

KOMMUNALE KLIMASCHUTZ KONFERENZ

Hansestadt Lübeck
3. bis 4. November 2014

Hans Hertle
ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg

Lokale Exergieströme und ihre Nutzung





ifeu -
Institut für Energie-
und Umweltforschung
Heidelberg



Die Nutzung von Exergieströmen in kommunalen Strom-Wärme-Systemen zur Erreichung einer kommunalen CO₂-Neutralität bis zum Jahr 2050

The logo for Umwelt Bundesamt, featuring a green square with a white circle containing a green leaf icon to the right of the text 'Umwelt Bundesamt' in white.

Umwelt
Bundesamt

Auftraggeber: Umweltbundesamt

Laufzeit: 12/2010 - 05/2014

Partner: IBP Kassel, Marlen Schurig, Christina Sager

Richtvert: Andrej Jentsch

IFEU: Hans Hertle, Lothar Eisenmann, Sarah Brückner



IFEU (35 Jahre alt) ca. 70 Personen

Bilanzierung auf verschiedenen Ebenen

Öffentliche Hand

Unternehmen

Produkte

Personen

Neues UBA-Projekt:
Bürgerszenariorechner



Welcher Pfad ist der Richtige?

Bis 2050 wird es nur noch stromversorgte Systeme geben!

Passivhäuser machen Nahwärme überflüssig!

Ohne Transformation der Fernwärmesysteme hat KWK keine Chance!

100% Erneuerbare sind bis 2030 kein Problem!

Effizienz mit dem Faktor 4 ist möglich!

Ohne Suffizienz geht gar nichts!

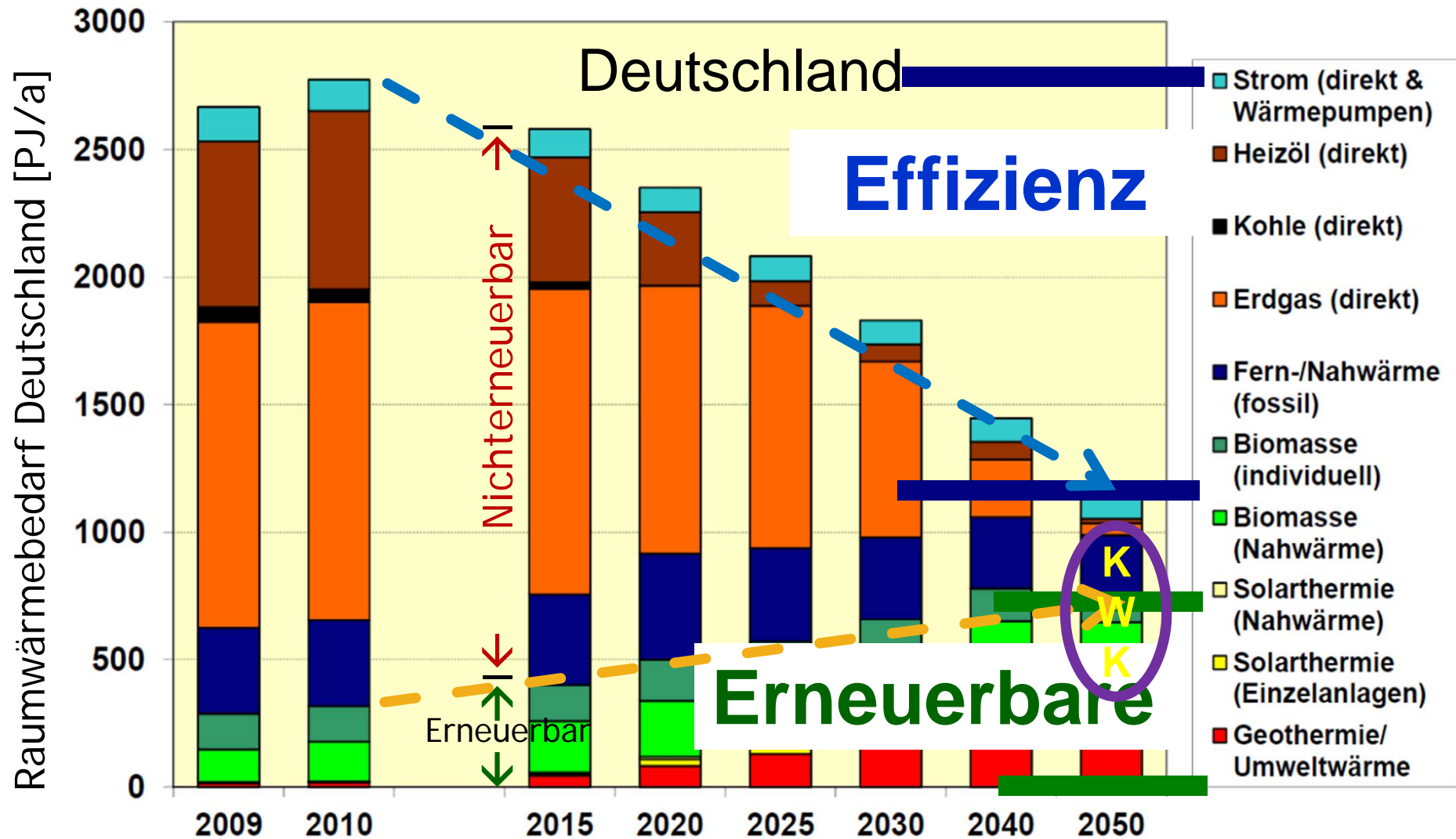
Biomasse ist in Deutschland fast ausgereizt!

Wir müssen auf 1 Tonne CO₂ pro Bürger kommen!

Die 2000-Watt Gesellschaft - das Ende der Fahnenstange?

Gibt es ein umfassendes Bewertungssystem zur Beantwortung dieser Fragen?

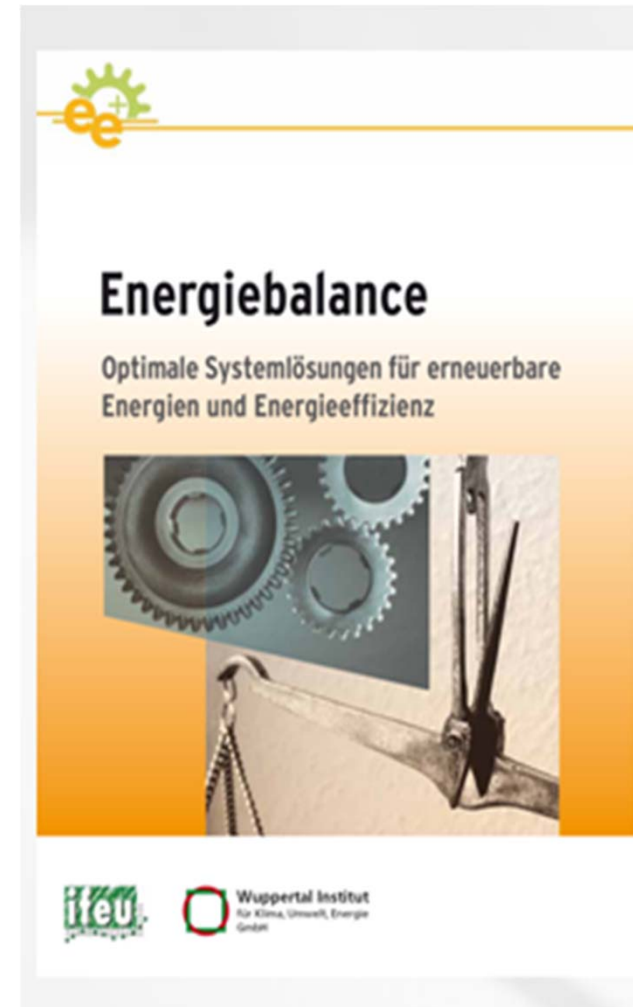
Raumwärme: Balance zw. Effizienz / KWK und Erneuerbaren



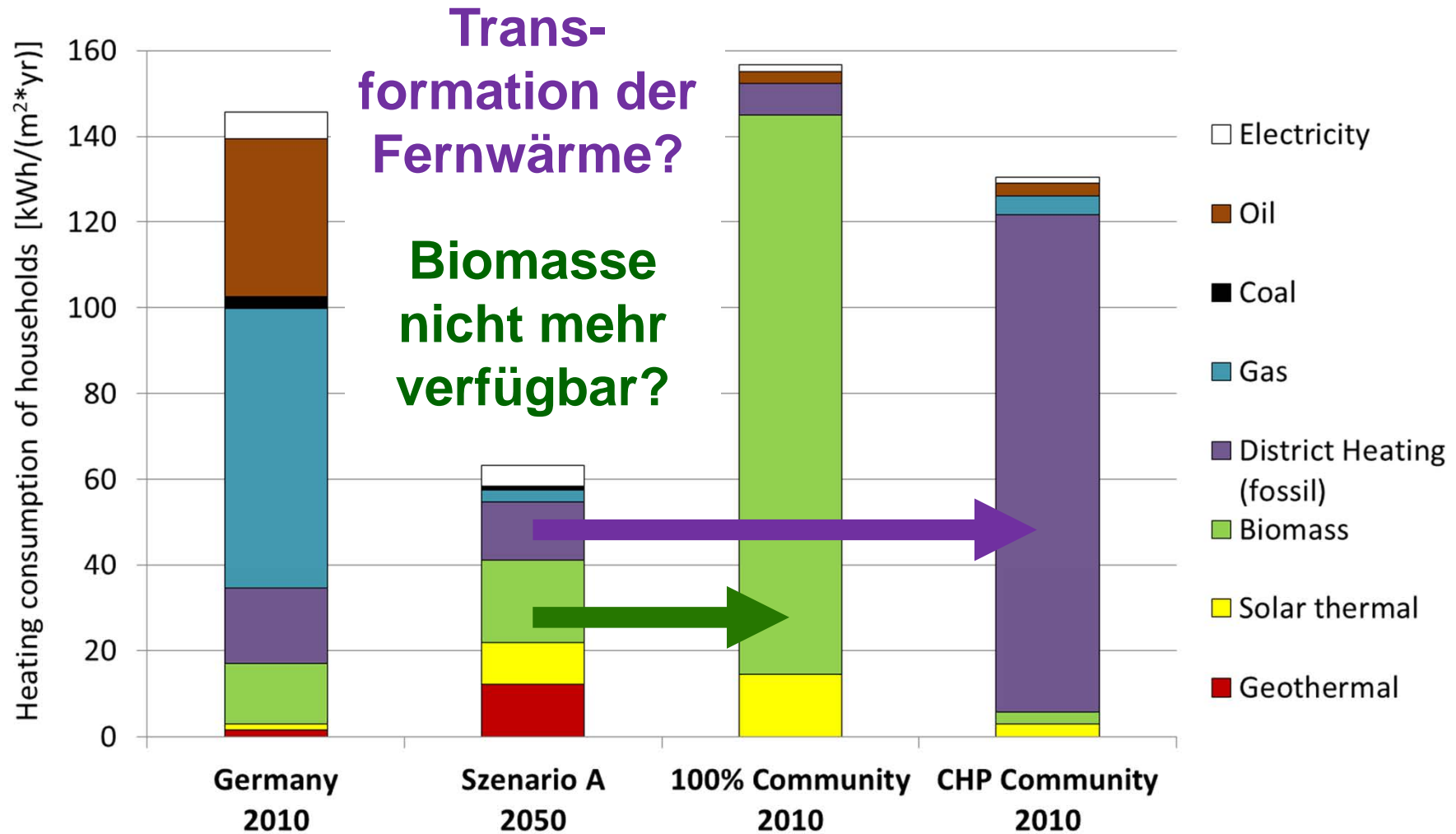
Wir brauchen einen ausgewogenen Mix zwischen Effizienz inkl. Kraft-Wärme-Kopplung und Erneuerbaren Energien

- Energieeffizienz
- Erneuerbare Energien
- Kraft-Wärme-Kopplung
- LowExergie - Systeme
- Nachhaltiges Verhalten
- Suffizienz

Studie: Energiebalance, 2009



Paradigmenwechsel: Klassische Strategien am Ende?



Transformationsstrategien Fern-/Nahwärme

Transformationsstrategien von fossiler zentraler Fernwärmeversorgung zu Netzen mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien (2010 bis 2012)

- LowEx-günstig für Einsatz von Erneuerbaren
- KWK sinnvoll (ökonomisch und bzgl. CO₂)
- Biomasse + Geothermie > FW Grund-/Mittellast
- Geothermie konkurrenzfähig mit konvent. FW
- Solarthermie eher untergeordnet bei FW
- Industrielle Abwärme sollte genutzt werden (Spannungsfeld Abwärme/KWK/EE)



Kann die exergetische Bewertung Basis für richtungssichere Aussagen bieten?

STOP! Was ist denn EXERGIE?

- EXERGIE beschreibt die Arbeitsfähigkeit der eingesetzten Energie

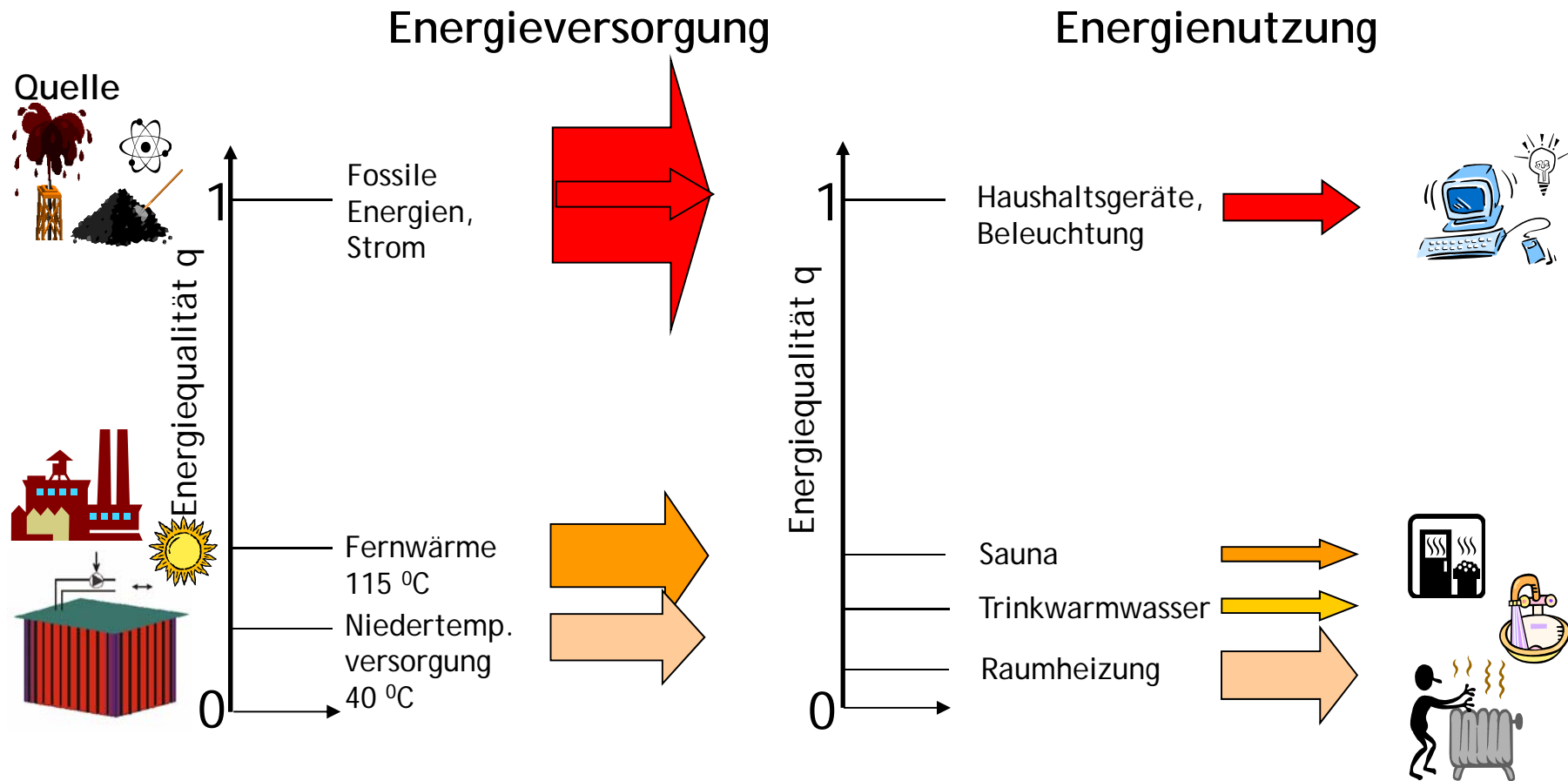
ENERGIE \Rightarrow QUANTITÄT

EXERGIE \Rightarrow QUANTITÄT + QUALITÄT

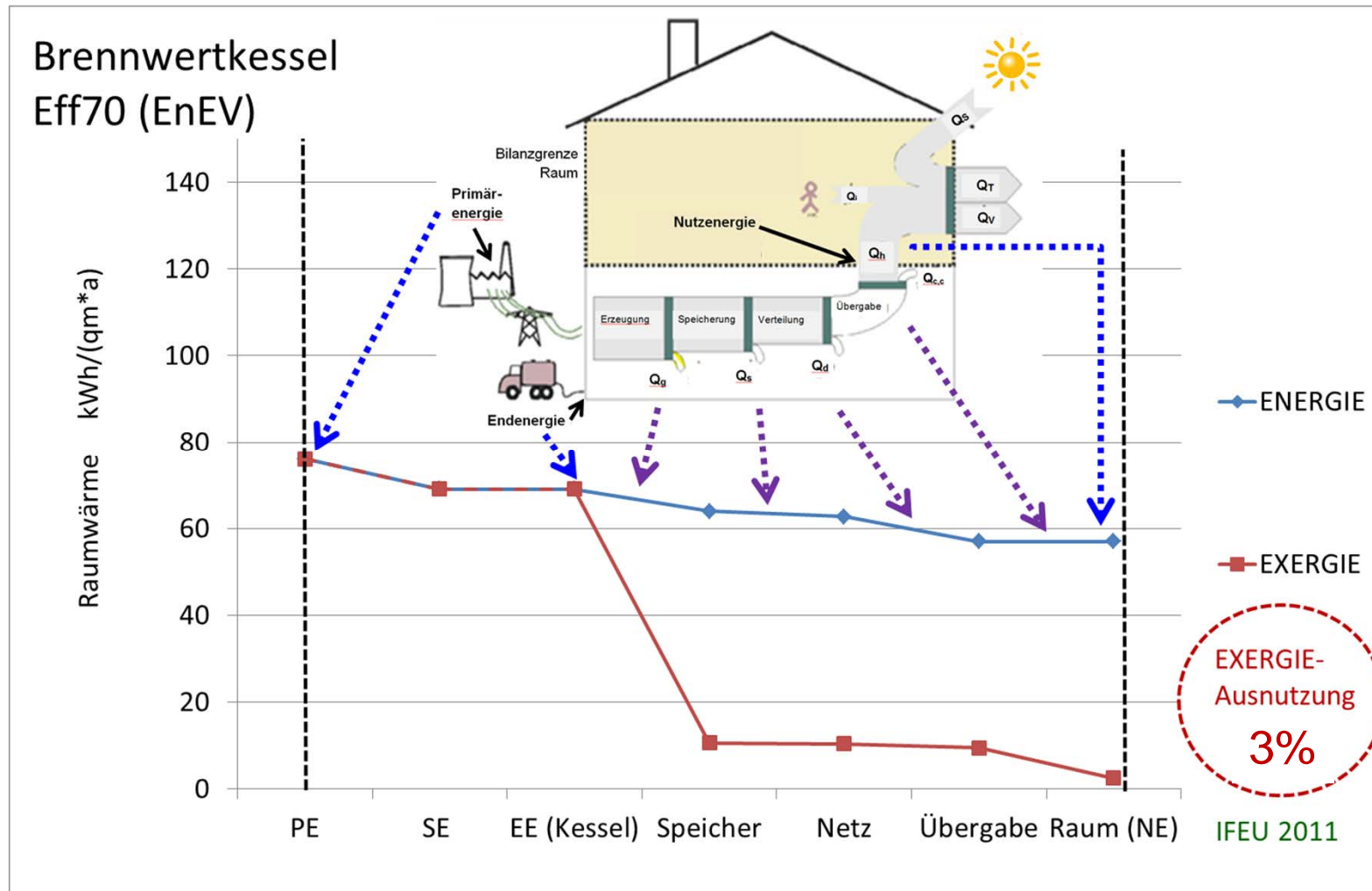
- Beispiel 1: Strom kann theoretisch* in jede beliebig andere Energie umgewandelt werden. EXERGIE = 1,0 bzw. 100%
- Beispiel 2: Heißes Wasser mit 100°C könnte theoretisch* noch 25% Arbeit verrichten. EXERGIE = 0,25 bzw. 25%
- Beispiel 3: Abwärme mit 40°C könnte theoretisch* noch 10% Arbeit verrichten. EXERGIE = 0,1 bzw. 10%

* Theoretisch bedeutet in diesen Fällen: Nach Carnot (s.u.) gerechnet.

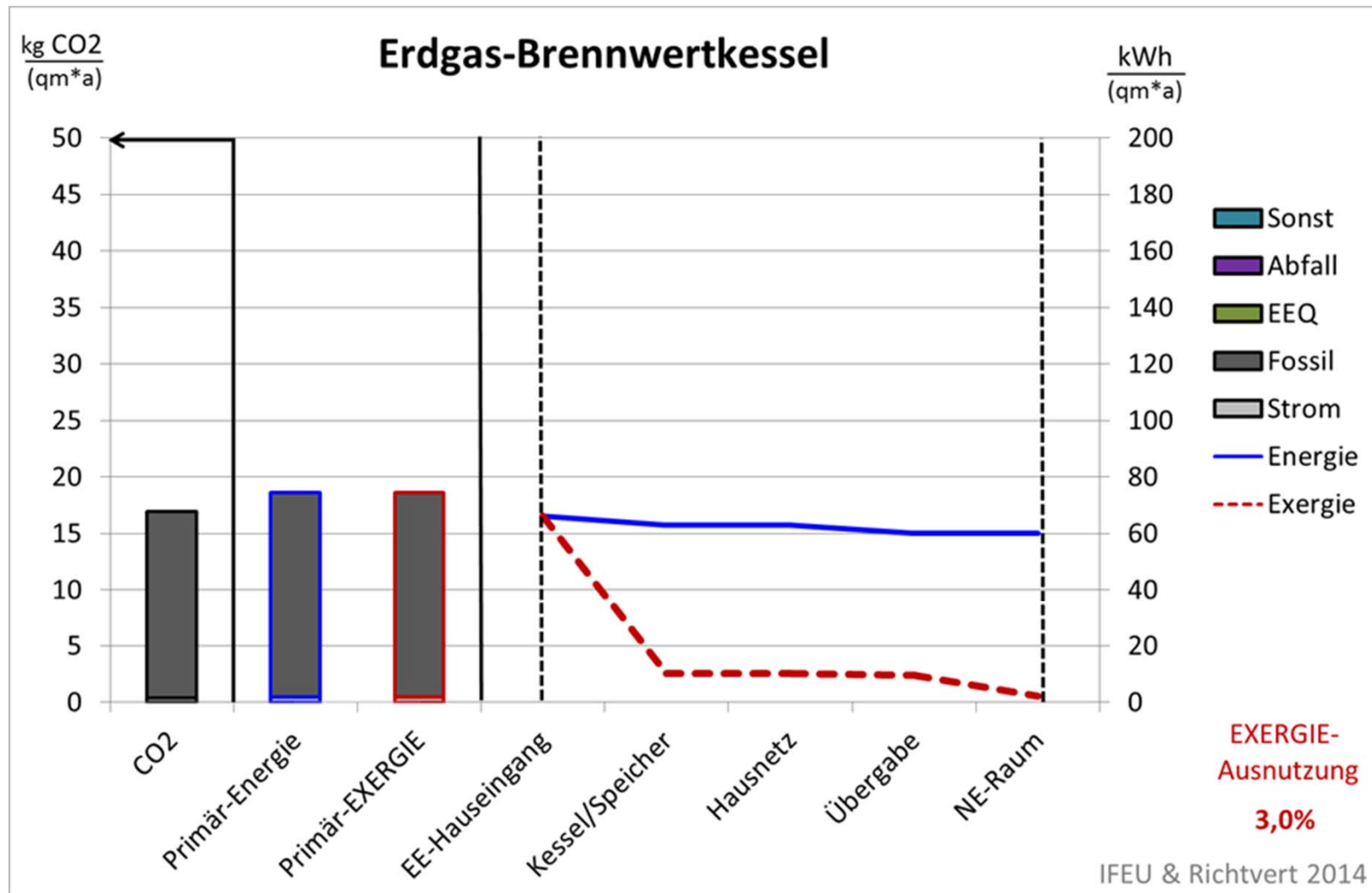
Was ist das „LowEx“-Konzept?



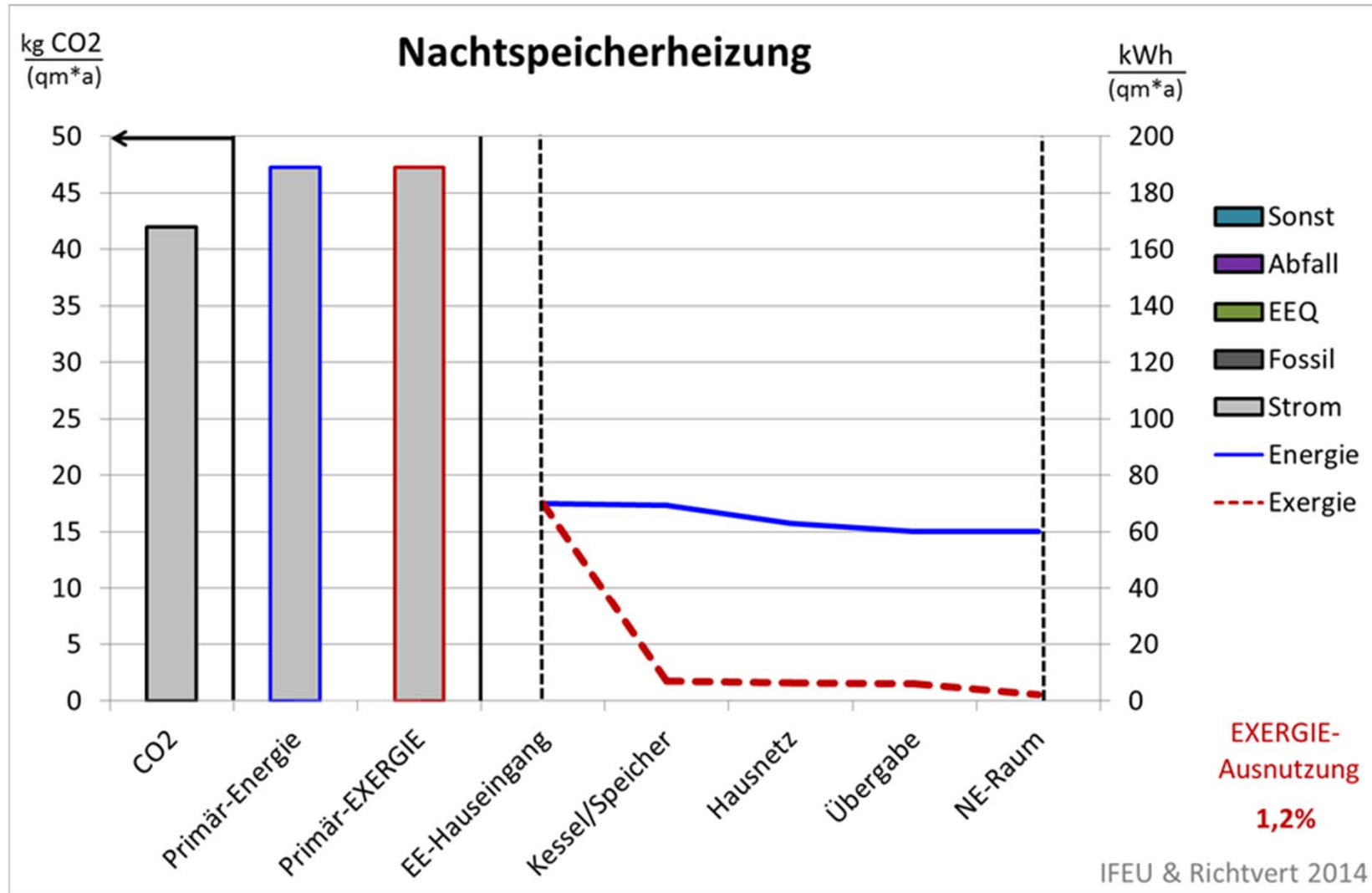
Brennwertkessel: Fast 100% Nutzungsgrad? EXERGIE-Ausnutzung: 3%



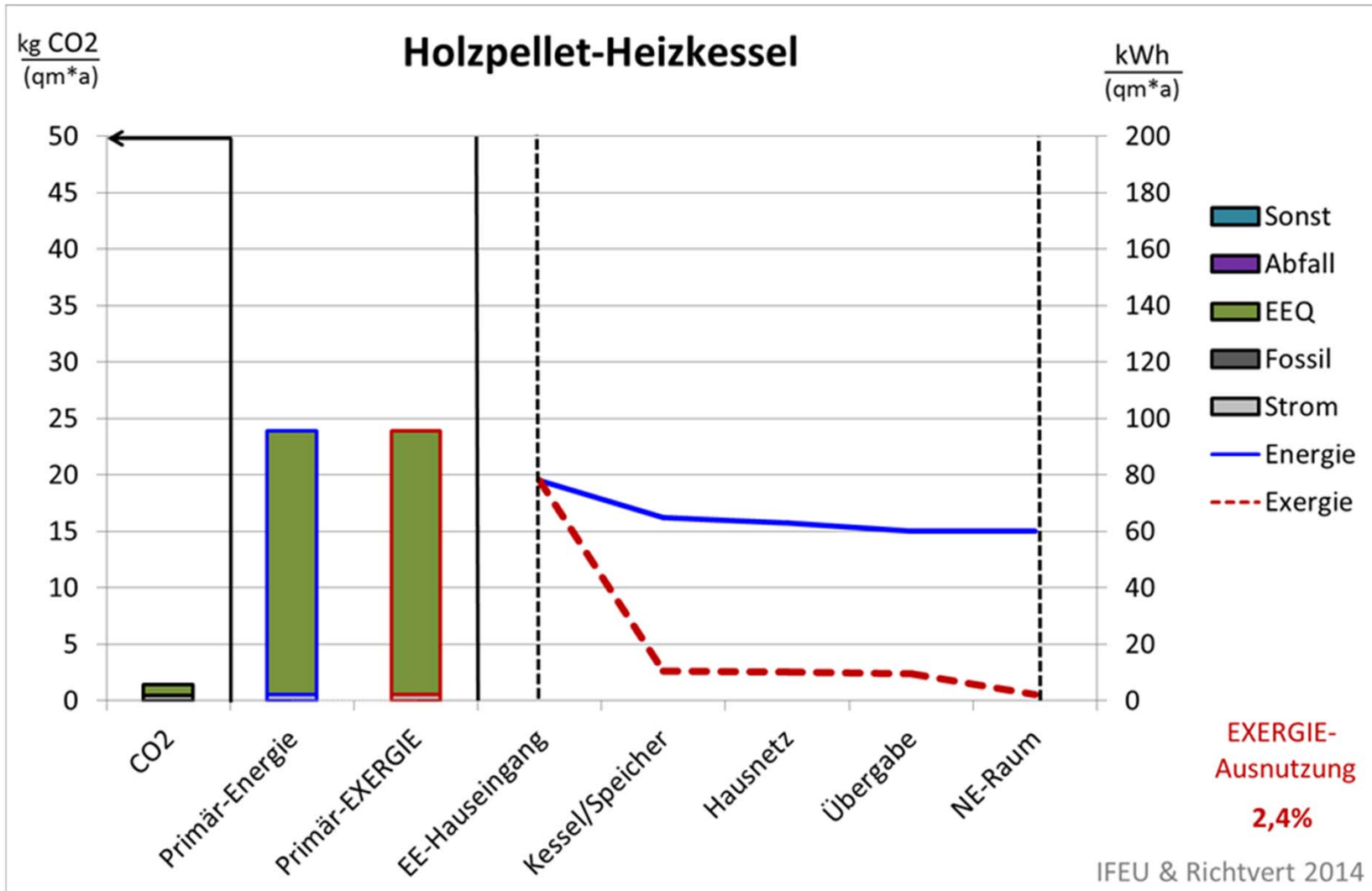
Weitere Faktoren: PE, EE, NE, CO2, EXERGIE



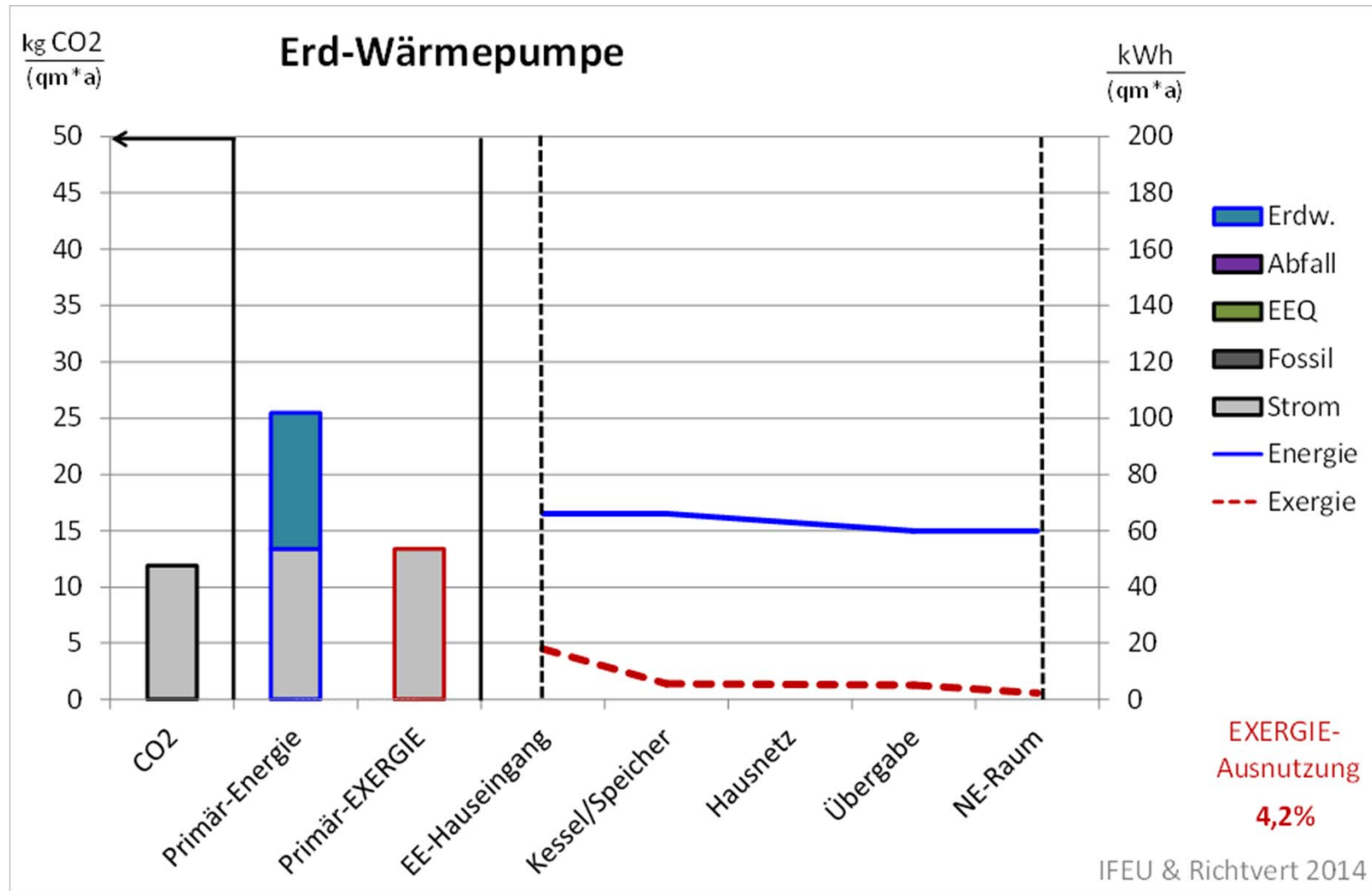
Weitere Systeme: PE, EE, NE, CO2, EXERGIE



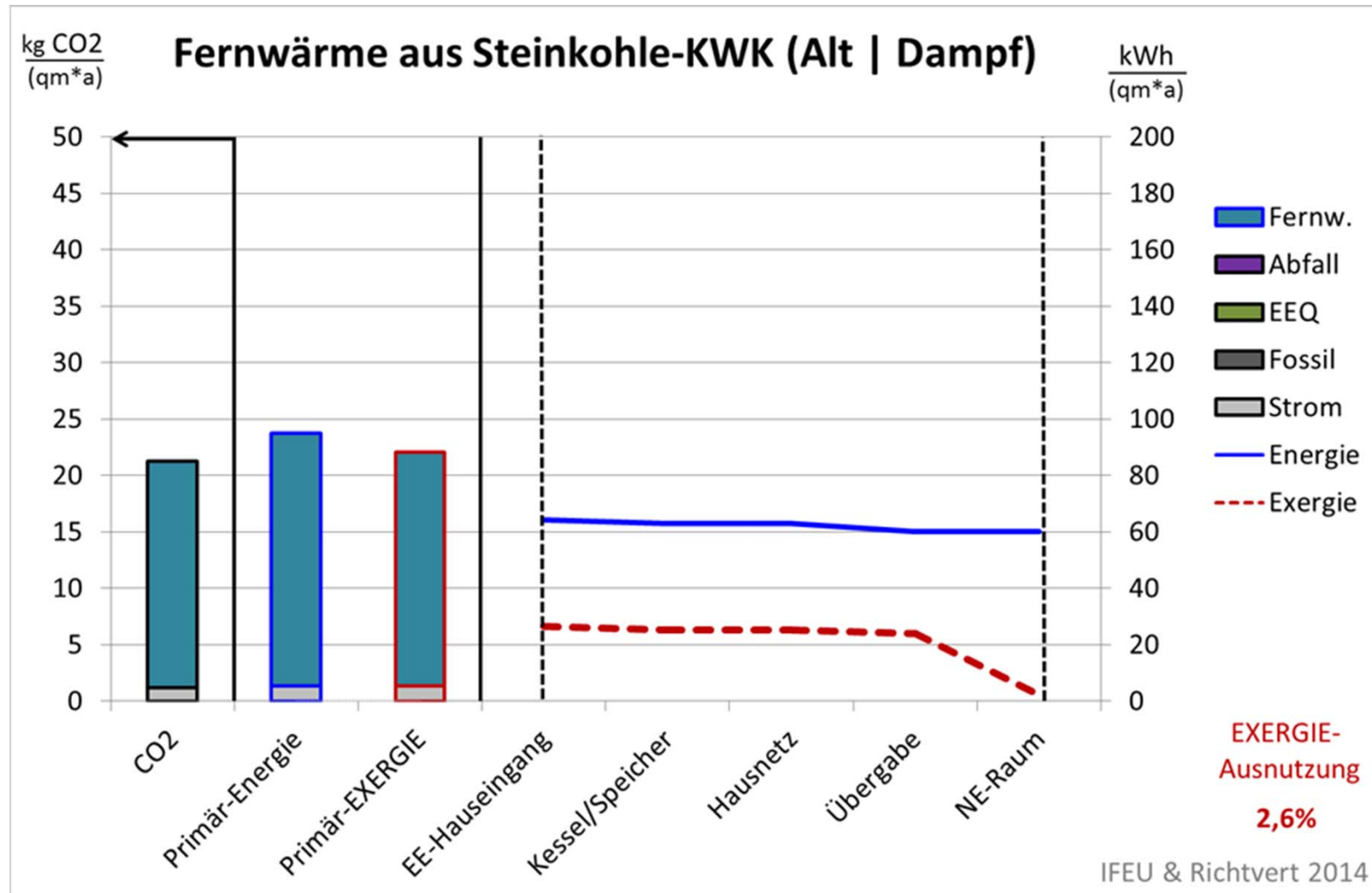
Weitere Systeme: PE, EE, NE, CO2, EXERGIE



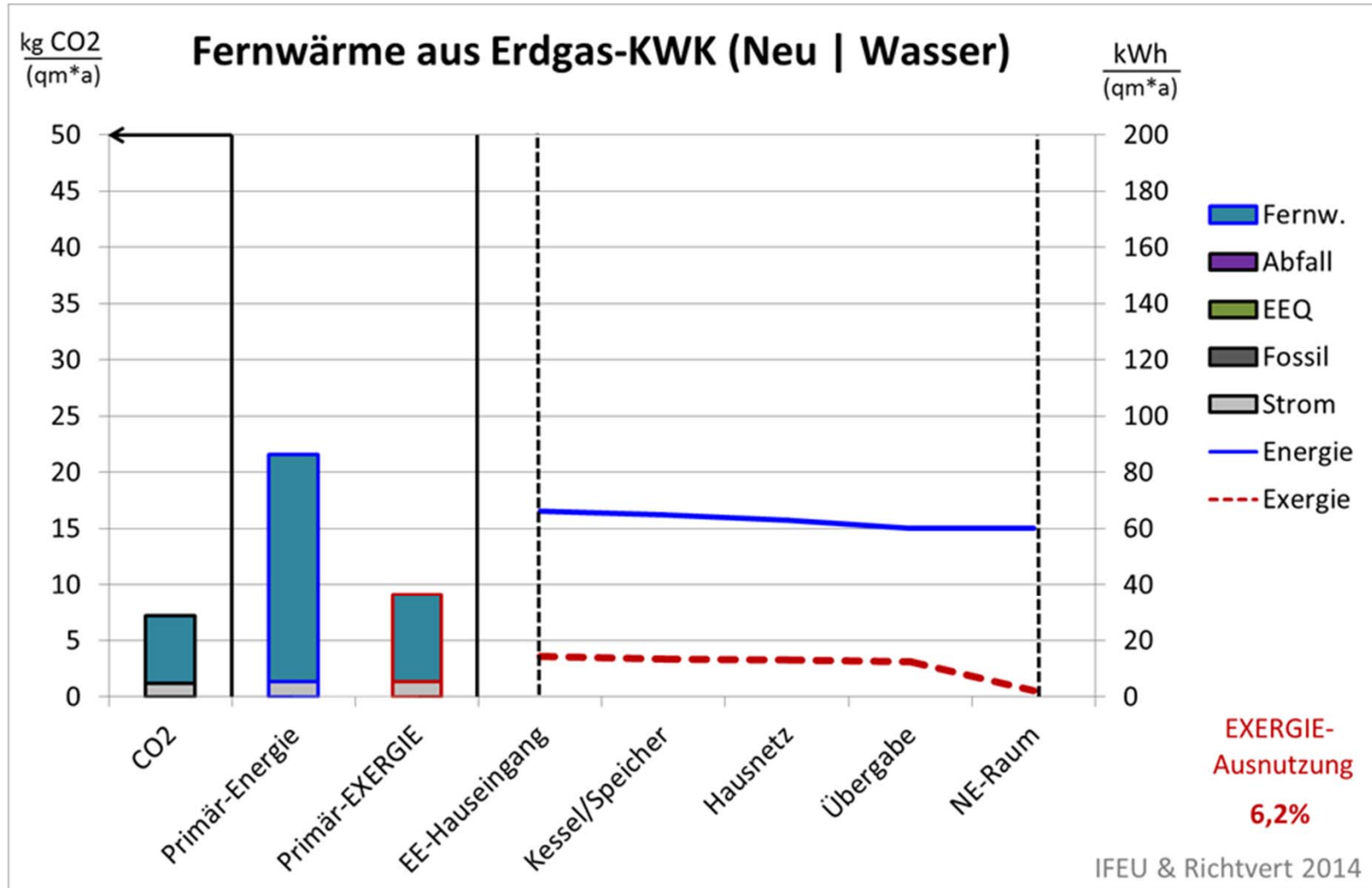
Weitere Systeme: PE, EE, NE, CO2, EXERGIE



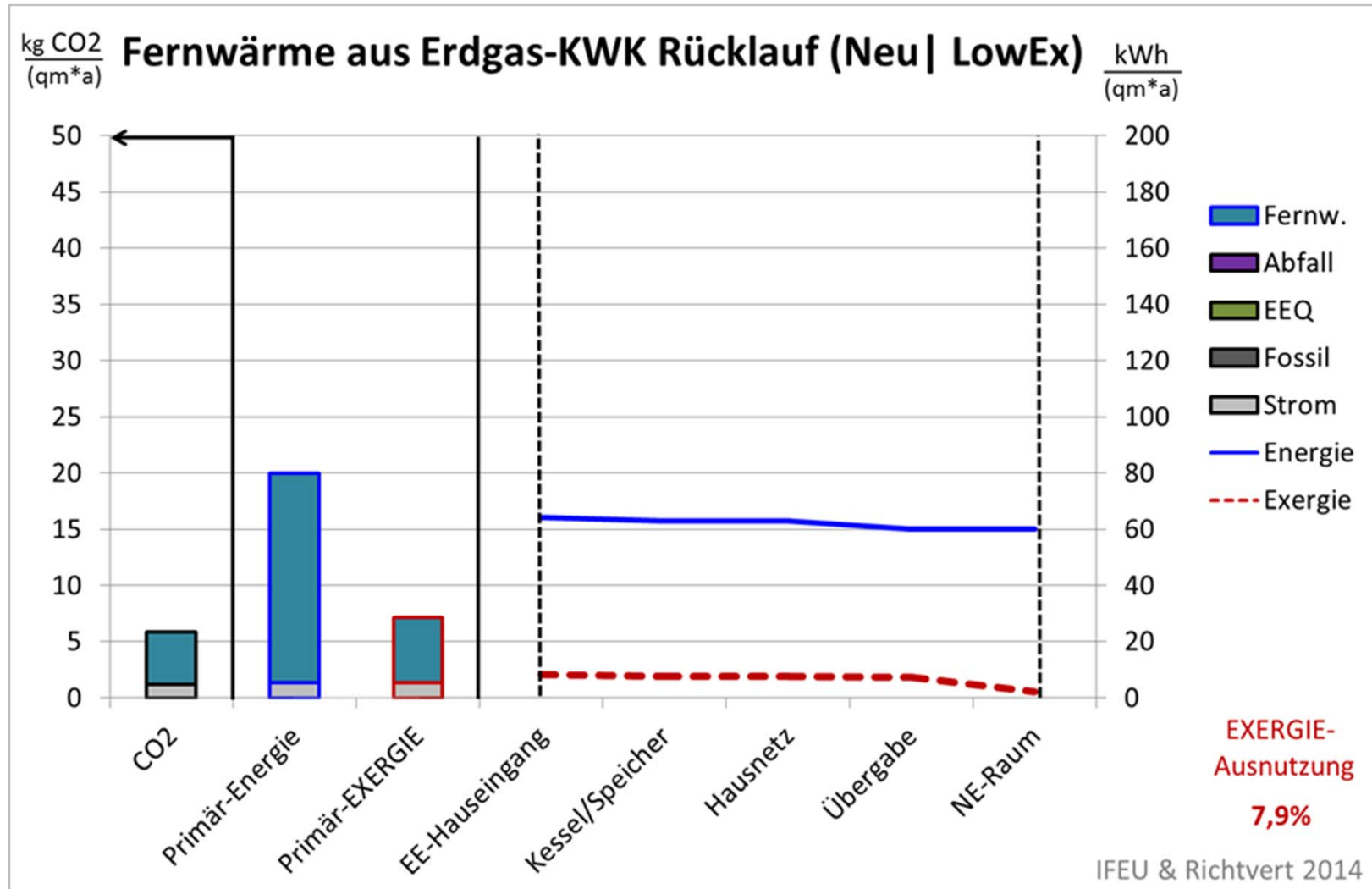
Weitere Systeme: PE, EE, NE, CO2, EXERGIE



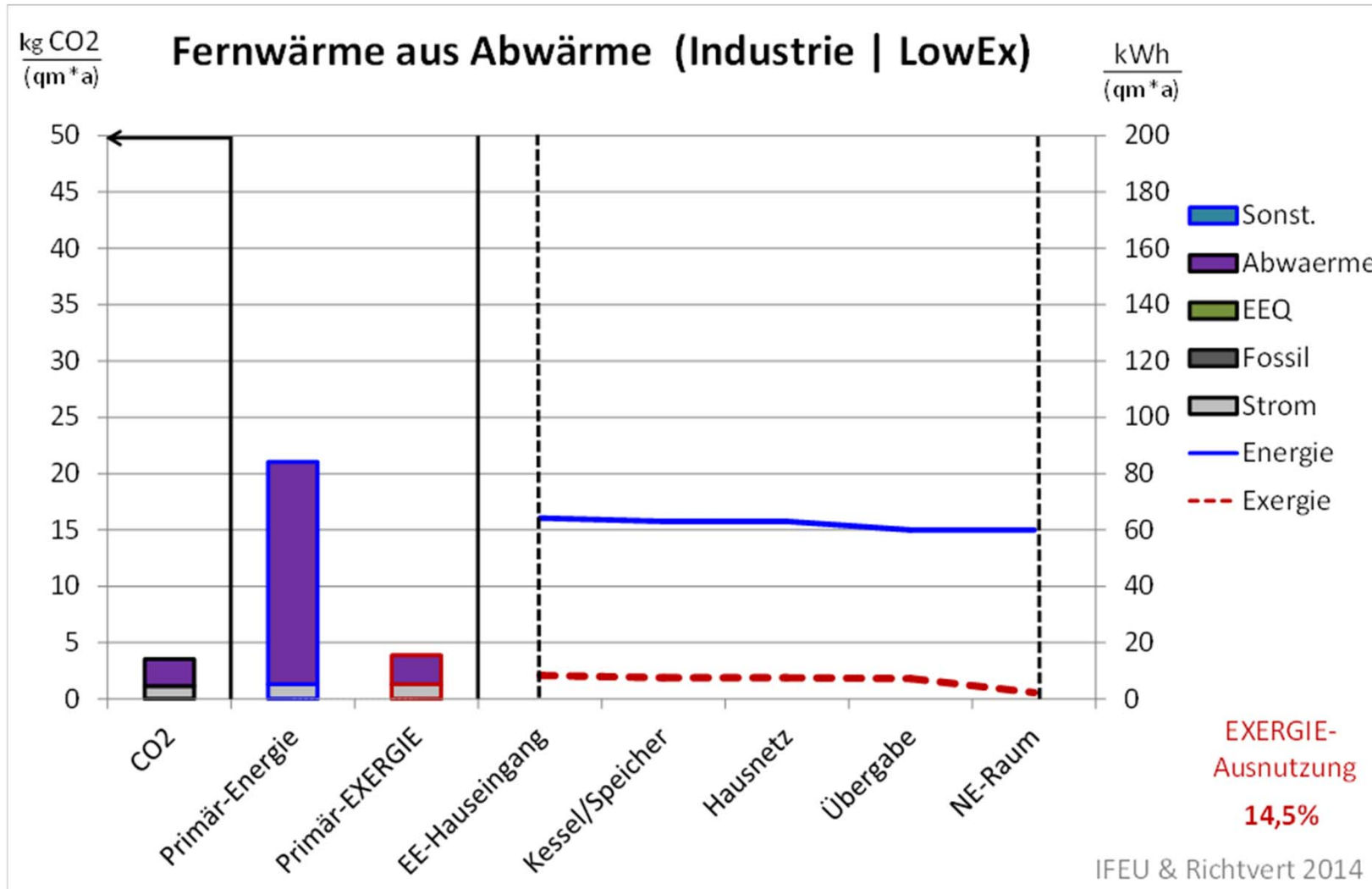
Weitere Systeme: PE, EE, NE, CO2, EXERGIE



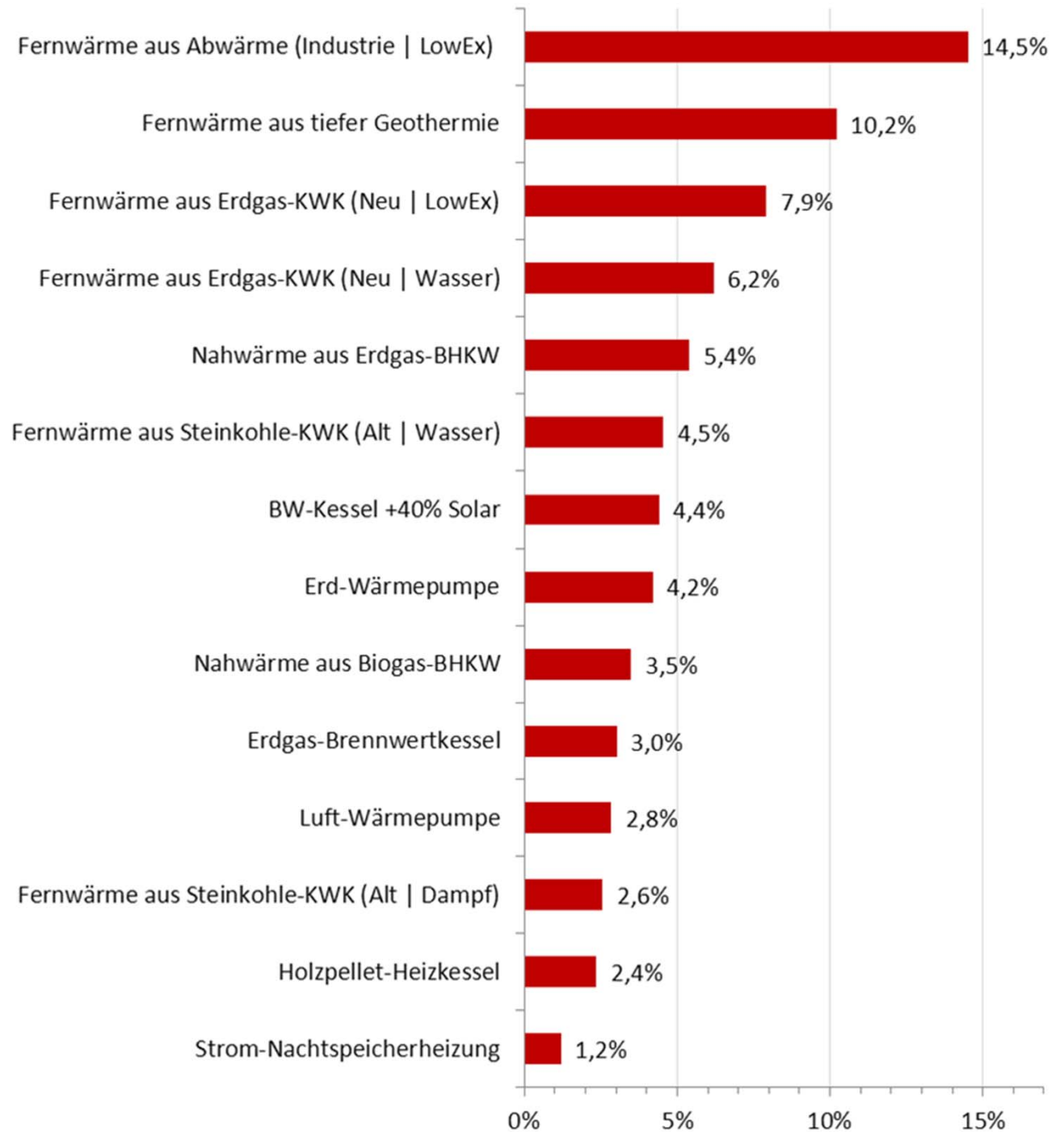
Weitere Systeme: PE, EE, NE, CO2, EXERGIE



Weitere Systeme: PE, EE, NE, CO2, EXERGIE

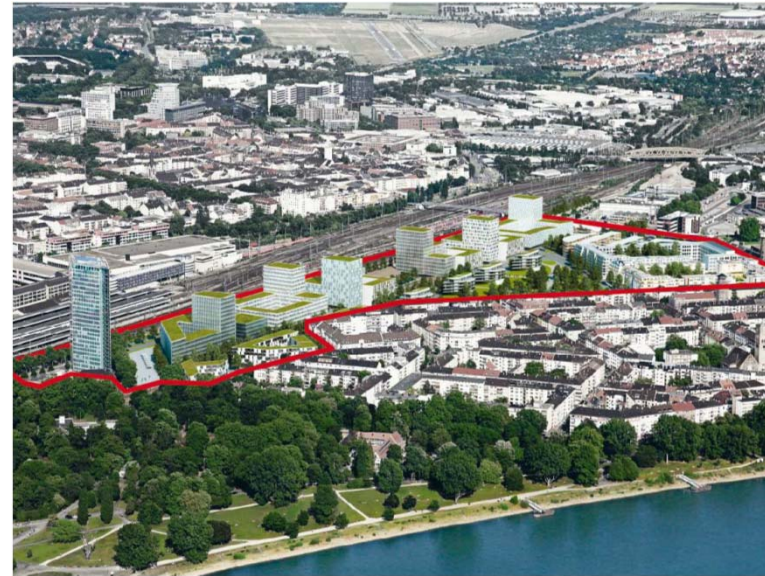


EXERGIE- Ausnutzung beispielhafter Raumheizungs- Systeme



Probleme in der Praxis: Mannheim Glückstein-Quartier

- 1.500 Einwohner, 4.600 Arbeitsplätze
- Baustandard EnEV - 30%
- Versorgung durch Fernwärme-Rücklauf
- Exergie-Ausnutzungsgrad: ca. 8 Prozent



PROBLEM:

Der Primärenergiefaktor dieses Areals kann heute (nach EnEV bzw. DIN) nicht separat vom Gesamtsystem abgebildet werden!

Lösung: Exergetische Allokation der Fernwärme

Masterplankommunen

Die Bilanzierungssystematik bzgl. Allokation der Koppelprodukte ist bei Kommunen sehr heterogen. Neben der **Gutschriftenmethode** wird auch die **exergetische Bewertung** angewandt. Im Rahmen des Workshops am 8.2.2013 mit den Masterplankommunen in Hannover wurde die exergetische Allokation befürwortet.

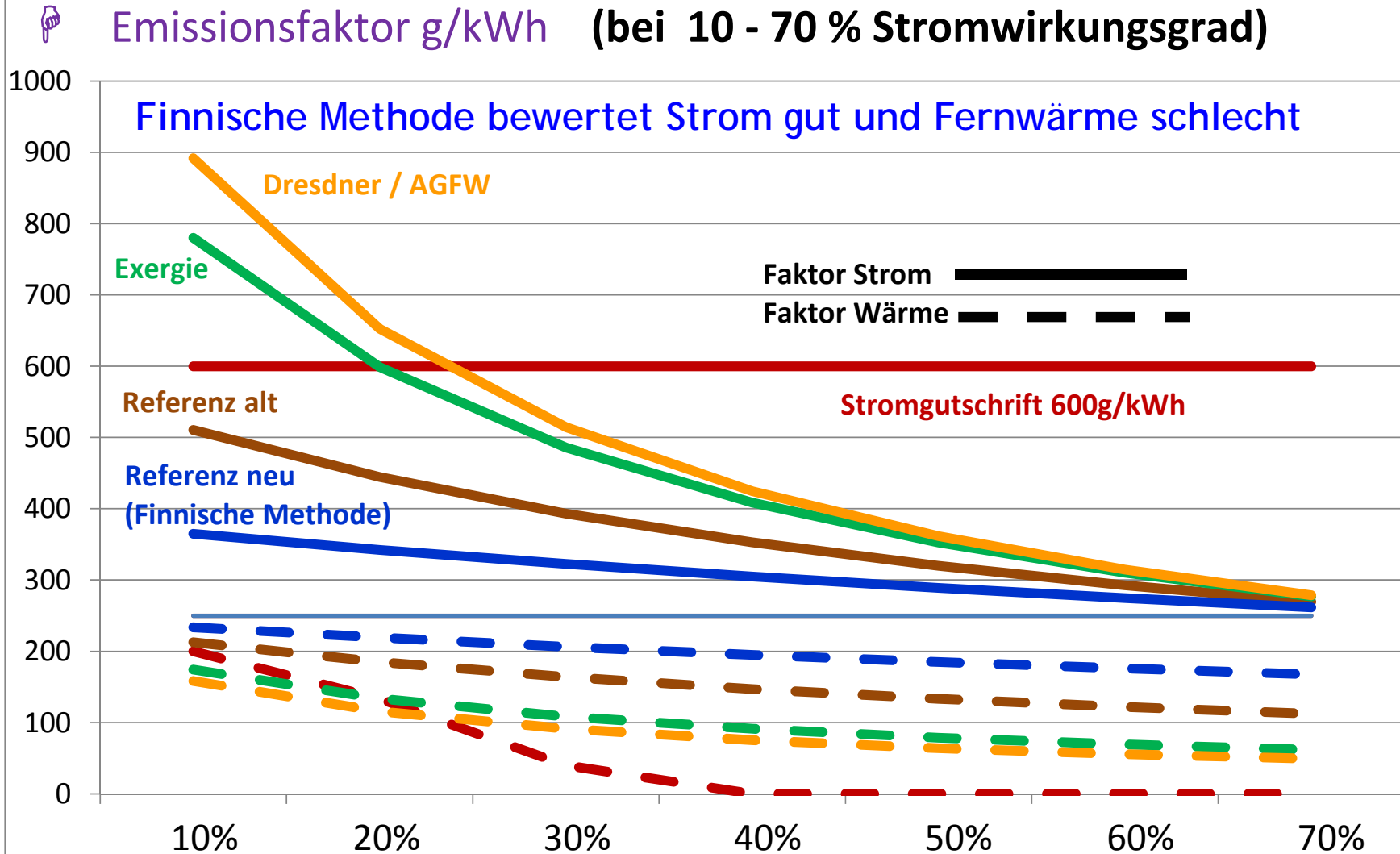
AGFW Arbeitsgemeinschaft der Fernwärmeerzeuger

Zurzeit werden bzgl. Allokation der Koppelprodukte vor allem die **Gutschriftenmethode** (EnEV-Nachweis) und die **finnische Methode** (Länderstatistik) verwendet.

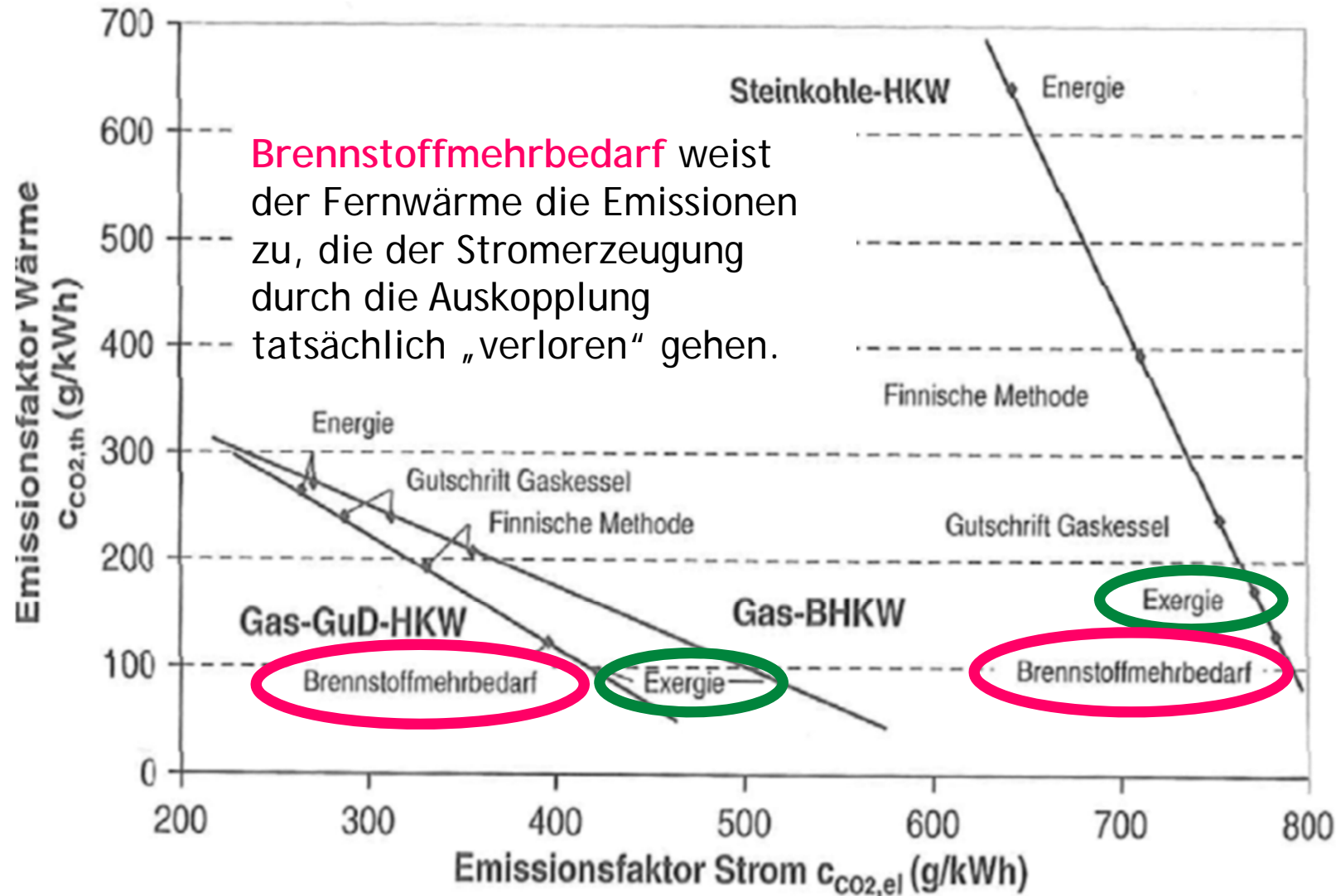
Die AGFW will in Zukunft auch die **exergetische Bewertungsmethode** (Carnot-Methode) einführen.

Allokation KWK verschiedener Methoden

IFEU 2013



Exergie- oder Carnotmethode bildet die Realität gut ab



Exergieberechnung (Carnot-Methode) Sehr einfach!

$$\zeta_{th} = \eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_u}{T_A}$$



T_u = Umgebungstemperatur ($9^\circ\text{C} = 282\text{ K}$)

T_A = Mediumtemperatur = Mittel aus Vorlauf- und Rücklaufstemperatur

z.B. FW „Heißwasser“: $125^\circ\text{C}/70^\circ\text{C} = 98^\circ\text{C}$ im Mittel = 371 K

Exergiefaktor = $1 - (282/371) = 0,24$

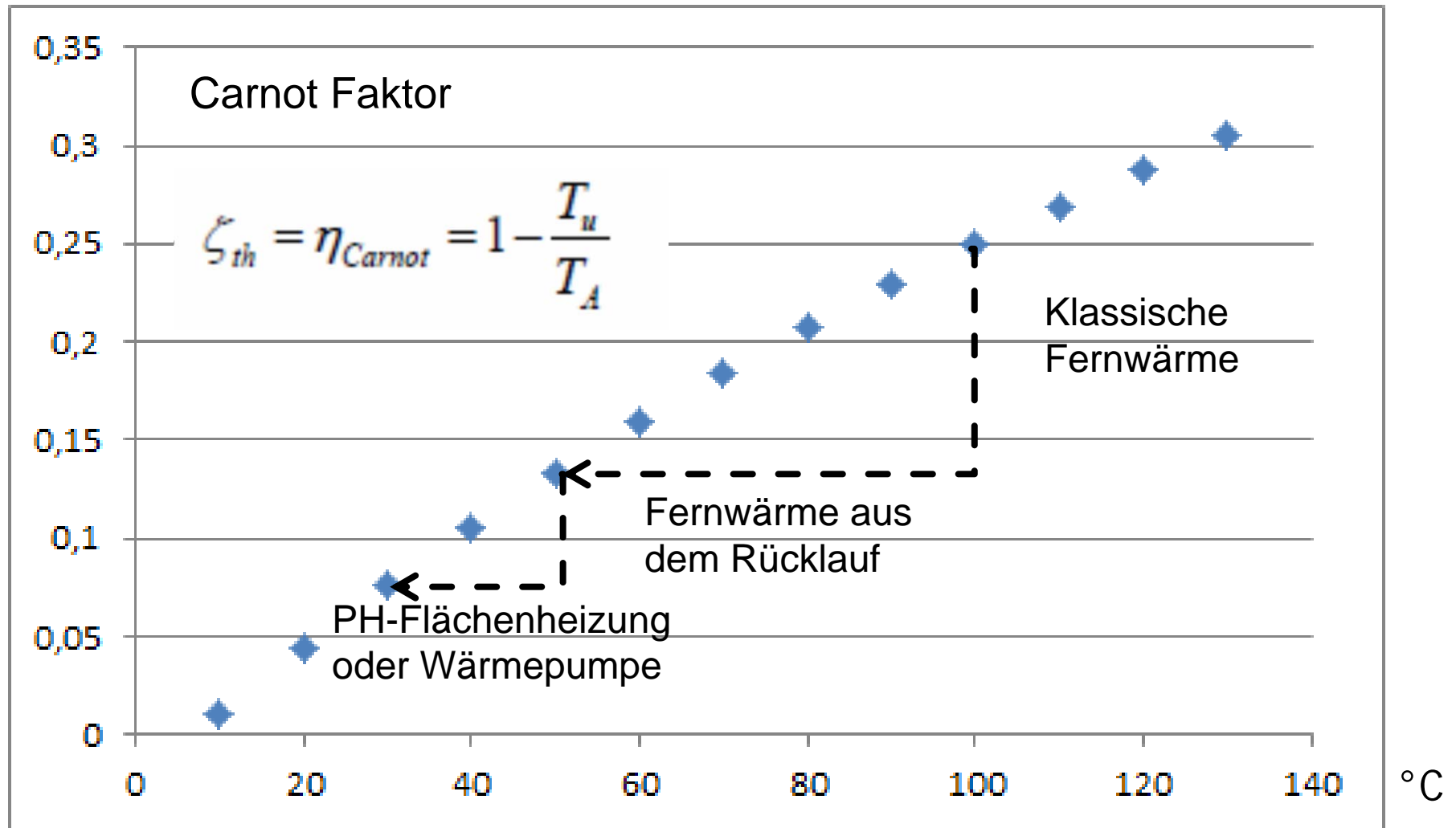
z.B. FW „Warmwasser“: $90^\circ\text{C} / 60^\circ\text{C} = \text{ca. } 75^\circ\text{C}$ im Mittel = 348 K

Exergiefaktor = $1 - (282/348) = 0,19$

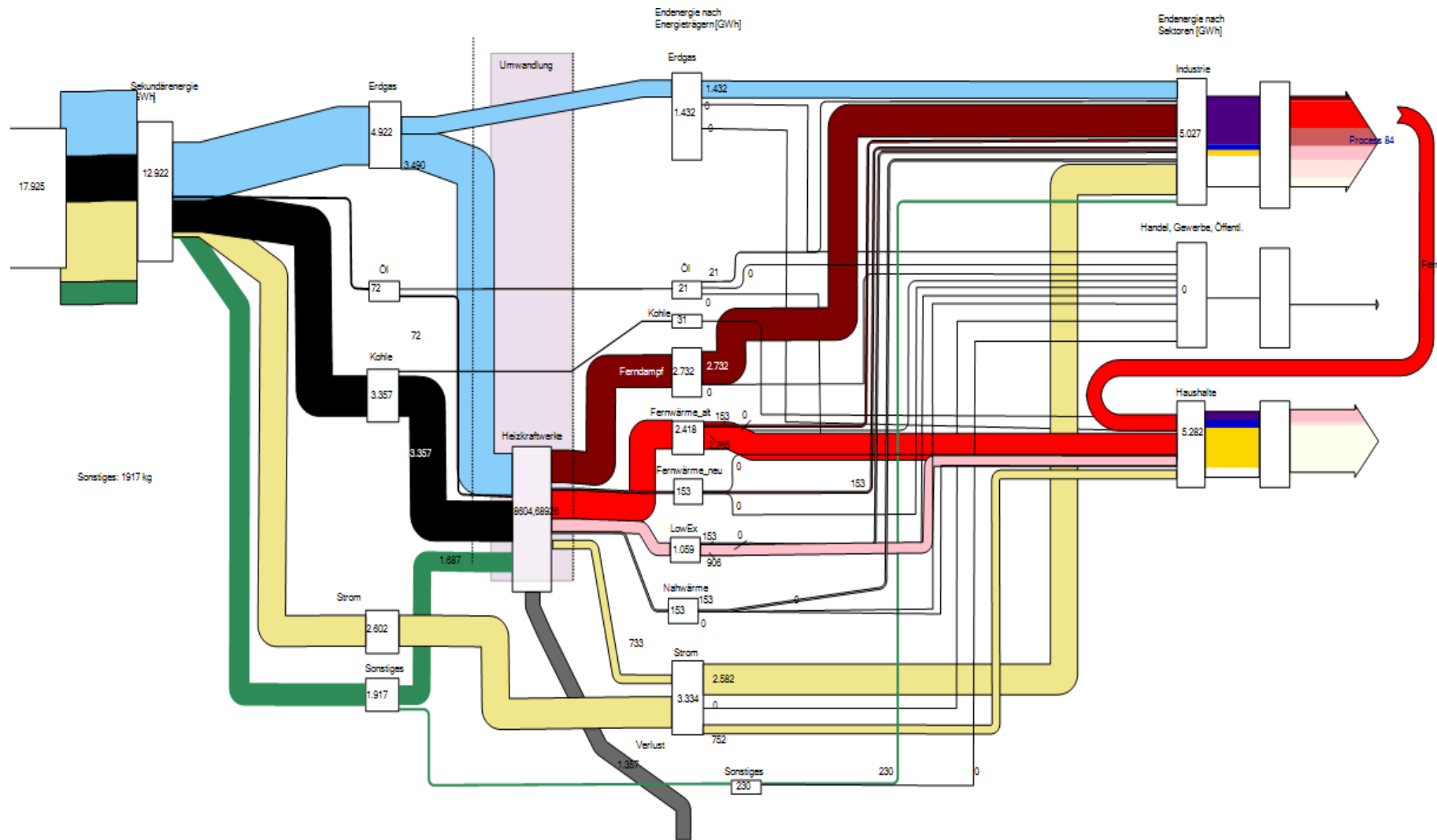
Beispielrechnung FW „Warmwasser“ ($t_A = 75^\circ\text{C}$)

	Input	1 kWh	Erdgas
	Input	254 g	CO ₂ eq
	Output	0,32 kWh	Strom
	Output	0,50 kWh	Wärme
	Verluste	0,18 kWh	
	Mitteltemperatur	75° C	
	Carnotfaktor	1	Strom
	Carnotfaktor	0,19	Wärme
	Exergieanteil	77%	Strom
	Exergieanteil	23%	Wärme
	CO ₂ -Emissionen	205 g	Strom
	CO ₂ -Emissionen	49 g	Wärme
Sekundärenergie	Spezifische CO ₂ -Emissionen	612 g/kWh _{SE}	Strom
ab Kraftwerk	Spezifische CO ₂ -Emissionen	116 g/kWh _{SE}	Wärme
Endenergie	Spezifische CO ₂ -Emissionen	612 g/kWh_{EE}	Strom
frei Haus	Spezifische CO ₂ -Emissionen	134 g/kWh_{EE}	Wärme

Kaskadennutzung ist mit Exergie darstellbar



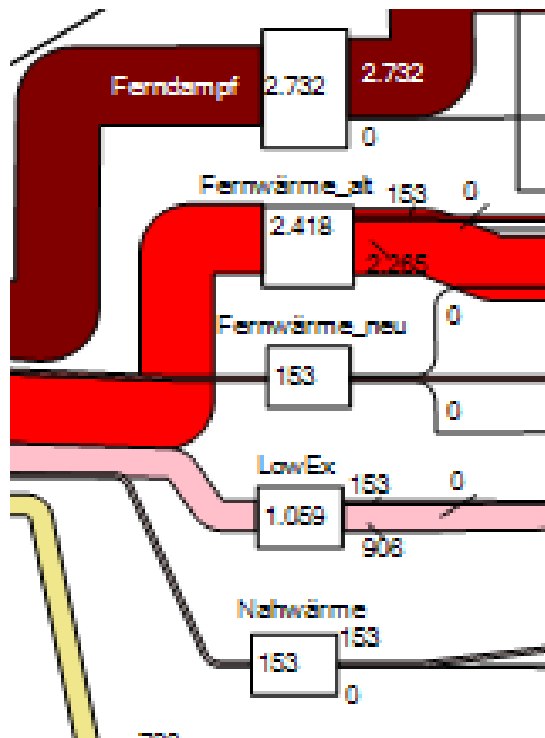
E-SANKEY: Low-Ex-Systeme und Abwärmeströme einer Stadt



Wärmeströme nach Temperaturniveau ...im KWK-System....

Automatische Berechnung z.B.
im BICO2 oder Klimaschutzplaner =>

Grafische Darstellung als E-SANKEY



Wärme	Temperaturniveau
[MWh]	Grad Celsius (Mitteltemperatur)
245	Fernwärme (z.B. 130°/70°)
546	Nahwärme (z.B. 90°/60°)
123	LowEx1 (z.B. 70°/50°)
56	LowEx2 (z.B. 50°/35°)

Temperaturniveau in 7 Stufen (CF = Carnotfaktor)

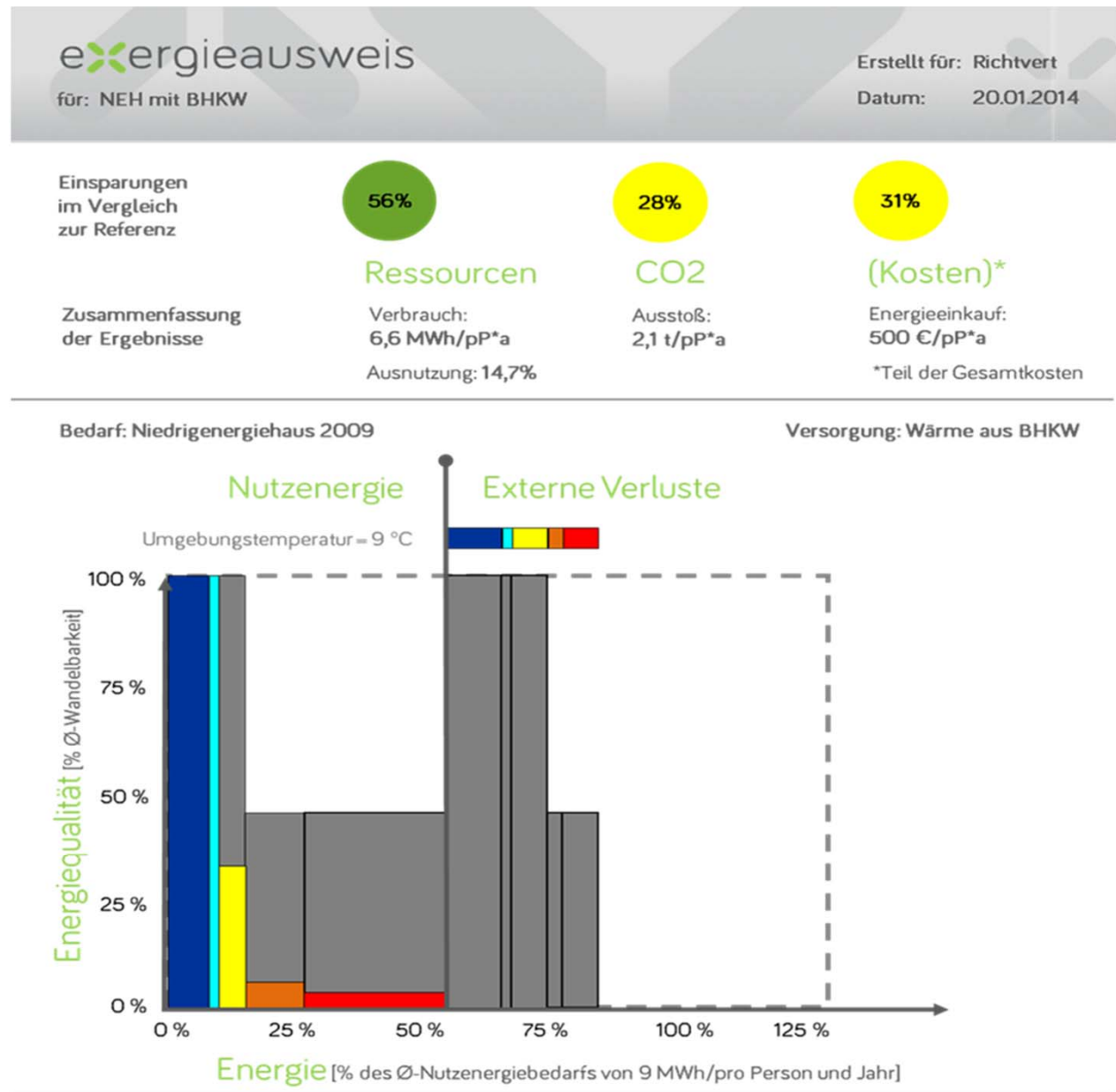
- Hochtemperatur / Dampf CF: 0,30
- Fernwärme groß CF: 0,24 > t_m ca. 98°C
- Fern-/Nahwärme neu CF: 0,17 > t_m ca. 65°C
- BHKW / Objekt CF: 0,14 > t_m ca. 55°C
- Low-Ex-System CF: 0,11 > t_m ca. 45°C
- Abwärme CF: 0,08 > t_m ca. 35°C
- Raumwärme CF: 0,04 > t_m ca. 20°C

Entwurf eines erweiterter Exergieausweises

Die Berechnungsmethoden des Exergieausweises und der kommunalen Bilanzierung wurden aufeinander abgestimmt.

eXergieausweis siehe auch: www.richtvert.de

Quelle: Richtvert



Multi-Kriterien-Matrix zur schnellen Bewertung auf Quartiersebene

Dämmstandard				
☹	☹	☹	☹	☺
●	●	●	●	
Effizienz_{ex}				
☹	☹	☹	☹	☺
●				
CO₂				
☹	☹	☹	☹	☺
●	●			
EEQ / Abwärme				
☹	☹	☹	☹	☺
Wärmenetz				
☹	☹	☹	☹	☺
○				

Dämmstandard: Hier wird der tatsächliche bzw. geplante Dämmstandard (Heizwärmebedarf) in Bezug gesetzt zu einem Zielwert (Passivhaus).

Effizienz: Hier wird die Primärenergie-Ausnutzung (siehe oben) in 1,5%-Schritten bepunktet.

CO₂-Emissionen: Hier werden die CO₂-Emissionen pro Energiebezugsfläche abhängig vom Zielwert bewertet.

EEQ/Abwärme: Hier wird der Anteil der Erneuerbaren Energien Quellen (EEQ) an der Wärmeversorgung bzw. der Anteil der Abwärme aufgezeigt.

Wärmenetz: Hier wird die Eignung für ein Wärmenetz dargestellt.

Varianten können verglichen werden

REFERENZ

Gasbrennwertkessel
Einzelheizung

Variante 1

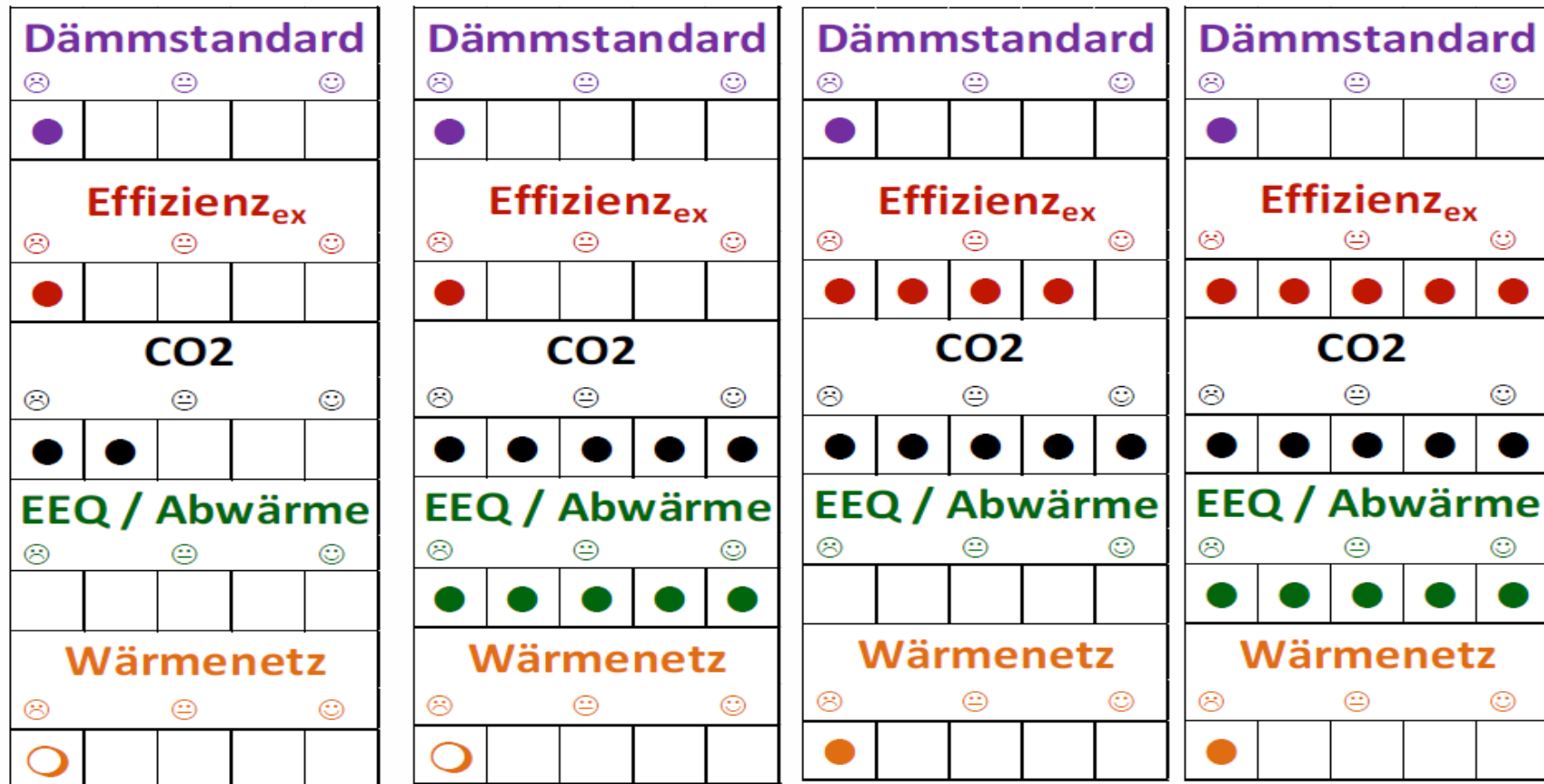
Pelletkessel
Einzelheizung

Variante 2

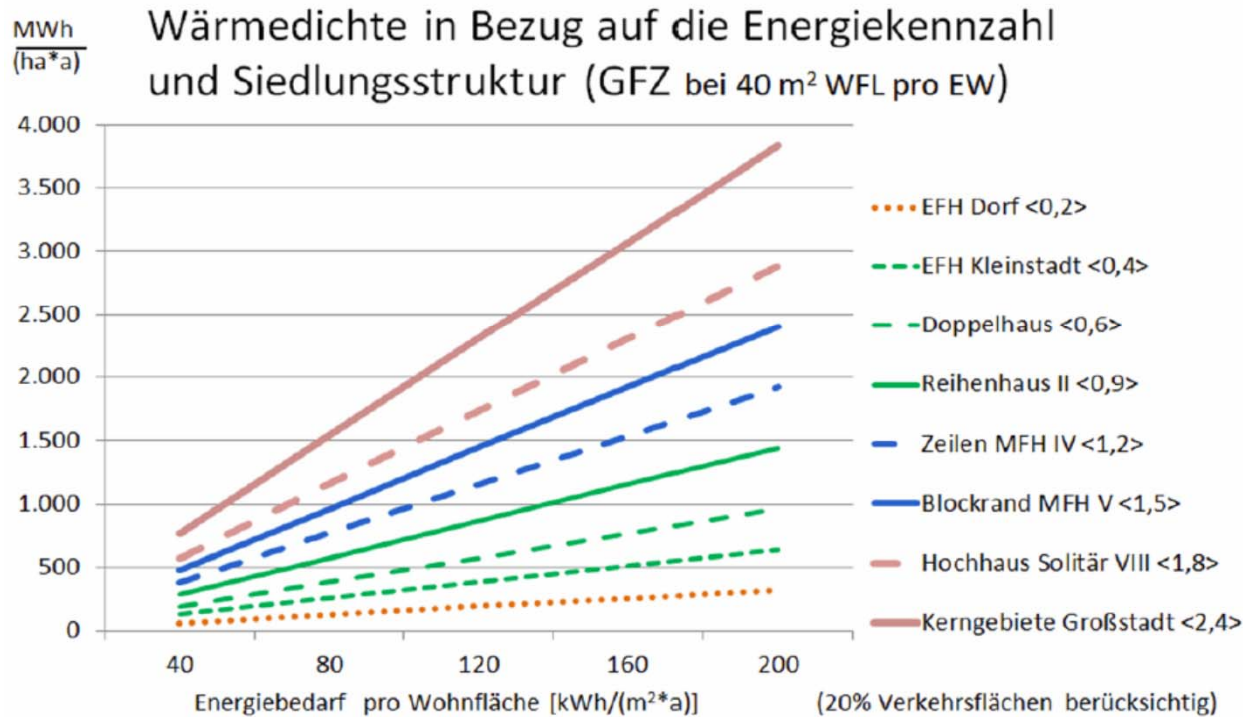
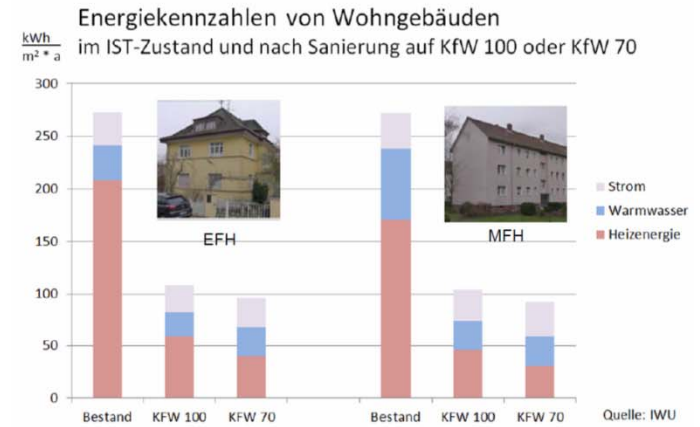
Fernwärme (Gas)
LowEx (Rücklauf)

Variante 3

Abwärme Industrie
Wärmenetz



Das EXERGIE-Arbeitsblatt (EXCEL) baut auf Siedlungsstrukturtypen bzw. Einwohnerdichten und Dämmstandards auf



Output des Projektes für Kommunen (I)

- Eine nachhaltige Nutzung von Strom- Wärmesystemen in Kommunen kommt ohne die exergetische Betrachtung nicht aus.
- Die notwendige Transformation von Fern- und Nahwärmesystemen hin zu LowEx-Projekten und verstärkter Einbindung von Abwärme und erneuerbaren Energien kann ohne den Exergieansatz nicht sinnvoll berechnet werden.
- Im Rahmen des Projektes wurden Berechnungsvorschriften für eine detaillierte Gebäudeanalyse (Exergieausweis) sowie die Betrachtung auf Quartiers- und Gesamtstadtebene harmonisiert.

Output des Projektes für Kommunen (II)

- Die Zwischenergebnisse des Projektes wurden mit der AGFW besprochen. Dort wird die Carnot-Methode Einzug in die KWK-Berechnung finden.
- Ein EXCEL-Arbeitsblatt steht für die überschlägige Berechnung von Exergiefaktoren für KWK-Systeme zur Verfügung.
- Ein Multi-Kriterien-Matrix erlaubt die qualitative Einschätzung der Effekte städteplanerischer Basisannahmen (Bebauungsdichte, Dämmstandard und Versorgungsstruktur) auf Quartiersebene.

Zukünftige Entwicklungsoptionen (I)

- Die exergetische Betrachtung sollte im Rahmen von Wärmenutzungskonzepten gefordert werden um LowEx-, Kaskaden- und KWK-Systeme richtungssicher bewerten zu können.
- Auf Quartiersebene sollte die Multi-Kriterien-Matrix an konkreten Beispielen erprobt und eventuell erweitert werden (zurzeit nur Raumwärme).
- Um die hohen Abwärmepotentiale in Deutschland zu erschließen sollten Beispielprojekte mit vorbildhafter Kaskadennutzung gefördert und dokumentiert werden.
- Eine Berichtspflicht von Abwärmepotentialen ist weiterhin sinnvoll.

Zukünftige Entwicklungsoptionen (II)

- Die Energieversorger setzen inzwischen LowEx-Systeme punktuell um. Hier sollten Förderbedingungen auf Bundes- und Landesebene so angepasst werden, dass diesen Systemen ein Bonus gegenüber klassischen Wärmeversorgungssystemen eingeräumt wird.
- Damit LowEx-Systeme in der Breite Anwendung finden muss eine Anrechnung von diesen Systemen in der EnEV möglich sein. Dies gilt auch für Teilsysteme (z.B. für die Rücklaufanbindung von Stadtteilen).
- Um den Exergieansatz in der kommunalen Praxis zu verankern sollten Fortbildungsangebote (als erster Schritt zum Beispiel ein E-Learning-Angebot) entwickelt werden.

Herzlichen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Hans Hertle (Projektleiter)
ifeu - Institut für Energie- und
Umweltforschung Heidelberg GmbH
Wilckensstraße 3
69120 Heidelberg

Fon: +49 (0) 6221 / 47 67 - 0
Fax: +49 (0) 6221 / 47 67 -19
E-Mail: hans.hertle@ifeu.de

Der Endbericht ist abrufbar auf folgender Homepage:

www.ifeu.de/index.php?bereich=ene&seite=exergetische_bewertung