

# Ökologische und ökonomische Bewertung der Dienstleistung „Raumwärme“

TU Graz

11. Symposium Energieinnovation

10. Februar 2010

**Sebastian Goers**

Robert Tichler

**Energieinstitut an der  
Johannes Kepler Universität Linz**

 **ENERGIE  
INSTITUT**  
an der Johannes Kepler Universität Linz

 **JOHANNES KEPLER  
UNIVERSITÄT LINZ**  
Netzwerk für Forschung, Lehre und Praxis

# Inhalt

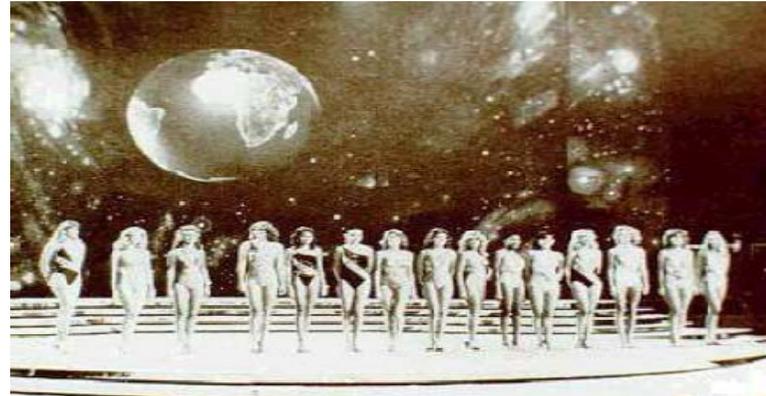
---

- Ökonomische Bewertungen von Raumwärme
- Ökologische Bewertungen von Raumwärme
- Kombinierte Bewertungen

# Einleitung / Motivation

**Warum** und **wie** bewerten?

→ **Bewertung** ist ein Mittel zur Unterscheidung zwischen verschiedenen Alternativen



- **Ökonomische** und **ökologische** Bewertungen können in verschiedenster Weise erfolgen.
- Grundsätzlich existiert eine Vielzahl an Konzepten, welche eine transparente und seriöse Analyse ermöglichen.
- **Hybride Ansätze** (Schadenskosten, Vermeidungskosten) erlauben gleichzeitige Einbeziehung ökonomischer und ökologischer Kriterien.

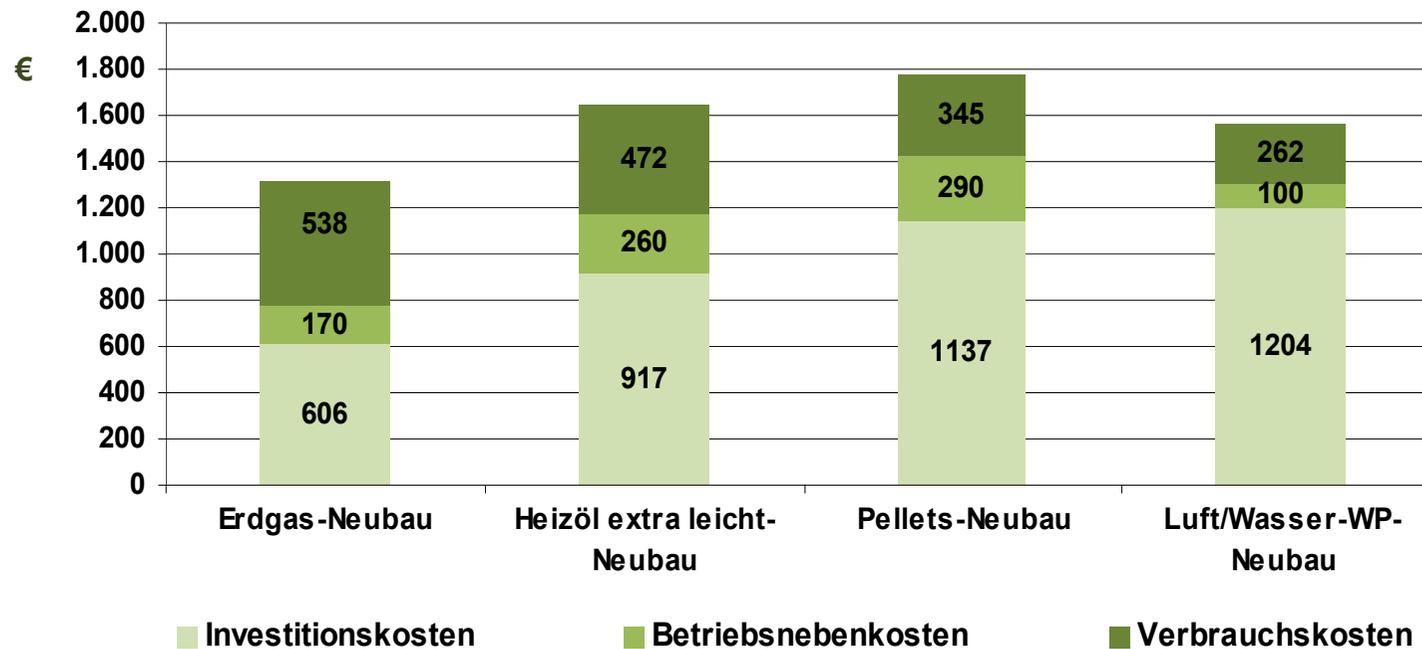
# Ökonomische Bewertungen von Raumwärme

---

- betriebswirtschaftlicher Ansatz
- Lebenszykluskostenanalyse
- volkswirtschaftliche Analyse

# Betriebswirtschaftliche Bewertung - Beispiel

Jahresgesamtkosten in € für verschiedene Heizsysteme für ein **EFH im Neubau bei der Raumwärmebereitstellung**

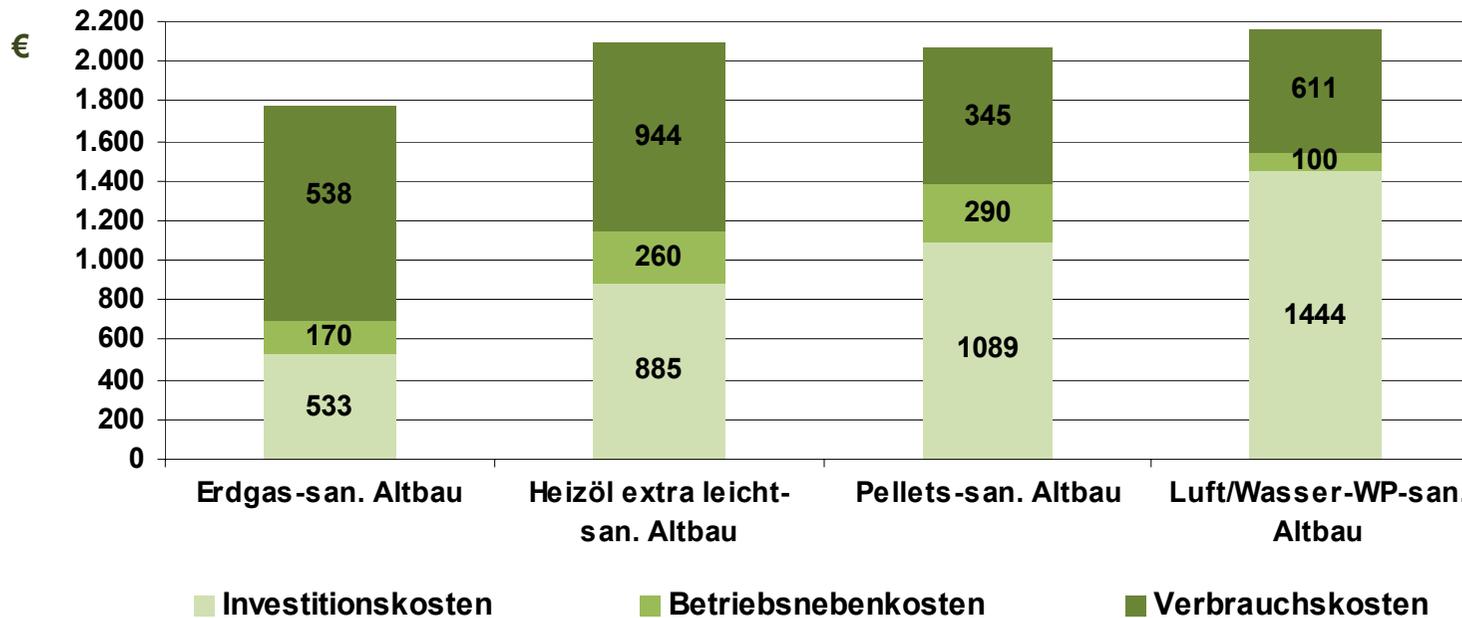


Quelle: Goers et al. (2009)

Ökologische und ökonomische Bewertung der Dienstleistung „Raumwärme“, Sebastian Goers & Robert Tichler, 11. Symposium Energieinnovation, TU Graz, 10.2.2010

# Betriebswirtschaftliche Bewertung - Beispiel

Jahresgesamtkosten in € für verschiedene Heizsysteme für ein EFH im sanierten Altbau bei der Raumwärmebereitstellung



Quelle: Goers et al. (2009)

Ökologische und ökonomische Bewertung der Dienstleistung „Raumwärme“, Sebastian Goers & Robert Tichler, 11. Symposium Energieinnovation, TU Graz, 10.2.2010

# Lebenszykluskosten

- **Lebenszykluskosten** (bezogen auf die Bereitstellung von Raumwärme) sind die Summe sämtlicher während der gesamten Lebenszeit eines Gebäudes, einer Gebäudekomponente oder eines Heizsystems anfallenden Kosten.
- Die Lebenszykluskosten beinhalten also die Kosten für **Planung, Errichtung, Betrieb und Instandhaltung, Erneuerung, Abriss und Entsorgung** (unmittelbar kostenwirksam, wie z.B. Investitionskosten, Energiekosten, Reinigungskosten etc.).



# Lebenszykluskosten

---

- Besonders in der **betrieblichen Umweltwirtschaft** wird das Verfahren der Lebenszykluskostenanalyse aufgrund der umfassenden Betrachtung genutzt, wobei hinsichtlich der Erfassung von beispielsweise Entsorgungskosten und Umweltschäden dem **Prinzip der Nachhaltigkeit** Rechnung getragen wird.
- Allerdings haben die Inhalte zahlreicher Forschungsvorhaben gezeigt, dass die Nachhaltigkeitsanalyse ein breit gefächertes und großes **fachliches Wissen** sowohl im Bereich der **Ökologie**, als auch im Bereich der **Ökonomie**, voraussetzt.

# Volkswirtschaftliche Analyse

---

- Die volkswirtschaftliche Vorgehensweise kann durchaus von den Ergebnissen eines **betriebswirtschaftlichen Vergleiches abweichen**.
- Zentrale Variablen in der Bewertung der Energie für Raumwärme sind beispielsweise
  - **Wertschöpfungsabfluss eines Energieträgers** und somit **Importabhängigkeit eines bestimmten Systems**,
  - **Umfang der öffentlichen Regulierung** (Steuern auf Energieträger, Förderungen für Energiesysteme).

# Volkswirtschaftliche Analyse

---

Weitere zentrale Variablen in der gesamtwirtschaftlichen Bewertung von Raumwärme sind beispielsweise:

- der Einfluss eines verstärkten Einsatzes dieses Systems auf die **Versorgungssicherheit**,
- die mit der Implementierung des Systems verbundenen **Beschäftigungseffekte**,
- die Auswirkungen auf den **Verbraucherpreisindex** und als Konsequenz auf die **Kollektivverhandlungen** und das **Lohnniveau** sowie
- einsetzende **Substitutionen** im privaten Konsum sowie Substitutionen in den Investitionen der Unternehmen durch eine Veränderung der Kostenstruktur.

# Volkswirtschaftliche Analyse – Beispiel

## Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Umsetzung der Maßnahmen zur Althausanierung im Maßnahmenprogramm *Energiezukunft 2030* der öö. Landesregierung

Variablen	Auswirkungen aufgrund der Realisierung der Maßnahme in der oberösterreichischen Volkswirtschaft in Relation zu einer Situation ohne Umsetzung der Maßnahme											
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
<b>Bruttoregionalprodukt [Mio. €]</b>	573,0	647,0	646,2	626,3	600,1	571,8	542,9	476,5	346,7	283,7	247,5	219,6
<b>Beschäftigte</b>	1.831	2.612	2.086	1.984	1.914	1.845	1.778	1.614	1.244	984	930	846
<b>Privater Konsum [Mio. €]</b>	495,6	387,5	356,0	328,9	301,0	272,8	244,2	178,5	65,0	39,1	18,4	-2,5
<b>Investitionen [Mio. €]</b>	73,1	91,1	87,6	81,0	74,5	67,9	61,3	53,4	42,3	31,4	24,0	17,8
<b>Nicht-energetische Nettoexporte [Mio. €]</b>	-6,1	144,8	165,2	165,5	160,5	153,9	146,7	140,7	126,1	90,7	73,7	64,1
<b>Endenergieverbrauch von Wärme [TJ]</b>	-960	-1920	-2880	-3840	-4800	-5760	-6720	-7680	-8359	-9039	-9719	-10398
<b>Zusätzliche Förderungen zur Realisierung der Maßnahme [Mio. €]</b>	88,7	95,1	101,4	107,8	114,2	120,5	126,9	128,8	117,0	121,3	125,7	130,1
<b>Steuern und Abgaben auf Energie* [Mio. €]</b>	-2,2	-6,2	-11,1	-15,7	-20,4	-25,0	-29,6	-34,3	-37,8	-41,1	-44,2	-47,3

Quelle: Tichler et al. (2009)

Ökologische und ökonomische Bewertung der Dienstleistung „Raumwärme“, Sebastian Goers & Robert Tichler, 11. Symposium Energieinnovation, TU Graz, 10.2.2010

# Ökologische Bewertungen von Raumwärme

---

- Schadstoffemissionen verschiedener Heiztechnologien
- Bewertung (von Baustoffen) anhand
  - KEA
  - ÖFA

# Quantifizierung der Schadstoffemissionen

Ökologische Beurteilung anhand der durch die Dienstleistung Raumwärme generierten Luftschadstoff- und Treibhausgasemissionen in kg nach Technologie und Gebäudestandard

Gebäudestandard / System	CO <sub>2</sub> e	NM VOC	Staub	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
<i>Neubau - Erdgas</i>	1.907	0,15	0,08	0,14	1,75
<i>Neubau - Heizöl extra leicht</i>	2.420	0,29	0,18	2,28	1,75
<i>Neubau - Pellets</i>	327	0,54	0,73	0,63	5,05
<i>Neubau - Luft/Wasser-WP</i>	493	0,06	0,07	0,23	0,82
<i>Neubau - Erdreich/Wasser-WP</i>	440	0,06	0,06	0,21	0,74
<i>saniertes Altbau - Erdgas</i>	3.814	0,30	0,15	0,28	3,50
<i>saniertes Altbau - Heizöl extra leicht</i>	4.840	0,58	0,36	4,55	3,50
<i>saniertes Altbau - Pellets</i>	655	1,09	1,46	1,27	10,10
<i>saniertes Altbau - Luft/Wasser-WP</i>	1.129	0,14	0,14	0,52	1,86
<i>saniertes Altbau - Erdreich/Wasser-WP</i>	986	0,13	0,13	0,47	1,64
<i>saniertes Altbau - Luft/Wasser-WP (EU-Strommix)</i>	2.213	0,20	0,38	3,49	3,65
<i>saniertes Altbau - Erdreich/Wasser-WP (EU-Strommix)</i>	1.922	0,18	0,34	3,03	3,17

Quelle: Goers et al. (2009)

Ökologische und ökonomische Bewertung der Dienstleistung „Raumwärme“, Sebastian Goers & Robert Tichler, 11. Symposium Energieinnovation, TU Graz, 10.2.2010

# Kumulierter Energie-Aufwand (KEA)

---

- Der **KEA** ist ein eindimensionaler Ansatz der Ökobilanzierung und eine Maßzahl für den gesamten Aufwand an **Energieressourcen** (Primärenergie) zur Bereitstellung eines Produktes (z. B. **Baustoffe eines Gebäudestandards**) oder einer Dienstleistung (z. B. **Raumwärme**).
- Der KEA wird ferner untergliedert in den **Energieaufwand**, der bei der Herstellung, Nutzung und Entsorgung entsteht. Eine weitere Aufteilung besteht in der Ausweisung des **regenerativen** und **nicht-regenerativen** Anteils.
- Die **VDI-Richtlinie 4600** definiert und erläutert den KEA.

# Kumulierter Energie-Aufwand (KEA)

---

- Die **Vielzahl von Umweltauswirkungen** führt bei der **Ökobilanzierung** zu hohem Aufwand innerhalb der Datenermittlung sowie einer **komplexen Bewertungsmethodik**.
- Da ein **Großteil der Umwelteffekte auf der Energiebereitstellung bzw. -nutzung basiert**, ist der KEA in vielen Fällen als erster Ansatzpunkt im Hinblick auf eine ökologische Bewertung zu nutzen.
- Analog zur Ökobilanzierung sind ebenfalls Daten erforderlich, jedoch erscheint die Ermittlung, Verarbeitung und Interpretation des KEA weniger komplex.

# Kumulierter Energie-Aufwand (KEA) - Beispiel

KEA-Daten für verschiedene Baustoffe in MJ<sub>prim</sub>/t

Stoff	KEA [MJ <sub>prim</sub> /t]
<b>Brannkalk (ab Werk)</b>	<b>4.663</b>
<b>Gibskartonplatte (ab Werk)</b>	<b>3.462</b>
<b>Normalbeton frei Baustelle</b>	<b>657</b>
<b>Stahlbeton frei Baustelle</b>	<b>2.434</b>
<b>Mauerziegel</b>	<b>2.648</b>
<b>Steinwolle (ab Werk)</b>	<b>14.702</b>
<b>EPS-Platte (ab Werk)</b>	<b>79.580</b>

Quelle: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e. V.

Bei der Bewertung von Gebäuden muss eine Massenbilanz über alle eingesetzten Stoffe ermittelt werden. Neben dem KEA für die Errichtung ist aber auch der KEA für den Betrieb von Bedeutung.

*Ökologische und ökonomische Bewertung der Dienstleistung „Raumwärme“, Sebastian Goers & Robert Tichler, 11. Symposium Energieinnovation, TU Graz, 10.2.2010*

# Ökologischer Fußabdruck - Beispiel

- Maßzahl, welche die ökologischen Auswirkungen (Stoff- und Energieströme) bspw. eines Prozesses auf der **Basis von Fläche** zusammenfasst. Desto mehr Fläche, desto mehr Umweltdruck geht von der Aktivität aus.

Ökologischer Fußabdruck (ÖFA) des Bausektors in  $m^2a/kg$

Stoff	ÖFA [ $m^2a/kg$ ]
Branntkalk (ab Werk)	36,6
Normalbeton frei Baustelle	5,9
Stahlbeton frei Baustelle	53,8
Mauerziegel	34,2
Steinwolle (ab Werk)	202
EPS-Platte (ab Werk)	1.638
Bauholz	24,2

Quelle: Krotscheck und König (1997)

Ökologische und ökonomische Bewertung der Dienstleistung „Raumwärme“, Sebastian Goers & Robert Tichler, 11. Symposium Energieinnovation, TU Graz, 10.2.2010



# Kombinierte Bewertung

---

- Analyse von Schadenskosten
- Analyse von Vermeidungskosten

# Schadenskosten

- Die Berechnung von **Schadenskosten spezifischer ökologischer Auswirkungen von Raumwärmesystemen** beinhaltet die **Monetarisierung von mit dem System verbundenen externen Effekten** (wie etwa Treibhausgasemissionen). Hierbei ist insbesondere die Höhe der Schadenskosten einer emittierten Tonne CO<sub>2</sub> in der Wissenschaft noch äußerst umstritten.

Luftschadstoff bzw. Treibhausgas	Schadenskosten in €/t	Quelle
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	2.939	ExternE
Stickoxid (NO <sub>x</sub> )	2.908	ExternE
Flüchtige organische Verbindungen außer Methan (NMVOC)	1.124	ExternE
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	~ 50	ToI (2005)
Staub (PM <sub>10</sub> und PM <sub>2,5</sub> )	15.631	ExternE

Quelle: ExternE - Externalities of Energy, EU-Kommission, IER, ToI (2005)

Ökologische und ökonomische Bewertung der Dienstleistung „Raumwärme“, Sebastian Goers & Robert Tichler, 11. Symposium Energieinnovation, TU Graz, 10.2.2010

# Schadenskosten - Beispiel

Schadenskosten einer spezifischen Raumwärmebereitstellung in €/TJ

Energieträger	Aggregierte Schadenskosten [€/TJ] (CO <sub>2</sub> + SO <sub>2</sub> + NO <sub>x</sub> + N <sub>2</sub> O + NMVOC + PM)
Braunkohlebriketts	14.562
Koks	11.249
Heizöl extra leicht	5.299
Erdgas	3.649
Umgebungswärme	2.605
Fernwärme	2.054
Kokereigas	1.844
Biogene Brenn- und Treibstoffe	1.466
Brennholz	1.265

Quelle: Tichler (2009)

# Vermeidungskosten

- Eine umfassendere und direktere Möglichkeit der Bewertung ist das **Konzept der Vermeidungskosten**. Hierbei ist jeweils eine bestimmte Technologie oder ein bestimmtes System/ eine bestimmte Maßnahme hinsichtlich der Relationen der Differenz in den Kosten und in den Emissionen zu einem Referenzsystem zu bewerten. Als Ergebnis werden die Kosten je vermiedener (oder auch potentiell zusätzlich emittierter) Tonne einer spezifischen Emissionen wiedergegeben.

$$VK_{ij} = \frac{\Delta K}{\Delta E} \quad \left[ \text{in } \frac{\text{Euro}}{\text{t CO}_2\text{e}} \right]$$

- $\Delta K$  = (Jahresgesamtkosten Technologie i) - (Jahresgesamtkosten Referenztechnologie j [€])
- $\Delta E$  = (Schadstoffemissionen Referenztechnologie j) - (Schadstoffemissionen Technologie i [t]).

# Vermeidungskosten – Beispiel

## Vermeidungskosten im Verbrauchsegment Raumwärme in €/kg Luftschadstoff im Neubau

Referenzsystem Erdgas					
<i>Neubau</i>	CO <sub>2</sub> e	NM VOC	Staub	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Luft/Wasser-WP	0,18	3.024	21.439	nicht definiert	279
Erdreich/Wasser-WP	-0,05	-760	-4.214	nicht definiert	-69
Referenzsystem Heizöl extra leicht					
<i>Neubau</i>	CO <sub>2</sub> e	NM VOC	Staub	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Luft/Wasser-WP	-0,04	-354	-708	-39	-86
Erdreich/Wasser-WP	-0,21	-1.765	-3.490	-199	-404
Referenzsystem Pellets					
<i>Neubau</i>	CO <sub>2</sub> e	NM VOC	Staub	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>
Luft/Wasser-WP	nicht definiert	-415	-301	-498	-47
Erdreich/Wasser-WP	nicht definiert	-1.087	-792	-1.258	-123

Quelle: Goers et al. (2009)

# Schlussbemerkungen

---

- Wie veranschaulicht, existieren **eine Vielzahl** von verschiedenen Möglichkeiten, sowohl **eine ökonomische, als auch eine ökologische Bewertung** von Energiesystemen und Energieträgern (im Bereich Raumwärme) durchzuführen.
- Sämtliche Konzepte stellen **transparente und seriöse Analysen** der verschiedene Systeme dar und eruieren allerdings durchaus **signifikante Unterschiede in ihren Aussagen**.
- Es ist als Konsequenz von zentraler Bedeutung, in die ökologische und/oder ökonomische Bewertung von Energiesystemen (Raumwärmesystemen) eine eindeutige Systemdefinition und -abgrenzung durchzuführen und in transparenter und umfassender Form die Ergebnisse zu dokumentieren.

---

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit !

## Kontakt

Sebastian Goers

Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz

Altenberger Strasse 69

4040 Linz

Tel: +43 70 2468 5654

Fax: + 43 70 2468 5651

e-mail: [goers@energieinstitut-linz.at](mailto:goers@energieinstitut-linz.at)

