
Energetische Gebäudeerneuerungen: Wirtschaftlichkeit und CO₂-Vermeidungskosten

Schlussveranstaltung Gebäudeprogramm Stiftung
Klimarappen

2. November 2011
Martin Jakob

TEP Energy, Zürich
Spin-off der ETH Zürich

TECHNOLOGY ECONOMICS POLICY - RESEARCH AND ADVICE

Acknowledgments

- Stiftung Klimarappen: Finanzierung, Begleitung
Marco Berg, Stefan Haas, Thomas Nordmann
- Projektpartner: Meier+Steinauer AG, Zürich:
Marco Bendotti, Stefan Brändle
- Projektpartner: HSLU Horw
Robi Fischer
- TEP Energy: Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter
Beate Grodofzig, Nadja Gross, Gabriela Koch,
Ursula Ott, Daniela Widmer, Remo Forster

Kosten von baulichen energetischen Erneuerungs- und Instandsetzungsmassnahmen

- Wichtige Entscheidungsgrundlage für Gebäudebesitzer
- Ausgestaltung von energie-politischen Förderprogrammen
- Auswertung des Gebäudeprogramms der
Stiftung Klimarappen
- Detaillierte Analyse von Gesuchsdossiers
- Regressionsmodelle: einzelne Kostenpunkte
- Typische Kostenkennwerte (CHF/m²)
- Wirtschaftlichkeitsrechnungen, spezifische
Energieeffizienz- und CO₂-Vermeidungskosten

Wirtschaftlichkeit Gebäudeerneuerung

Wirtschaftlichkeit: was in Vergleich wozu?

- **Vergleich Investitionen** Instandsetzung und energetische Erneuerung
=> **nicht sachgerecht**, da Energiekostensparnis unberücksichtigt
- Vergleich **laufende Energiekosten zu Gesamtinvestition**
=> **nicht sachgerecht**, da Instandsetzungs-/Neuwert-Komponente
unberücksichtigt
- Heutige Energiepreise und Mieteinnahmen/Wiederverkaufswerte
=> nicht sachgerecht, da künftige Entwicklungen unberücksichtigt

Sachgerechte Wirtschaftlichkeitsabschätzung

- Vergleichsbasis **Instandsetzung** (nicht „nichts tun“)
- Vergleich gesamte Jahreskosten (**Lebenszykluskosten**)
- **Künftige Preisrisiken und Dynamik** Immobilienmarkt berücksichtigen

Methodik und Datenbasis

Methodik

- Gesuchsdossiers: enthaltene Bauleistungen u.a. Attribute
- Regressionsmodelle: Kosten als Funktion der enthaltenen Bauleistungen und anderer Attribute
- Wirtschaftlichkeitsrechnungen
 - Definition Referenzfälle und Differenzbildung
 - Energieeffizienzberechnung (Differenz U-Werte)
 - Lebenszykluskosten = annualisierte Kosten / Energiekosteneinsp.

Datenbasis

- Komplette Gesuchsdatenbank (ca. 9000 Gebäude)
- Einzel untersuchte Dossiers: ca. 400

Fragestellung, Hypothesen Regressionsmodelle

- Massnahmenfremde Bauleistungen in Rechnungsbeträgen?
- Kosten abhängig von
 - Gebäudetyp, Gebäudegrösse, Bauperiode
 - Synergieeffekte bei umfassenden Renovationen
 - Materialisierung, Ausführung
 - Abhängigkeit von erreichten Effizienzniveau bzw. vom Aufwand, auf ein bestimmtes Niveau zu kommen
 - Unterschiede zwischen Gemeinden, Stadt/Land
 - Eigentübertyp: Private kostengünstiger als Firmen

Ergebnis Regressions- modell

Beispiel Fenster Gesamt- Datenbank

Quelle:

Gebäudeprogramm
Stiftung Klimarappen
TEP Energy

LN Fensterinvestitionen / m ²	Coef.	Std.Err.	t	P>t	Signifikanz
LN Fensterfläche	-0.138	0.005	-25.60	0.000	***
Baubeginn 2007.1	-0.063	0.020	-3.09	0.002	***
Baubeginn 2007.2	-0.018	0.016	-1.10	0.271	
Baubeginn 2009.2	0.012	0.011	1.17	0.243	
Baubeginn 2010.1	0.055	0.015	3.75	0.000	***
LN Einkommen pro steuerpfl. P.	0.072	0.020	3.67	0.000	***
Fenster Eigenleistung	-0.233	0.068	-3.43	0.001	***
Anteil Fenster Fassade	0.021	0.013	1.65	0.098	*
MFH	-0.036	0.011	-3.22	0.001	***
Büro	0.077	0.029	2.64	0.008	***
Gewerbe	-0.046	0.023	-1.96	0.050	*
Schule	0.067	0.031	2.14	0.032	**
Firmeneigentümer	0.041	0.012	3.37	0.001	***
Gebäudehülle und Fenster	0.029	0.011	2.71	0.007	***
Bauperiode vor 1900	0.115	0.013	8.80	0.000	***
Bauperiode 1900 - 1945	0.075	0.011	6.94	0.000	***
Bauperiode 1946 - 1960	0.023	0.011	2.15	0.032	**
Fenster Dreifachverglasung	0.061	0.010	6.09	0.000	***
Fenster Minergie	0.085	0.009	9.09	0.000	***
Fenster Rahmen Holz	0.188	0.013	14.84	0.000	***
Fenster Rahmen Holz/Metall	0.193	0.009	21.05	0.000	***
Fenster Rahmen Metall	0.361	0.037	9.82	0.000	***
Fenster Abstandhalter Alu	0.007	0.027	0.26	0.797	
Fenster Abstandhalter Edelstahl	0.000	0.009	0.03	0.976	
Fenster Abstandhalter k.A.	0.061	0.020	3.09	0.002	***
Bonus Minergie	0.088	0.018	4.90	0.000	***
Bonus Gesamterneuerung	0.014	0.010	1.41	0.159	
Erfasste Dossiers	-0.093	0.020	-4.54	0.000	***
Konstante	6.248	0.217	28.80	0.000	***

10

N= 7163, F(27, 7134)=92.16, R2=0.266, Adj.R2=0.263 Irrtumswahrscheinlichkeit: * ≤ 10%, ** ≤ 5%, *** ≤ 1%

Ergebnis Regressions- modell

Beispiel Fassade Gesuchs- dossiers

Quelle:

Gebäudeprogramm
Stiftung Klimarappen
TEP Energy

Variable	Coef.	Std. Err.	t	P>t	Signifikanz
LN Wandfläche	-0.031	0.029	-1.05	0.293	
1976 bis 1990	0.108	0.066	1.64	0.102	
Dämmstärke Wand (cm)	0.011	0.006	1.96	0.052	*
Kostenabgrenzung gem. BZ oder Gesuchsteller	0.054	0.055	0.98	0.330	
Überprüfung der Kostenangaben nicht möglich	0.249	0.057	4.39	0.000	***
Kosten korrigiert anhand vorliegender Rechnung	0.072	0.042	1.73	0.085	*
Gebäudehülle mit grossem Umbau	-0.082	0.070	-1.17	0.243	
XPS	0.080	0.040	2.02	0.045	**
Mineralwolle	0.094	0.039	2.4	0.017	**
optimiert	0.072	0.038	1.88	0.061	*
Eigenleistung	-0.003	0.081	-0.04	0.967	
EFH	-0.025	0.047	-0.53	0.594	
Sockelausbildung	-0.010	0.045	-0.23	0.816	
Bekleidung	0.130	0.058	2.24	0.026	**
Fensterbänke	0.019	0.041	0.47	0.642	
Hinterlüftete Fassade	0.195	0.064	3.07	0.002	***
Innendämmung	-0.173	0.085	-2.03	0.043	**
Gerüst enthalten	0.194	0.051	3.81	0.000	***
Konstante	5.179	0.200	25.85	0.000	***

N=311, F(18, 292)=9.24, R2=0.363, Adj.R2=0.324

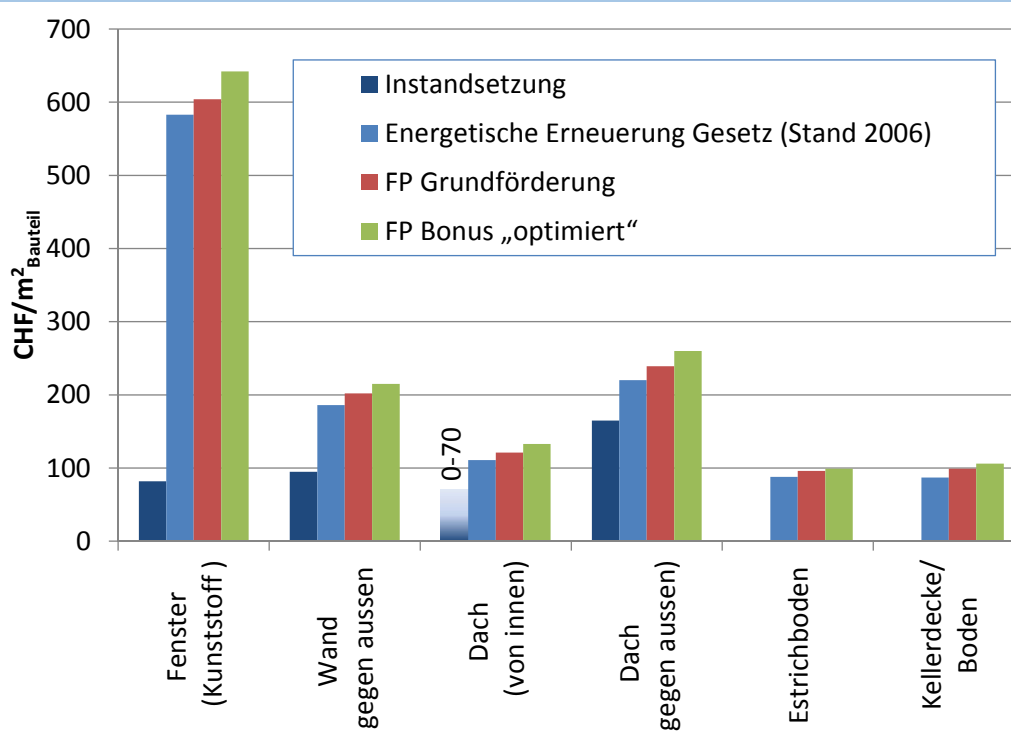
Irrtumswahrscheinlichkeit: * ≤ 10%, ** ≤ 5%, *** ≤ 1%

Marginale Effekte

Beispiel Fassade Gesuchsdossiers

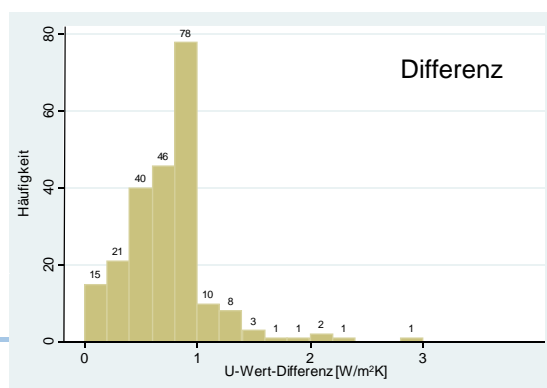
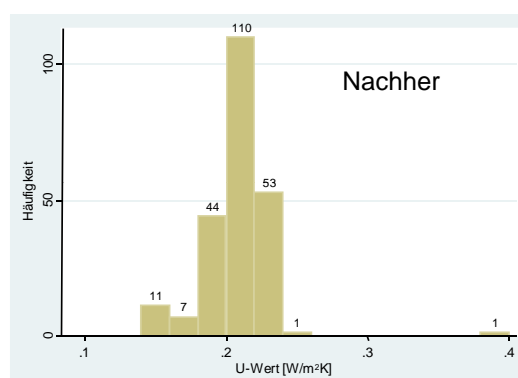
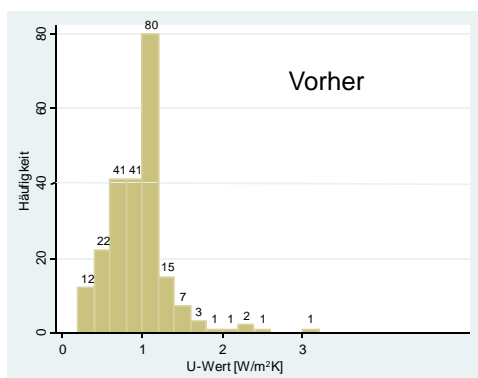
Variable	Erhöhung um	Veränderung der Kosten um
Dämmstärke Wand (cm)	1	1.1%
Überprüfung der Kostenangaben nicht möglich	1	28%
Kosten korrigiert anhand vorliegender Rechnung	1	8%
XPS	1	8%
Mineralwolle	1	10%
Effizienzstandard „optimiert“ gemäss Def. SKR	1	8%
Bekleidung	1	14%
Hinterlüftete Fassade	1	22%
Innendämmung	1	-16%
Gerüst enthalten	1	21%

Konsolidierte Kostenkennwerte



Energetische Wirkung der Massnahmen

U-Werte vorher und nachher (Bsp. Fassade)



Energetische Wirkung der Massnahmen

U-Werte vorher und nachher [W/m²K]

	Gemäss in diesem Projekt analysierten Dossiers							Vergleich: Ott, Jakob (2006) U-Wert-Differenz
	N	U-Wert vorher		U-Wert nachher		U-Wert-Differenz		
		Mittel	Median	Mittel	Median	Mittel	Median	
Wand	237	0.97	0.98	0.21	0.21	0.76	0.77	0.75
Dach	91	1.31	0.60	0.20	0.21	1.12	0.42	0.75
Estrichboden	43	1.41	1.01	0.20	0.21	1.20	0.86	0.55
Kellerdecke	46	1.79	1.64	0.26	0.26	1.54	1.41	0.50

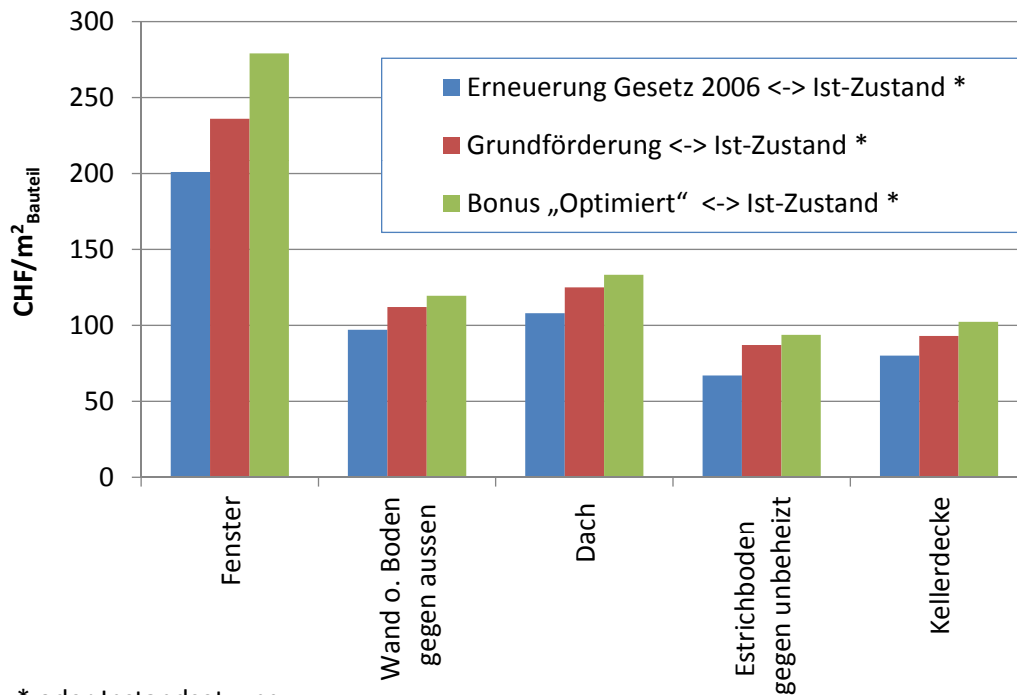
Quelle: Stiftung Klimarappen, Auswertungen TEP Energy

Fazit:

tatsächliche U-Wert Differenz gemäss Dossiers-Analysen höher als ex-ante angenommen

Kapitalisierte Energiekosteneinsparung

Endenergiepreis: 7.3 Rp./kWh, Realzinssatz von 3% p.a



* oder Instandsetzung

Nicht-amortisierbare Mehrkosten

_[CHF/m² Bauteil]

	Ohne Berücksichtigung der Förderbeiträge			Zum Vergleich: Förderbeiträge		
	En. Ern. (*) <-> Ist-Zustand	Grundförderung <-> Instandsetzung	„Optimiert“ <-> Instandsetzung	Stiftung Klimarappen		
Fenster Fall 1	383	286	306	20	70	80
Fenster Fall2	531	-64	-34			
Wand	88	-5	1	20	30	
Dach (von innen)	3	-74	-70	20	30	
Dach (gegen aussen)	111	-51	-38	20	30	
Estrichboden	18	5	2	20	30	
Kellerdecke	3	1	2	20	30	

CO₂-Vermeidungskosten [CHF/tCO₂]

Energiepreis 7.3 Rp./kWh bzw. 10 Rp./kWh, Realzinssatz von 3% p.a., 50% Oel, 50% Gas, ohne Berücksichtigung der Förderbeiträge

	Energetische Erneuerung (*)		Grundförderung		„Optimiert“	
	<->		<->		<->	
	Ist-Zustand		Instandsetzung		Instandsetzung	
Fenster	374	301	237	165	236	164
Wand	157	93	-8	-72	1	-63
Dach (von innen)	5	-52	-91	-148	-82	-139
Dach (gegen aussen)	159	102	-63	-120	-44	-101
Estrichboden	41	-16	9	-48	3	-54
Kellerdecke	5	-52	2	-55	3	-54

(*) Gesetzliche Anforderungen 2006
Energiepreis von 7.3 Rp./kWh, Realzinssatz von 3% p.a.

Vermeidungskosten Stiftung Klimarappen Vergleich mit Studie econcept/A+W i.A. BFE (1)

- Auswertung SKR: 400 Objekte, Einsparungen berechnet
- Vermeidungskosten Objekte SKR geringer (ausg. Boden)

Vergleich der Kennwerte	Investition _{Massn.} - Investition _{Ref.} [CHF/m ² Bauteil]		Energieeinsparung [kWh/m ² Bauteil]		CO ₂ -Vermeidungskosten [CHF/ t CO ₂]	
	econcept/A+W	TEP 2010	econcept/A+W	TEP 2010	econcept/A+W	TEP 2010
Dach	78	74	-30	-67	109	-63
Aussenwand	136	107	-55	-67	97	-8
Fenster	511	522	-91	-165	676	237
Boden	63	99	-57	-50	-129	2

Quelle Ott et al 2011

- **Dach:** Median U-Wert vor Sanierung 0.6 W/m²K; SKR Mittelwert 1.0 W/m²K
- **Aussenwand:** Höhere Kosten zu Referenzfall, geringere Einsparungen
- **Fenster:** Ähnliche Kosten, markant geringere Einsparungen
- **Boden:** Kosten geringer, Einsparungen etwas höher als bei SKR-Objekten

Vermeidungskosten Stiftung Klimarappen

Vergleich mit Studie econcept/A+W i.A. BFE (2)

- Methodik econcept / A+W:
 - Gemessene Energieeinsparungen vorher/nachher
 - Messungen mit Modellrechnungen und Verbrauchserhebungen plausibilisiert
- Methodik Stiftung Klimarappen (TEP Energy)
 - Energieeinsparungen aufgrund der Massnahmen berechnet
 - Berechnete Energieeinsparungen bei Auswertung SR KR eher überschätzt?
 - SIA 380/1 rechnet mit 20° C Raumtemperatur, heute eher 22° C üblich, v.a nach Sanierung? (→ kleinere Einsparungen?)
 - Annahmen über den Zustand der ausgewerteten Objekte (U-Werte) ev. zu pessimistisch, d.h. zu hoher Verbrauch vorher? (→ kleinere Einsparungen?)

Quelle Ott et al 2011

Fazit

- Wirtschaftlichkeit und CO₂-Vermeidungskosten stark abhängig von Betrachtungsweise und Parameter (Vergleichsfälle, Zinsen, Preise)
- Energetische Erneuerungen sind i.d.R. (*) wirtschaftlich im Vergleich zu Instandsetzungen (langfristig, ab ca. 7-8 Rp/kWh)
- Grenzkosten von Minergie-Erneuerungen (im Vergleich zu früheren gesetzlichen Anforderungen) sind im vertretbarem Rahmen
- Förderungen Gebäudeprogramm und Kantone deck(t)en Mehrkosten
- Durch Förderungen, Energiekosteneinsparungen und steuerliche Abzüge werden Minergie-Fenster im Vergleich zu Standard rentabel
- Energiekosteneinsparungen zusätzlich in der selben Grössenordnung
- CO₂-Vermeidungskosten im Gebäudebereich i.d.R. gering oder negativ, d.h. ein Gewinn (Vergleichsbasis Instandsetzung, v.a. ab 10 Rp/kWh) (*)
(*) Fenster: je nach Vergleichsfall stark negative oder positive Grenzkosten

Fragen?

Jetzt/später oder martin.jakob @ tep-energy.ch, 043 500 71 71

Quellen und weiterführende Literatur

- Jakob M. et al. (2010). Auswertung Gebäudeprogramm Stiftung Klimarappen (SKR). TEP Energy et al. i.A. SKR, Zürich, Juni.
- Hofstetter P., Jakob M. (2006). Klimaschutz spart Geld beim Wohnen - Was sich für Hausbesitzer bei der Gebäudehülle und Heizsystemwahl schon heute lohnt. WWF (Hrsg.), Zürich, Januar.
- Ott W., Baumgartner A., Jakob M. Philippen, Umbricht A., Vogel U., Grodofzig B. (2011).. CO2 – Vermeidungskosten bei der Erneuerung von Wohnbauten, Econcept, Amstein+Waltert, TEP Energy i. A. Bundesamt für Energie. Zürich, Bern, Juni
- Ott W., Jakob M., Baur M. (2006): Direkte und indirekte Zusatznutzen bei energieeffizienten Wohnbauten, econcept/CEPE i. A. von Bundesamt für Energie (BFE), Bundesamt für Wohnungswesen u.a., Bern, Januar
- Jakob M, Jochem E. (2004): Wärmeschutz bei Wohnbauten – Kosten und Nutzen (24 Seiten), Bundesamt für Energie (Hrsg.), Bern.