
 90/70/20 bei 240 kWh/m²a (=100 W/m²) und 175 kWh/m²a 70/55/20 (=80 W/m²).

Resultierender saisonaler Leistungskoeffizient (JAZ) in Abhängigkeit vom verbleibenden Heizwärmebedarf.

(Blaues Feld ... Unsicherheitsbereich)

Quelle: Darstellung Lohse&Wagener-Lohse (ECOS, 2018); Daten: Jochum P., et al., Feb 2017

Innovative Wärmepumpen-Konzepte

OBERFLÄCHENNAHE ERDSPEICHER

- Einspeichern von Solarwärme in Erdspeicher
- Solarertrag steigt auf 700 kWh/m²
- SCOP / Jahresarbeitszahl ≈ 5,5



<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gut-fuers-klima-die-mieter>; eZeit Ingenieure;

EISSPEICHER

- Einspeichern von Solar-/Abwärme
- Hohe Speicherkapazität durch Phasenwechsel:
Wärmekapazität Wasser: 4,2 kJ/kgK
Schmelzenthalpie: 333 kJ/kg



<https://www.baunetzwissen.de/heizung/tipps/newsprodukte/heizen-und-kuehlen-mit-einem-eisspeicher-5060363>; Viessmann, Allendorf

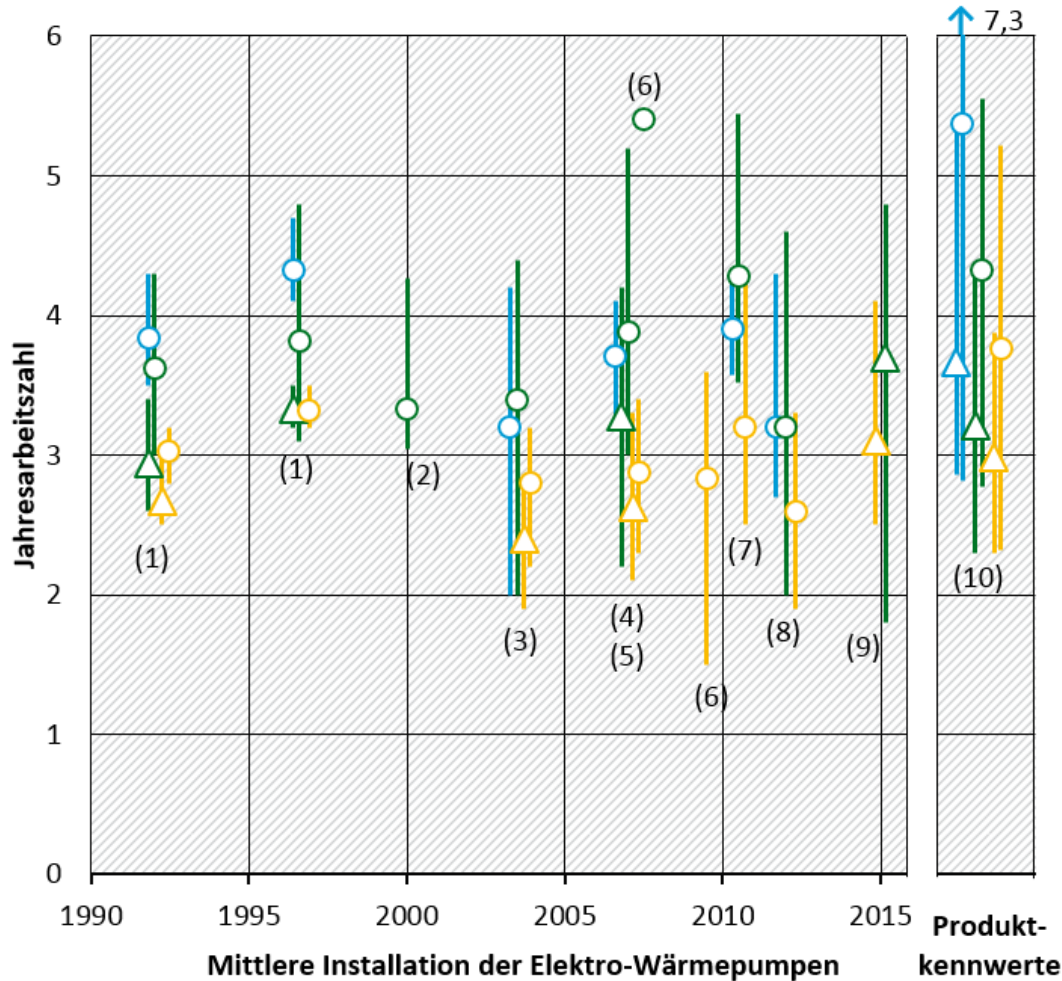
ABWASSER ALS WÄRMEQUELLE

- Potenzial: 5 % des Heizwärmebedarfs in Deutschland
Ifeu für BMU: <https://www.ifeu.de/kommunale-abwaesser-als-potenzial-fuer-die-waermewende/>
- Gut geeignet für verdichtete Räume
- Projekterfahrungen seit 1980er...doch nur wenige Anlagen



<https://www.umweltbundesamt.de/themen/abwasserkanal-der-stadt-aachen-wird-waermequelle>; STAWAG Energie GmbH;

Energieeffizienz von Wärmepumpen im Betrieb



Ausgewertete Feldtests:

- (1) R. Heidelck, Primärenergiebedarf und Treibhausgasemissionen von modernen Wärmepumpen, Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik e.V., Hannover 2000 (88 Anlagen)
- (2) M. Ewert, Feldtest bestätigt hohe Effizienz von Wärmepumpen, in: HLH 3/2005, S. 24ff. (14 Anlagen; ohne andere Anlagentypen bzw. nicht ausgewertete Anlagen)
- (3) F. Auer, H. Schote, Zweijähriger Feldtest Elektro-Wärmepumpen am Oberrhein, Agenda Gruppe Lahr 2008 (33 Anlagen; ohne Warmwasser-Wärmepumpen)
- (4) C. Russ et al., Feldmessung Wärmepumpen im Gebäudebestand, Freiburg 2010 (71 Anlagen; nur Anlagen für Raumwärme und Warmwasser)
- (5) M. Miara et al., Wärmepumpen Effizienz, Freiburg, Februar 2011 (112 Anlagen)
- (6) F. Auer, H. Schote, Feldtest Wärmepumpen: Wärme aus der Umwelt auch gut für die Umwelt?, Agenda Gruppe Lahr 2014 (7 Anlagen; nur Anlagen mit passender Bilanzgrenze und Anwendungsbereich; ohne andere Anlagentypen)
- (7) M. Miara et al., Wärmepumpen-Monitor, Freiburg 2014 (37 Anlagen; ohne aus (5) fortgeführte Anlagen)
- (8) A. Bergmann, H. Erhorn, Energieeffizienz elektrisch angetriebener Wärmepumpen - Praxisergebnisse aus dem Monitoring, Fraunhofer IBP Mitteilung 44, Stuttgart 2017 (23 Anlagen; nur Anlagen mit passender Bilanzgrenze)
- (9) D. Günther, M. Miara, Feldtests bestätigen Potenzial von Wärmepumpen, in: HLH 3/2018, S. 25ff. (27 Anlagen; inkl. Ausreißern, teilweise mit Fußbodenheizung)
- (10) VdZ e.V., Datenbank Heizungslabel.de, Sonderauswertung für das Umweltbundesamt, Berlin 2017

Wärmequelle und Einsatzbereich der Wärmepumpen:

- | | | |
|-----------------|-------------------|---------------|
| ▲ Wasser Altbau | ▲ Erdreich Altbau | ▲ Luft Altbau |
| ○ Wasser Neubau | ○ Erdreich Neubau | ○ Luft Neubau |

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/erneuerbare-energien/umgebungswaerme-waermepumpen>

Umweltverträglichkeit von Wärmepumpensystemen - Emissionen

LÄRMEMISSIONEN BEI LUFTWÄRMEPUMPEN

- Bei starkem Ausbau von Luft-Wärmepumpen ggf. neuartige Lärmbelästigung in Wohngebieten
- Bewusstsein für niederfrequenten Lärm nimmt zu
- Geräte werden leiser
- Hinweise auf Maßnahmen sind verfügbar: Leitfaden, Apps etc.



<https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/nachbarschaftslaerm-laerm-von-anlagen/haustechnische-anlagen>

TREIBHAUSGASEMISSIONEN DURCH ENTWEICHEN DES ARBEITSFLUIDS

- Bei Verwenden von treibhauswirksamen Kältemitteln wie HFKW (HFKW mit Treibhausgaspotenzial bis zu 4.000-fach über CO₂)
- Freisetzung verhindern – Bau, Betrieb, Entsorgung
- Hersteller passen das Design an alternative Kältemittel an
- Gezielte Substitution der Stoffe: F-Gas-Verordnung 2014/517/EU begrenzt das Inverkehrbringen von HFKW



<https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaftskonsum/produkte/fluorierte-treibhausgase-fckw/>

Umweltverträglichkeit von Wärmepumpensystemen - Emissionen

BODENSCHUTZ, GEWÄSSERSCHUTZ

- Wenn das Wärmeträgermedium eine Mischung aus Wasser und einem Frostschutzkonzentrat auf Glykolbasis ist
 - Frostschutzmittel darf WGK 1 nicht überschreiten, Verordnung zu Rohrleitung und Abdichtungsverfüllung einhalten
 - In Zone III von Wasserschutzgebieten, Mineralquellen, Mineralwassereinzugsgebieten reines Wasser als Wärmeträgermedium
 - Nutzungskonflikte mit der öffentlichen Wasserversorgung (Trinkwassergewinnung) und der Wasserwirtschaft vermeiden: Geltung des WHG, insbesondere § 5

INDUZIERTER TEMPERATURÄNDERUNGEN IM GRUNDWASSER

- Thermische Auswirkungen nicht gesetzlich geregelt
 - Technischer Leitfaden VDI-Richtlinie 4640, Teil 1: Temperaturänderung sollte ± 6 K nicht überschreiten, bei Wärmeeintrag ins Grundwasser sollte Temperatur von 20°C nicht überschritten werden.
 - UBA F+E - Projekt
 - > Einfluss induzierter Temperaturänderungen auf die physikalisch-chemische Beschaffenheit und das Ökosystem des Grundwassers.
 - > Geringfügigkeitsschwellen identifizieren, Ökosystemfunktion erhalten; Tolerierbarkeit einstufen

Fazit

ÜvParis > Klimaneutralität im Gebäudebestand ressourcenschonend erreichen!

Die UBA-Szenarienstudie „**GreenEe-Szenario**“ verdeutlicht: Klimaneutralität im Gebäudesektor ist nur erreichbar bei **sehr niedrigem Nutzenergiebedarf** und **vollständiger Versorgung mit erneuerbaren Energien**.

Die **Elektrifizierung** im **Niedrig-Exergie-Wärmesektor** — vorzugsweise mit Elektro-WPen — ist die wichtigste Option (ressourcenschonend und unter wirtschaftlichen Optimierungsgesichtspunkten), um den **gründlich sanierten Gebäudebestand** im Jahr 2050 mit 320 TWh Niedertemperaturwärme zu versorgen.

- Jährliche **Gebäudesanierungsrate** auf 3 % steigern;
Wärmeenergieverbrauch absenken, so sinkt die Lastinanspruchnahme der WPen und der Strombedarf im Wärmesektor;
Altbauten sanieren: erst unter 120 kWh/m²a Heizenergiebedarf Wpen-tauglich.
- **Ertrag** durch innovative technische Konzepte steigern, z.B.:
WPen mit anderen Erneuerbaren kombinieren;
lokal erzeugten PV-Strom nutzen und Treibhausgasbilanz direkt verbessern.
- Finanzierungs- und Governance-Initiativen auf WPensysteme konzentrieren, die eine hohe **Energieeffizienz** aufweisen: Jahresarbeitszahl (JAZ, SCOP) 3,5 besser 4,0 bis 4,5;
Zubau von **geothermischen WPensystemen** deutlich steigern auf mehr als 50% aller WPensysteme (i.d.R. höhere Effizienzwerte und weniger Antriebsstrom).
- Ökologisch sensible Bereiche als Restriktionszonen von der Nutzung erdgekoppelter Systeme ausschließen.
Jedoch räumliches **Ausbaupotenzial** bestimmen und optimal nutzen.
- Technische Auslegung und Installation optimieren: **Effizienzsteigerungen** von 10% bis 50% sind möglich;
Energieeffizienz transparent machen („Effizienzanzeige“), das zeigt Handlungsbedarfe und Verbesserungspotenziale auf.
- **Leitfrage zur Umweltverträglichkeit**: Wie schützen wir die natürlichen Grundwasserressourcen und ermöglichen gleichzeitig die Nutzung der geothermischen Ressourcen und schöpfen dieses Potenzial für die Entwicklung eines klimaneutralen Gebäudebestands aus?

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Name Autor/in

Christiane.Lohse@uba.de

Jens.Schuberth@uba.de

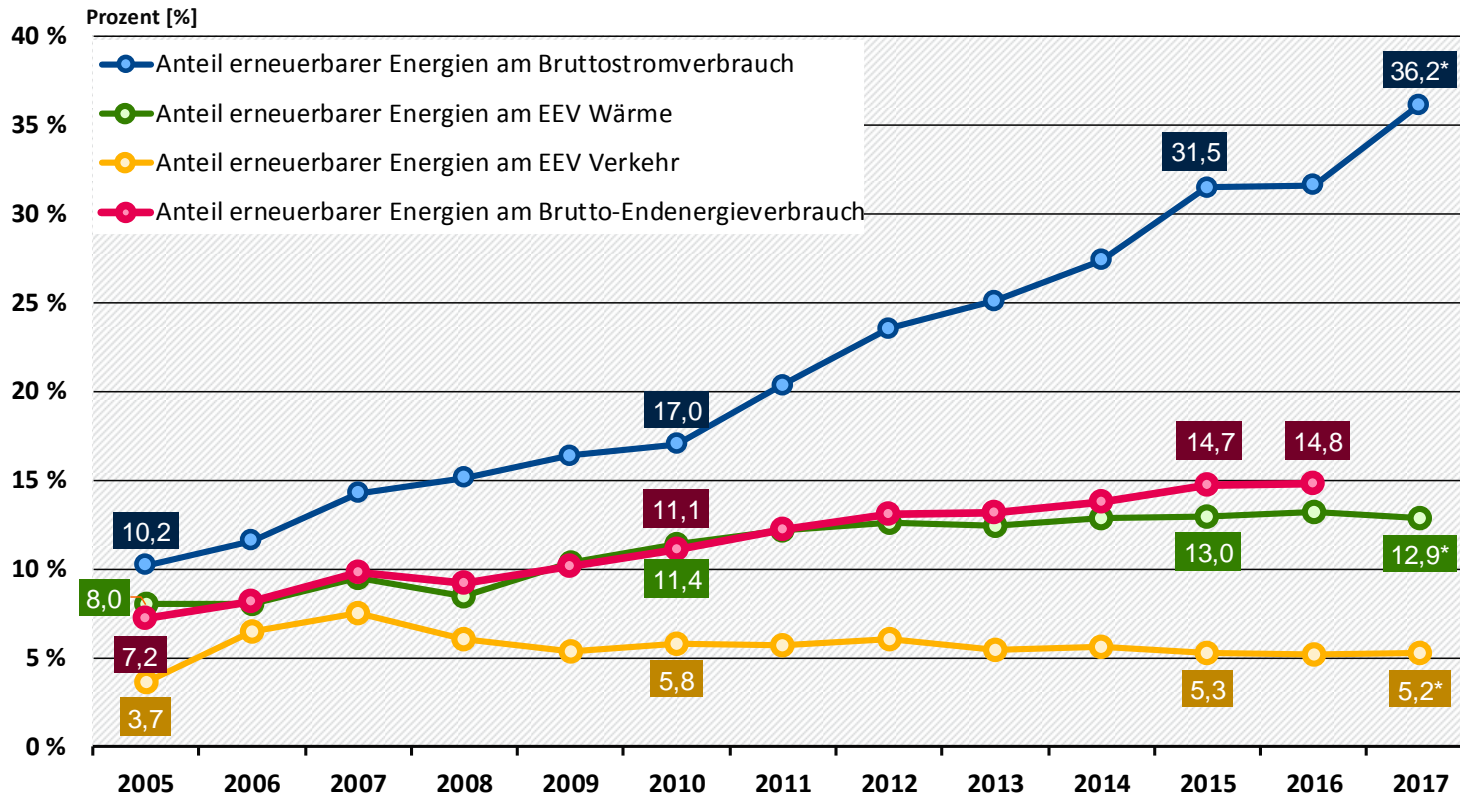
www.uba.de/klima-energie

Zusammenfassung

Die Klimaneutralität des Gebäudebestands im Jahr 2050 ist notwendig, um die Dekarbonisierung des Energiesystems zu erreichen und damit den Anforderungen des Pariser Klimaabkommens gerecht zu werden. Das bedeutet, dass die Energienachfrage des Gebäudebestandes stark sinken und vollständig durch erneuerbare Energien gedeckt werden muss. Das „GreenEe“-Szenario aus dem Projekt „Ressourcenschonendes und treibhausgasneutrales Deutschland 2050“ des Umweltbundesamtes und ökonomische Optimierungen des Fraunhofer ISE zeigen, dass in einem Energiesystem aus erneuerbaren Energien hauptsächlich Elektrowärmepumpen geeignet sind, den gründlich sanierten Gebäudebestand mit 320 TWh Niedertemperaturwärme zu versorgen. Voraussetzung für eine hohe Effizienz der Wärmepumpen sind eine niedrige Energienachfrage und ertragreiche Wärmequellen. Dazu zählt vor allem das Erdreich, aus dem Wärmepumpen 150 TWh Heizwärme gewinnen können, wie ein GIS-basierter Abgleich zeigt. Alternativen wie Abwasser, Solar-Erdreich- oder Eisspeicher sind vielversprechende Konzepte und ermöglichen höhere Jahresarbeitszahlen als die Wärmequelle Außenluft. Wenn Wärmepumpensysteme circa 80 Prozent der Heizwärme bereitstellen sollen, sind sie zwingend umweltverträglich einzusetzen. Dazu gehören minimale Lärmemissionen von Luft-Wärmepumpen und klimafreundliche Kältemittel. Eine hohe Energieeffizienz ist erreichbar durch effiziente Geräte, ertragreiche Wärmequellen, korrekte Planung und Installation sowie eine fortlaufende Überwachung der Energieeffizienz im Betrieb. Darüber hinaus sind Boden, Grund- und Trinkwasser beim Einsatz von Erdsonden und -kollektoren vor Beeinträchtigungen zu schützen. Nur so lassen sich absehbare Umweltkonflikte vermeiden und eine breite Akzeptanz der Technik erreichen.

Anteile erneuerbarer Energien in Deutschland

Entwicklung der Anteile erneuerbarer Energien in Deutschland



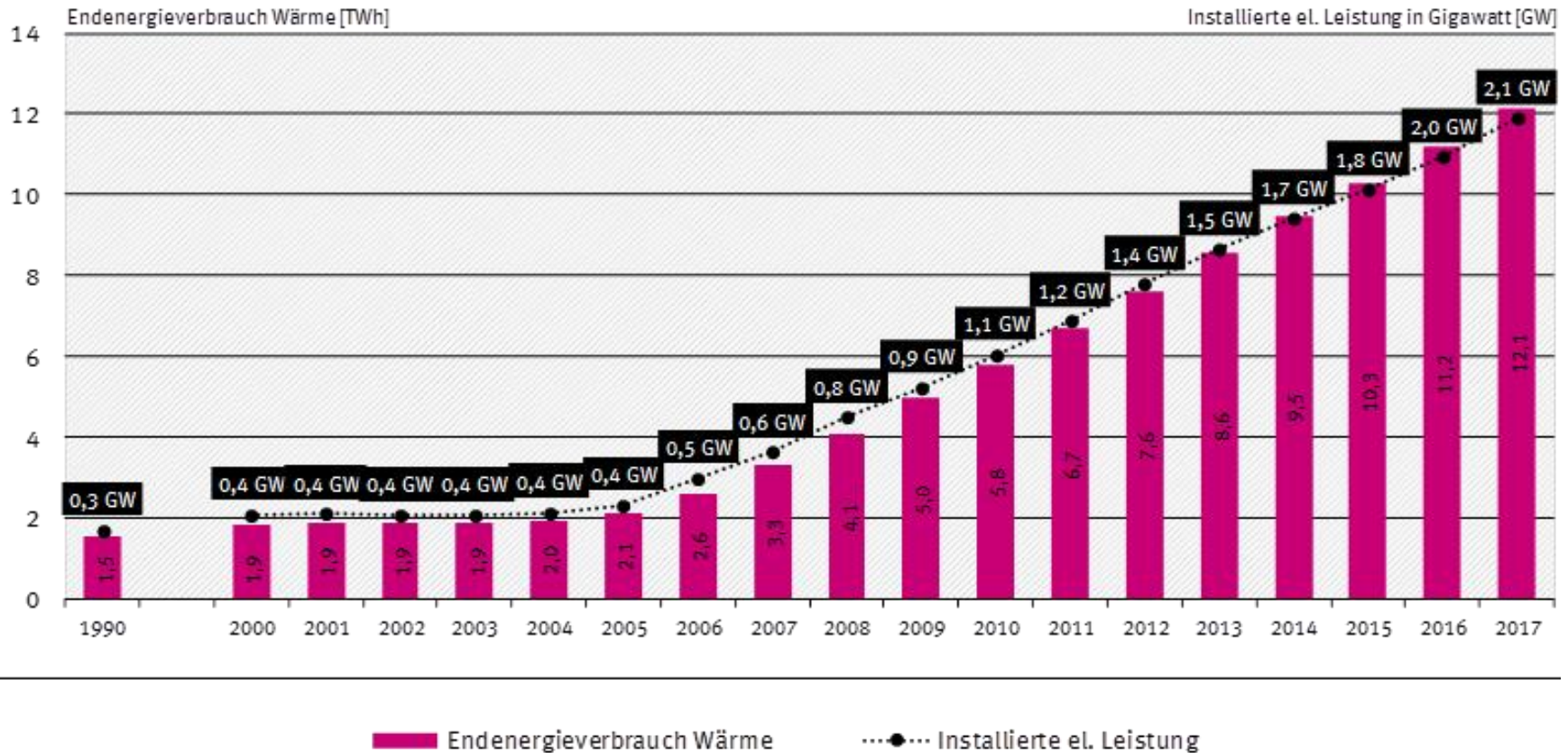
* vorläufiger Wert

Quelle: Umweltbundesamt (UBA) auf Basis AGEE-Stat
Stand 02/2018

Datenquelle: AGEE-STAT, 2018

Endenergieverbrauch Wärme der Haushalte

2017: über 700.000 elektrische Heizwärmepumpen in Deutschland
etwa 2 GW elektrische Leistung; 12 TWh Umgebungswärme nutzbar gemacht



* vorläufige Werte

Quelle: Umweltbundesamt (UBA) auf Basis AGEE-Stat
Stand 02/2018