

CO₂-Vermeidungskosten

Wo sind die günstigsten Vermeidungshebel?

Aktionskreis Energie am 2. April 2019

Energie & Arbeit e.V.
Dipl. Ing. Wilfried Boysen

(Erstvorträge 2008-2011)



Teil 1 – Wirtschaft und Klimaschutz Hand in Hand

Bundesregierung

Senat von Berlin

Bundesverband der Deutschen Industrie

Teil 2 – CO₂ Vermeidungskosten

CO₂ Emissionen

Vermeidungshebel

Teil 3 - Erfahrungen aus dem Energiespar – Contracting

Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand

Ergebnisse

Teil 4 – Schlussfolgerungen

Fazit für die Energiewende

Erkenntnisse

Von der Bundesregierung in 2011 eingeleitete Energiewende:

mittelfristige Ziele für 2020:

- 40% weniger Treibhausgase
- 20% weniger Primärenergie
- Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung 35%
- Anteil der Erneuerbaren Energien an der Gesamtenergieerzeugung 18%

langfristige Ziele bis 2050:

- 80-95% weniger Treibhausgase
- 50% weniger Primärenergie
- Anteil der Erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung 80%
- Anteil der Erneuerbaren Energien an der Gesamtenergieerzeugung 60%

Der Berliner Senat hat sich mit seinem Energiekonzept 2020 folgende Ziele gesetzt:

bis 2020	CO ₂ Minderungsziel gegenüber 1990: 40%
bis 2030	CO ₂ Minderungsziel gegenüber 1990: 60%
bis 2050	CO ₂ Minderungsziel gegenüber 1990: 100%

BDI-Initiative „Wirtschaft und Klimaschutz“:

„Die deutsche Wirtschaft nimmt die Herausforderung und ihre Verantwortung sehr ernst und arbeitet an langfristigen Strategien, um den Klimawandel wirksam begrenzen zu helfen.“

„Gemeinsam mit der Politik will die deutsche Wirtschaft tragfähige, innovative Lösungen entwickeln und diesen weltweit zum Durchbruch verhelfen.“

➔ Auftrag einer Studie an McKinsey: „Kosten und Potenziale der Vermeidung von Treibhausgasemissionen in Deutschland“

Aus „Zusammenfassung der Studienergebnisse“:

„Die Treibhausgasemissionen in Deutschland können bis 2020 gegenüber dem Niveau von 1990 um 26% gesenkt werden, wenn alle bekannten Vermeidungshebel mit Vermeidungskosten von **bis zu 20 €/t CO₂** umgesetzt werden. Eine Senkung um 31% ist möglich, wenn alle bekannten Vermeidungshebel mit Vermeidungskosten von **bis zu 175 €/t CO₂** umgesetzt werden.“

Das inzwischen festgelegte Ziel mit der Senkung um 40% erfordert daher auch Vermeidungshebel mit Vermeidungskosten von **über 175 €/t CO₂**.

Aus dem Kapitel „Chancen für die Deutsche Wirtschaft“:

„Viele Hebel zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen beruhen auf Technologien, Produkten und Dienstleistungen, für die deutsche Unternehmen schon heute innovative Lösungen anbieten.“

Bauwirtschaft

Sanierung Altbestand mit Wärmedämmsystemen an Fassaden, Kellerdecken und im Dachbereich sowie Einbau höherwertiger Fenster und Außentüren

Gebäudetechnik

Einsatz effizienter Heizungs-, Lüftungs-, Klima-, Beleuchtungs- und Regelungstechnik sowie Instandhaltung

Elektrotechnik

komplexere Mess- und Steuersysteme für Energiemanagement sowie Steigerung der Energieeffizienz von elektrischen Antrieben

Maschinen- und Anlagenbau

Umstellung in der Energiegewinnung mit höherem Anteil von Windenergie, Gas und Biokraftstoffen

Teil 1 – Wirtschaft und Klimaschutz Hand in Hand

Bundesregierung

Bundesverband der Deutschen Industrie

McKinsey Studie

Teil 2 – CO₂ Vermeidungskosten

CO₂ Emissionen

Vermeidungshebel

Teil 3 - Erfahrungen aus dem Energiespar – Contracting

Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand

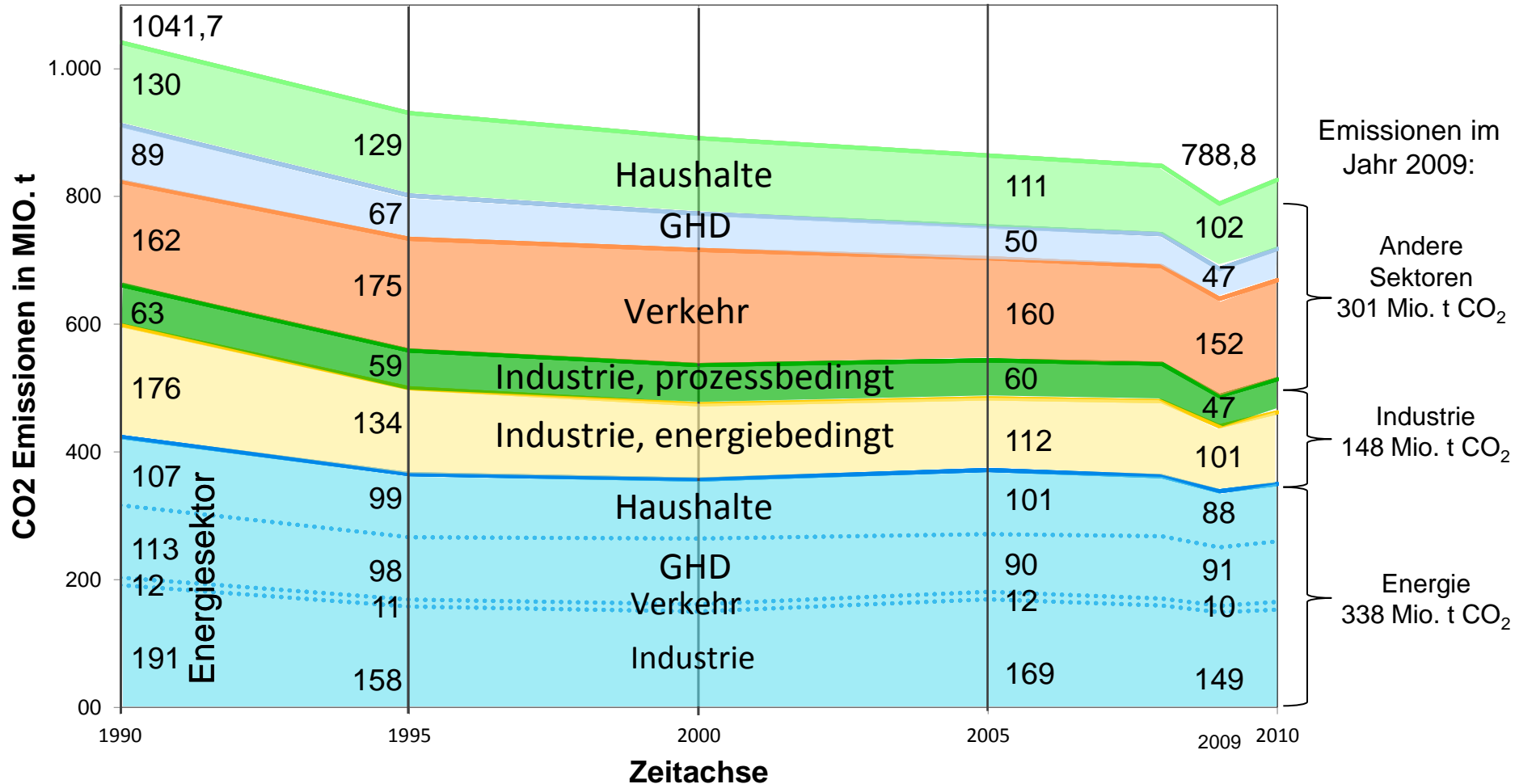
Ergebnisse

Teil 5 – Schlussfolgerungen

Fazit für die Energiewende

Erkenntnisse

Entwicklung der CO₂- Emissionen in Deutschland 1990 - 2010



Quelle: Umweltbundesamt, Nationales Emissionsinventar 1990- 2009 (Submission 2011 v1.2), Werte für 2010 geschätzt.

Bedeutung der CO₂ – Vermeidungskosten (VK):

$$VK_{CO_2} = \frac{k_{NEU} - k_{ALT}}{e_{ALT} - e_{NEU}}$$

Positive Vermeidungskosten VK_{CO2}:

- Höhere Kosten des optimierten Systems gegenüber dem alten System
- → Kostenaufwand für den Entscheider

Negative Vermeidungskosten VK_{CO2}:

- Geringere Kosten des optimierten Systems gegenüber dem alten System
- → Gewinn für den Entscheider

Wechsel vom Referenzkraftwerk → Windkraft an Land ¹

Referenzkraftwerk: 50% aus Erdgas-, 30% aus Steinkohle- und 20% aus Braunkohlekraftwerken



CO₂- Emissionen WKA: 92 t_{CO2} / a

CO₂- Emissionen Referenzkraftwerk: 2.440 t_{CO2} / a

CO₂- Vermeidungskosten: 65 € / t_{CO2}

Leistung:

2000 kW

Standort:

an Land

Lebensdauer:

20 a

Vollaststunden:

2000 h/a

Anlageninvestition:

1500 €/ kW_{el}

Betriebskosten -> 5,0% Anlagenkosten

Zinssatz:

4 %

¹ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Juni 2009: „Erneuerbare Energien - Innovationen für eine nachhaltige Energiezukunft“

Wechsel vom Referenzkraftwerk → Windkraft offshore¹

Referenzkraftwerk: 50% aus Erdgas-, 30% aus Steinkohle- und 20% aus Braunkohlekraftwerken



CO₂- Emissionen WKA: 92 t_{CO2} / a

CO₂- Emissionen Referenzkraftwerk: 2.440 t_{CO2} / a

CO₂- Vermeidungskosten: 156 € / t_{CO2}

Leistung:
2000 kW

Standort:
auf See

Lebensdauer:
20 a

Vollaststunden:
2000 h/a

Anlageninvestition:
3200 €/ kW_{el}
Betriebskosten -> 5,0% Anlagenkosten

Zinssatz:
4 %

¹ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Juni 2009: „Erneuerbare Energien - Innovationen für eine nachhaltige Energiezukunft“

Wechsel vom Referenzkraftwerk → Photovoltaik Freifläche¹

Referenzkraftwerk: 50% aus Erdgas-, 30% aus Steinkohle- und 20% aus Braunkohlekraftwerken



CO₂- Emissionen PV: 600 t_{CO2} / a

CO₂- Emissionen Referenzkraftwerk: 3.050 t_{CO2} / a

CO₂- Vermeidungskosten: 250 € / t_{CO2}

Leistung:

5000 kW

Anlagendimension:

Freiflächenanlage

Lebensdauer:

20 a

Vollaststunden:

1000 h/a

Anlageninvestition:

2000 €/ kW_{el}

Betriebskosten -> 5,0% Anlagenkosten
Berechnungen ohne Förderung

Zinssatz:

4 %

¹ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Juni 2009: „Erneuerbare Energien - Innovationen für eine nachhaltige Energiezukunft“

Wechsel vom Referenzkraftwerk → Photovoltaik Hausdachanlage¹

Referenzkraftwerk: 50% aus Erdgas-, 30% aus Steinkohle- und 20% aus Braunkohlekraftwerken



CO₂- Emissionen PV: 0,6 t_{CO2} / a

CO₂- Emissionen Referenzkraftwerk: 3,05 t_{CO2} / a

CO₂- Vermeidungskosten: 327 € / t_{CO2}

Leistung:

5 kW

Anlagendimension:

Hausdachanlage

Lebensdauer:

20 a

Vollaststunden:

1000 h/a

Anlageninvestition:

2500 €/ kW_{el}

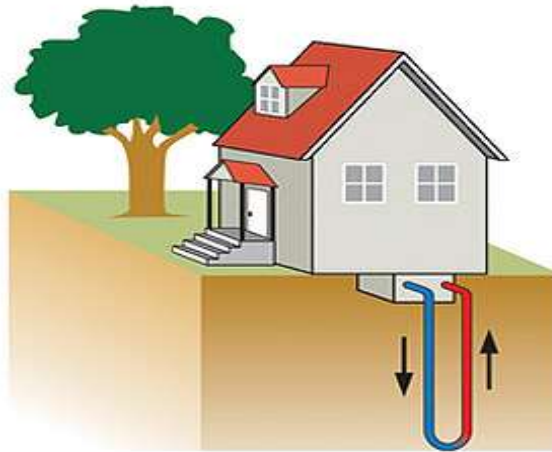
Betriebskosten -> 5,0% Anlagenkosten
Berechnungen ohne Förderung

Zinssatz:

4 %

¹ Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Juni 2009: „Erneuerbare Energien - Innovationen für eine nachhaltige Energiezukunft“

Wechsel vom Referenzkraftwerk → Wärmepumpe ¹



CO₂- Einsparung: 43,2 t_{CO₂} / a

CO₂- Vermeidungskosten: 182 € / t_{CO₂}

Mehrfamilienhaus- Altbau

Leistung:

38 kW_{th}

Leistungsziffer:

$\epsilon = 3,5$

Lebensdauer:

20 a

Vollaststunden:

5000 h/a

Anlageninvestition:

Gesamtanlage: 850 € / kW

(Aggregat, Wärmequellenanlage,
Speicher, Montage)

Zinssatz:

4 %

¹ Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung, Stuttgart, 2002: „Energieverbrauchsprognose für Bayern, CO₂- Vermeidungskosten“

Wechsel vom Referenzkraftwerk → Geothermie ¹

Referenzkraftwerk: 50% aus Erdgas-, 30% aus Steinkohle- und 20% aus Braunkohlekraftwerken



Brunnensystem:

oberflächennah 100m

Lebensdauer:

20 a

Energie:

966 MWh/a

Anlageninvestition:

Gesamtkosten: 343.448€
(inkl. Fernwärmeunterstützung)

Zinssatz:

4 %

CO₂- Emissionen WKW: 93 t_{CO2} / a

CO₂- Emissionen Referenzkraftwerk: 240 t_{CO2} / a

CO₂- Vermeidungskosten: 163 € / t_{CO2}

¹ Machbarkeitsstudie HTEM

Wechsel vom Referenzkraftwerk → Biogas- BHKW ¹

Referenzkraftwerk: 50% aus Erdgas-, 30% aus Steinkohle- und 20% aus Braunkohlekraftwerken



CO₂- Einsparung: 54 t_{CO2} / a

CO₂- Vermeidungskosten: 91,1 €/t_{CO2}

Leistung:

60 kW_{el}

Lebensdauer:

20 a

Vollaststunden:

6000 h / a

Anlageninvestition:

Investition: 1700 € / kW

+ Wartung: 17 € / MWh

+ sonst. Kosten: 5 % Investitionskosten

Zinssatz:

4 %

¹ Institut für Energiewirtschaft und rationelle Energieanwendung, Stuttgart, 2002: „Energieverbrauchsprognose für Bayern, CO₂- Vermeidungskosten“

Technische Optimierung (Wärme, Strom) am Bsp. der Jahn- Oberschule in Berlin- Kreuzberg



CO₂- Vermeidungskosten: -72 € / t_{CO2}

Baujahr: bis 1978

Bruttogeschossfläche: 7050m²

Projektart: Contracting

Maßnahme:

Hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage, Pumpen- und Kesseltausch

Energiespar- Investition:

95.400 €

Zinssatz:

4 %

Lebensdauer:

15 a

Energiekosteneinsparung:

16114 €/ a; 26,3 %

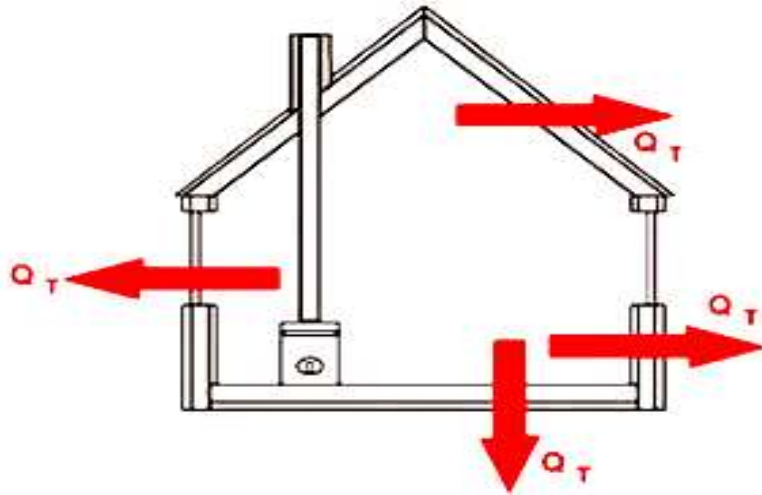
Reduzierung der CO₂-Emission:

109 t/a; 28,8 %

11,6 t/a durch Strom

97,7 t/a durch Wärme

Bauliche Optimierung (Wärmedämmung)* Theoretisches Bsp. an der Jahn- Oberschule



CO₂- Vermeidungskosten: 216 € / t_{CO2}

Baujahr: bis 1978

Bruttogeschossfläche: 7050m²

Maßnahme:

Wärmedämmverbundsystem mit PS-Dämmplatte (90 mm), Fenstertausch (Kunststoffrahmen, Argon, 2fach)

Energiespar- Investition:

1.431.570 €

Zinssatz:

4 %

Lebensdauer:

30 a

Energiekosteneinsparung:

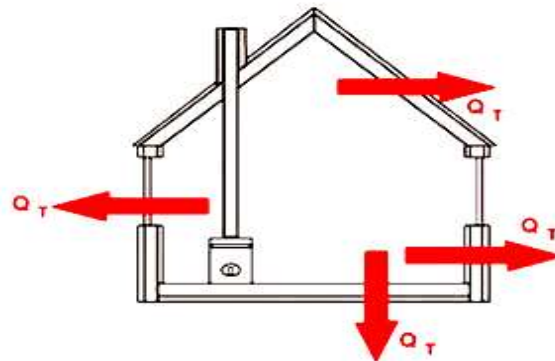
30.040 €/ a; 49,0 %

Reduzierung der CO₂-Emission:

95 t_{CO2}/ a; 28,1%

*Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, TU München, 2004: „CO₂ Vermeidungskosten im Kraftwerksbereich, bei den erneuerbaren Energien sowie bei nachfrageseitigen Energieeffizienzmaßnahmen.“

Technische und bauliche Optimierung an einem Gebäude Theoretisches Bsp. an der Jahn- Oberschule



CO₂- Vermeidungskosten: 186 € / t_{CO2}

Baujahr: bis 1978

Bruttogeschossfläche: 7050m²

Maßnahme:

Wärmedämmverbundsystem mit PS-Dämmplatte (90 mm), Fenstertausch (Kunststoffrahmen, Argon, 2fach), Hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage, Pumpen- und Kesseltausch

Energiespar- Investition:

1.526.970 €

Zinssatz:

4 %

Lebensdauer:

15 a, 30 a

Energiekosteneinsparung:

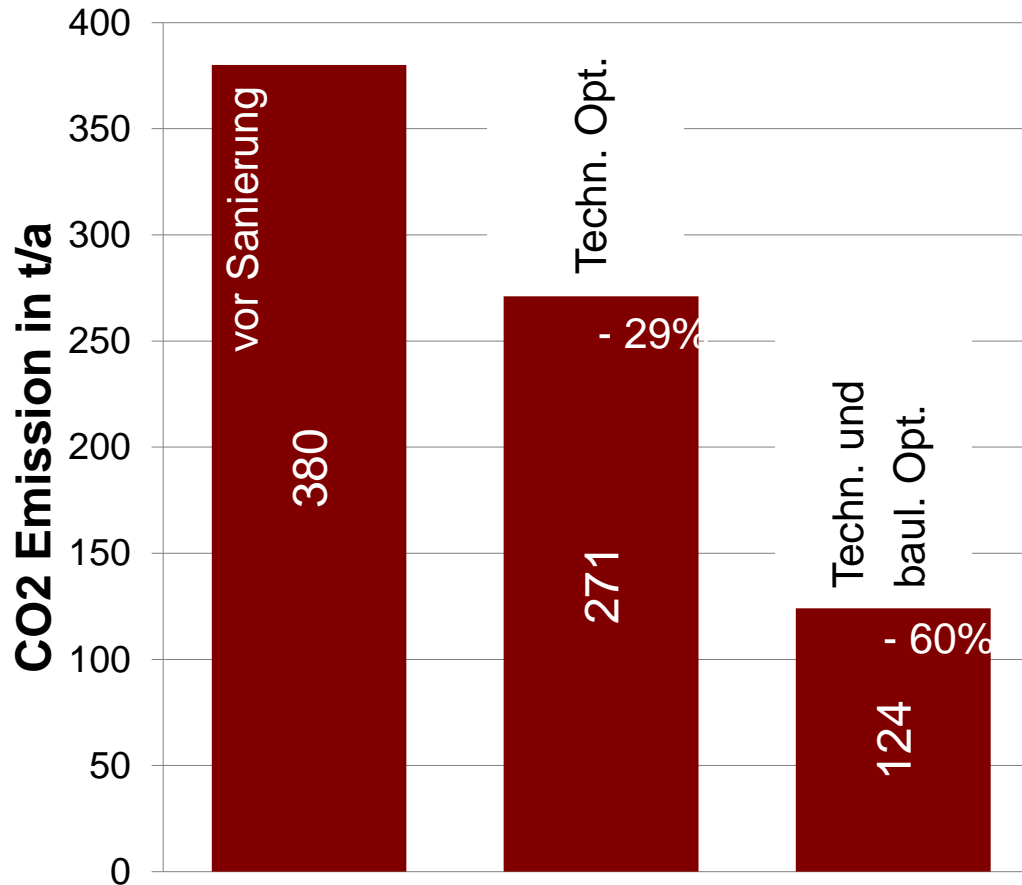
36.896 €/ a; 60,3 %

Reduzierung der CO₂-Emission:

256 t_{CO2}/ a; 67,4 %

*Lehrstuhl für Energiewirtschaft und Anwendungstechnik, TU München, 2004: „CO₂ Vermeidungskosten im Kraftwerksbereich, bei den erneuerbaren Energien sowie bei nachfrageseitigen Energieeffizienzmaßnahmen.“

Gegenüberstellung der CO₂ Emissionen vor und nach der Sanierung mit technischen und baulichen Maßnahmen



Teil 1 – Wirtschaft und Klimaschutz Hand in Hand

Bundesregierung

Bundesverband der Deutschen Industrie

McKinsey Studie

Teil 2 – CO₂ Vermeidungskosten

CO₂ Emissionen

Vermeidungshebel

Teil 3 - Erfahrungen aus dem Energiespar – Contracting

Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand

Ergebnisse

Teil 4 – Schlussfolgerungen

Fazit für die Energiewende

Erkenntnisse

Die Gründe für zu hohen Energieverbrauch in Deutschland liegen im Alter des Gebäudebestands:

- Nur ca. 1% wird jährlich durch Neubauten ersetzt.
 - Ca. 70% der Gebäude sind vor 1977 erbaut
 - Dort liegen die Potenziale:
 - 1.) im Zustand der Außenhülle (Bausubstanz marode)
 - 2.) im Zustand der Technischen Anlagen:
- ➔ Sie sind technisch überholt und überdimensioniert!



Maßnahmen in der Anlagentechnik

ca. -15% bis -45%, Beispiele:

Heizung:

Hydraulischer Abgleich

ca. -15% bis -35%

Erneuerung der Wärmeerzeugung
(und Leistungsreduzierung)

ca. -10% bis -20%

Modernisierung der Regelung
und Betriebsführung

ca. -5% bis -15% (Wärme u. Pumpenstrom)

Lüftung:

Regler bedarfsgerecht parametrieren

Volumenströme und Laufzeiten optimieren

Wärmerückgewinnung sowie

Heiz- und Kühlleistungen optimieren

Neue, effiziente Ventilatoren einsetzen

ca. -20% bis -50% (Wärme und Strom)

Beleuchtung

T5, Präsenzmelder, Energiesparlampen

ca. -10% bis -50% (Strom)



Bauliche Maßnahmen

ca. -5% bis -30%

20 cm Dachdämmung
ca. -10%

Fenster mit
Wärmeschutzverglasung
ca. -10%

12cm
Außenwanddämmung
ca. -30%

6 cm
Kellerdeckendämmung
ca. -5%



Austausch Kessel

Die alten Wärmeerzeuger mit schlechtem Wirkungsgrad werden gegen moderne Brennwertkessel-Anlagen mit modulierendem Brenner ausgetauscht. Einsparungen ergeben sich aus der Reduzierung von Abgas-, Strahlungs- und Stillstandsverlusten und durch den Brennwert-Nutzen.

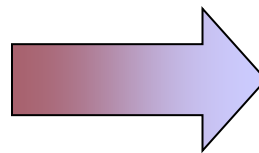
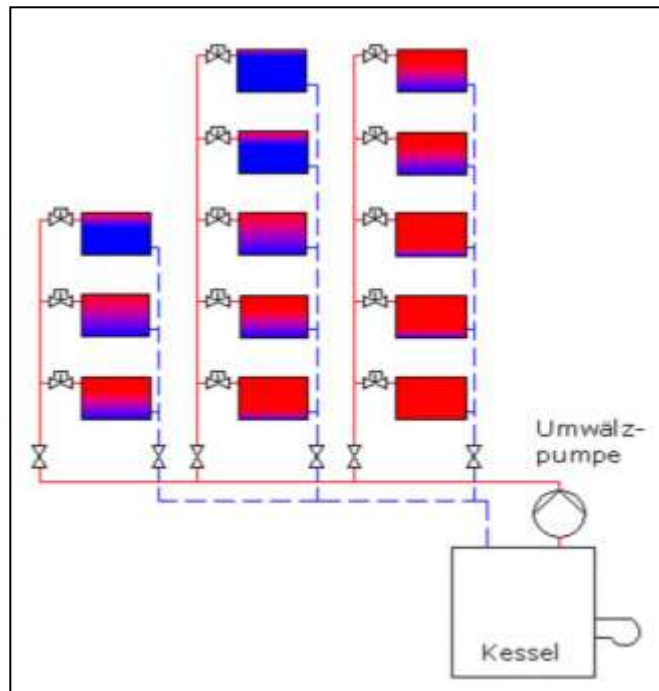
Infolge der weiteren Energiesparmaßnahmen im Wärmebereich sowie aufgrund der Überdimensionierung der vorhandenen Kessel kann die Kesselleistung der neuen Anlage reduziert werden.



Hydraulischer Abgleich

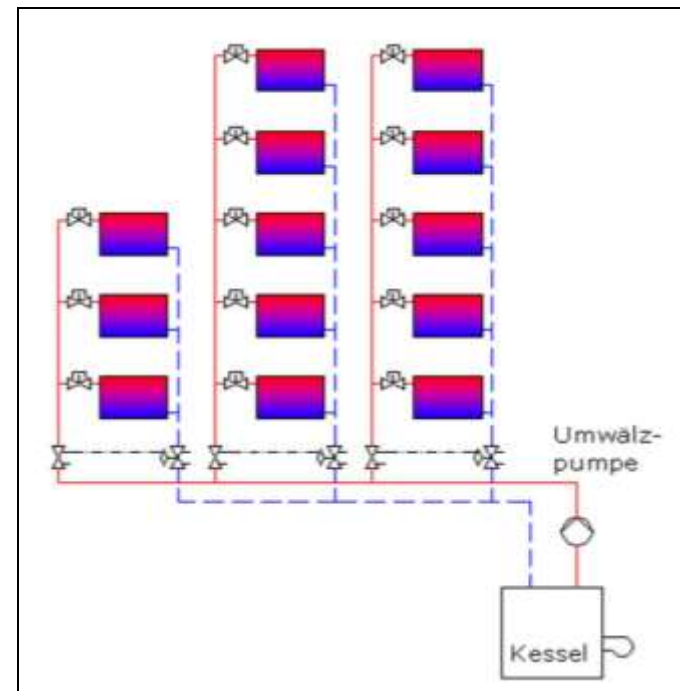
Vorher:

- Überdimensionierte Heizkessel
- Ungleichverteilung der Wärme
- Hohe Massenströme, große Pumpen
- Überbeheizung insb. in der Übergangsjahreszeit



Nachher:

- Angepasste Kessel- und Heizkörperleistung
- Gleichmäßige Beheizung
- Geringere umgewälzte Wassermenge:
→ Kleine Pumpen



vorher



nachher



- Hydraulischer Abgleich der Heizungsanlage
- Thermostatisierung
- Kesseltausch
- Pumpentausch
- Umbau der Heizkreise auf Beimisch-Schaltungen
- Einsatz von DDC- Technik

Innenbeleuchtung:

Austausch von vorhandenen Leuchtstoffröhren mit konventionellem Vorschaltgerät durch T5 Röhren mit elektronischem Vorschaltgerät in Bereichen, die sich durch lange Beleuchtungslaufzeiten auszeichnen

Außenbeleuchtung:

Austausch aller vorhandenen Leuchtmittel mit Quecksilberdampf durch Leuchtmittel mit Clusterlite Energiesparlampen

Energiesparlampen:

Glühlampen werden generell gegen Energiesparlampen ausgetauscht.

Neueste Entwicklung:

Einsatz von LED Leuchten



T8 Leuchtstoffröhre

T5 Leuchtstoffröhre mit Anpasseelement



Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)



Einsatz moderner Regelungstechnik und Energieoptimierte Betriebsführung

- DDC-Technik, Gebäudeleittechnik, Zählereinbau
- nicht nur einbauen, sondern auch bedarfsgerecht programmieren und Betriebserfahrungen nutzen
- Monitoring



Projekte von 1996 - 2010:	26	
Anzahl der Liegenschaften:	423	
Brutto-Geschoss-Fläche:	3,1	Millionen Quadratmeter
Ursprüngliche Energiekosten:	37,3	Millionen Euro pro Jahr
Energiespar-Investitionen:	46,2	Millionen Euro
Energieeinsparung:	10,6	Millionen Euro pro Jahr
	28,5	Prozent
Amortisation:	4,4	a
Vermiedene Tonnen CO₂:	57.550	Tonnen pro Jahr
	32,7	Prozent



CO₂-Vermeidungskosten am Beispiel realisierter Berlin-Projekte

Energiekosteneinsparung		CO ₂ -Reduzierung		Energiesparinvestition	Energiekosten Neu	Energiekosten Baseline
€/a	%	t/a	%	€	€/a	€/a
10.637.645	29,9	57.549	32,7	46.161.471	26.658.497	37.296.142

Bezieht man die **Investitionen** auf die **Lebensdauer** der Anlagen folgt daraus der

jährliche Investitionsanteil:

- + **Energiekosten neu**
- + **Zinskosten**
- + **IH, BF, VW**

so ergeben sich **Jahreskosten** K_{NEU} :
abzüglich der **Baselinekosten**:

- **Energiekosten**
- **IH, BF, VW**

ergibt sich eine **Gesamtkostendifferenz:**

46.161.471 €	←
15 Jahre	
3.077.431 €/ Jahr	
26.658.497 €/ Jahr	←
1.074.382 €/ Jahr	
1.500.000 €/ Jahr	
<hr style="border: 1px solid black;"/>	
32.310.310 €/ Jahr	
<hr style="border: 3px double black;"/>	
37.296.142 €/ Jahr	←
1.500.000 €/ Jahr	
<hr style="border: 1px solid black;"/>	
-6.485.832 €/ Jahr	

Bezogen auf die **CO₂-Reduzierung:**
ergeben sich die

57.549 Tonnen CO₂/ Jahr

CO₂-Vermeidungskosten:

-113 €/ Tonne CO₂

$$VK_{CO_2} = \frac{k_{NEU} - k_{ALT}}{e_{ALT} - e_{NEU}}$$

$$VK_{CO_2} = \frac{32.300.000 \text{ €} - 38.800.000 \text{ €}}{57.550 \text{ vermiedene t CO}_2} = -113 \text{ €/t CO}_2$$

Teil 1 – Wirtschaft und Klimaschutz Hand in Hand

Bundesregierung
Bundesverband der Deutschen Industrie
McKinsey Studie

Teil 2 – CO₂ Vermeidungskosten

CO₂ Emissionen
Vermeidungshebel

Teil 3 - Erfahrungen aus dem Energiespar – Contracting

Energiesparmaßnahmen im Gebäudebestand
Ergebnisse

Teil 4 – Schlussfolgerungen

Fazit für die Energiewende
Erkenntnisse

- **Aus der Sicht der CO₂-Vermeidungskosten sind Energieeinsparmaßnahmen im Gebäudebestand nicht zu übertreffen und haben daher Vorrang**
- **Einsatz regenerativer Energieerzeugung nur in Kombination mit Energieeinsparung, sonst wird wertvolle Energie dumm verbraucht**
- **Sanierung im Gebäudebestand nur unter Energieeffizienzgesichtspunkten**
- **Die Energiewende ist noch nicht nachhaltig angelaufen. Für die Zukunft sind die Weichen mit der richtigen Kombination der CO₂-Vermeidungshebel neu zu stellen (technische Energiesparmaßnahmen mit Vorrang), damit die gesteckten Ziele erreicht werden können.**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!