

# Wirtschaftlichkeitsuntersuchung „besserer Wärmeschutz vs. Gebäudetechnik“

Fallstudie von Boris Lukáč und Urs Kormann

NDS Energie, Wintersemester 06/07



„Neubauten und Erweiterungen von bestehenden Bauten müssen so gebaut und ausgerüstet werden, dass höchstens 80% des zulässigen Wärmebedarfes für Heizung und Warmwasser mit nicht erneuerbaren Energien gedeckt werden.“ So lautet die Zusatzanforderung der kantonalen Energieverordnung des Kantons Bern. Verschiedene Kantone in der Schweiz kennen diese „80/20-Regel“. Diese Anforderung kann sowohl mit Massnahmen an der Gebäudehülle (Optimierung Wärmeschutz) wie auch im Bereich Gebäudetechnik (Anteil an regenerativer Energie) erfüllt werden. In dieser Fallstudie wurde anhand von unterschiedlichen Objekttypen untersucht, welche Massnahmen aus wirtschaftlichen Überlegungen zu bevorzugen sind.

Aufgrund der vergleichsweise tiefen Strompreise sind Wärmepumpen-Anlagen aus ökonomischen Überlegungen vorteilhaft. Werden nur die Investitionskosten berücksichtigt, sind Luft-Wasser-Wärmepumpen ebenfalls ökonomischer als die Verbesserung des Wärmeschutzes.

Nicht berücksichtigt wurden künftige Energiepreis-Entwicklungen infolge von möglichen Versorgungsengpässen (Peak-Oil) und/oder zusätzlichen Abgaben infolge von Umwelteinflüssen.

Entgegen der Resultate bleibt zu erwähnen, dass Investitionen in den Wärmeschutz praktisch keinem wirtschaftlichen Risiko unterliegen, es sei denn die Energiepreise sinken mittel- bis langfristig.

Der geplante CO<sub>2</sub>-Abgabesatz hat einen marginalen Einfluss auf die Gesamtkosten.

## Ausgangslage / Abgrenzung

Die SIA-Norm 380/1 „Thermische Energie im Hochbau“ gilt in der ganzen Schweiz als verbindliches Dokument für den Wärmeschutz und gilt für alle Bauten, welche beheizt werden.

Nach der Einführung der neuen SIA-Norm 380/1 haben diverse Kantone zusätzliche Anforderungen an Neubauten bezüglich einem Höchstanteil nichterneuerbarer Energien formuliert.

Nachfolgender Auszug aus der KEnV 2003 (Kantonale Energieverordnung) des Kantons Bern gilt als Vollzugshilfe:

**Neubauten und Erweiterungen von bestehenden Bauten müssen so gebaut und ausgerüstet werden, dass höchstens 80% des zulässigen Wärmebedarfes für Heizung und Warmwasser mit nicht erneuerbaren Energien gedeckt werden.**

Die Vorschrift ist als Zielvorgabe formuliert. Die Bauherrschaft hat einen Spielraum bei der Wahl der technisch und wirtschaftlich zweckmässigen Massnahmen zur Zielerreichung: Verbesserte Wärmedämmung und/oder Einsatz von erneuerbaren Energien.

Im Rahmen dieser Fallstudie wird untersucht, welche Massnahmen aus wirtschaftlichen Überlegungen sinnvoller sind. Die Beurteilung mehrerer Objekte von unterschiedlicher Grösse resp. Nutzung soll aufzeigen, ob es diesbezügliche Gesetzmässigkeiten oder Trends gibt.

## Vorgehensweise

Die Untersuchung beinhaltet folgende Objekte resp. Standardnutzungen:

- Einfamilienhaus (EFH)
- Mehrfamilienhaus (MFH)
- Dienstleistungsgebäude (DLG)

Der benötigte Heizwärmebedarf ( $Q_h$ ) wurde jeweils pro Objekttyp mittels Berechnung nach SIA-Norm 380/1 ermittelt. Bei der Basisvariante wurden die Dämmstärken sowie die Qualität des Materials und der Fenster so gewählt, dass der Grenzwert praktisch erreicht wurde ( $Q_h \leq H_g$ ). Im zweiten Rechengang wurde der Wärmeschutz so verbessert, dass der berechnete Heizwärmebedarf 80% vom Grenzwert beträgt ( $Q_h \leq 0.8 \cdot H_g$ ).

Bei den Varianten Wärmeerzeugung mit fossilen Energieträgern ist der Heizwärmebedarf und die Leistung der Wärmeerzeugung also in jedem Fall tiefer als bei den Varianten Wärmeerzeugung mit erneuerbaren Energieträgern.

Da die Fallstudie schwergewichtig die ökonomischen Zusammenhänge beleuchten soll, wurde auf eine Kombination „besserer Wärmeschutz“ und „Gebäudetechnik mit erneuerbaren Energien“ bewusst verzichtet.

## Grundlagen

### Gebäudedaten

Nachfolgende Objektdaten stammen alle aus effektiv ausgeführten Bauvorhaben im Kanton Bern. Teilweise wurden diese allerdings noch nach alter KEnV gebaut (keine Vorgaben bezüglich Höchstanteil an nichterneuerbaren Energien).

## Einfamilienhaus (EFH)

- Energiebezugsfläche (EBF)	[m <sup>2</sup> ]	247
- Gebäudehüllenfläche (A)	[m <sup>2</sup> ]	516
- Verhältnis (A <sub>W</sub> / EBF)	[-]	30%
- Gebäudehüllenzahl (A/EBF)	[-]	2.09
- Grenzwert Heizwärmebedarf (Hg)	[MJ/m <sup>2</sup> *a]	277
- Zielwert Heizwärmebedarf (Hg)	[MJ/m <sup>2</sup> *a]	221
- approx. Leistung Wärmeerzeugung	[kW]	10-15

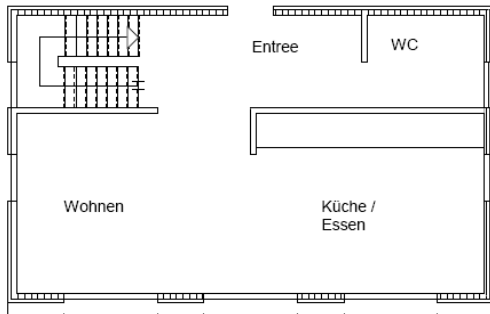


Abb. 1: Grundriss des EFH's mit insgesamt drei Geschossen, wobei die oberen zwei Etagen aktiv beheizt werden.

## Mehrfamilienhaus (MFH)

- Einheiten	[Stk.]	4
- Energiebezugsfläche (EBF)	[m <sup>2</sup> ]	709
- Gebäudehüllenfläche (A)	[m <sup>2</sup> ]	986
- Verhältnis (A <sub>W</sub> / EBF)	[-]	21%
- Gebäudehüllenzahl (A/EBF)	[-]	1.39
- Grenzwert Heizwärmebedarf (Hg)	[MJ/m <sup>2</sup> *a]	204
- Zielwert Heizwärmebedarf (Hg)	[MJ/m <sup>2</sup> *a]	163
- approx. Leistung Wärmeerzeugung	[kW]	25-30

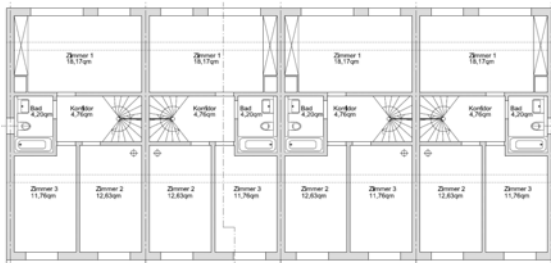


Abb. 2: Grundriss des MFH's mit insgesamt vier Geschossen, wobei die oberen drei Etagen aktiv beheizt werden.

## Dienstleistungsgebäude (DLG)

- Energiebezugsfläche (EBF)	[m <sup>2</sup> ]	3'951
- Gebäudehüllenfläche (A)	[m <sup>2</sup> ]	3'595
- Verhältnis (A <sub>W</sub> / EBF)	[-]	23%
- Gebäudehüllenzahl (A/EBF)	[-]	0.91
- Grenzwert Heizwärmebedarf (Hg)	[MJ/m <sup>2</sup> *a]	156
- Zielwert Heizwärmebedarf (Hg)	[MJ/m <sup>2</sup> *a]	124
- approx. Leistung Wärmeerzeugung	[kW]	115-130

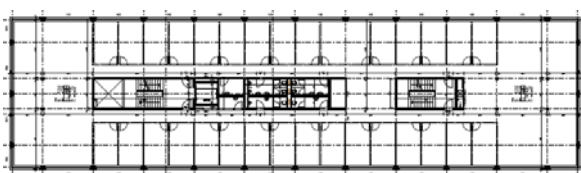


Abb. 3: Grundriss eines Normalgeschosses. Das Dienstleistungsgebäude verfügt über insgesamt vier Geschosse.

## Varianten Energieversorgung

Bei den möglichen Systemvarianten wurde entgegen der Realität davon ausgegangen, dass grundsätzlich jeder Energieträger verfügbar und eine Nutzung möglich ist. Obwohl sich, aus geologischer Sicht, die Varianten Grundwassernutzung oder Nutzung von Erdwärme (Erdsonden) ausschliessen, wurden beim Dienstleistungsgebäude beide als machbar definiert. Die Variante Wärmepumpe (Luft-Wasser) wurde beim Dienstleistungsgebäude aufgrund der Objektgrösse nicht untersucht.

Die Wärmeerzeugung wird in allen Beispielen monovalent mit einem Energieträger aufbereitet:

	EFH	MFH	DLG
Oel	x	x	x
Erdgas	x	x	x
WP (Luft-Wasser)	x	x	
WP (Erdsonden)	x	x	x
WP (Grundwasser)			x
Holz-Pellets	x	x	x

Abb. 4: Matrix der möglichen Wärmeerzeugungs-Varianten je Objekttyp resp. Nutzungseinheit

## Energiepreise

Die einzelnen Berechnungen basieren auf folgenden Energiepreisen:

	Grundgebühr [Fr./a]	Arbeitspreis [Rp./kWh]	
		Basis	Inkl. CO <sub>2</sub> -Abgabe
Heizöl EL (extra leicht)	--	7.94	8.90
Erdgas (leitungsgebunden)	82.80	8.99	9.70
Strom (Niedertarif Winter)	102.00	9.50	9.50
Strom (Hochtarif Winter)		14.00	14.00
Holz-Pellets	--	6.50	6.50

Abb. 5: Tabelle Grundgebühr bzw. Arbeitspreis der einzelnen Energieträger mit und ohne CO<sub>2</sub>-Lenkungsabgabe (Fr. 35 /t CO<sub>2</sub>, „Botschaft zur Genehmigung des CO<sub>2</sub>-Abgabesatzes für Brennstoffe vom 22. Juni 2005)

Der CO<sub>2</sub>-Abgabesatz wird aktuell nur auf fossilen Brennstoffen wie Heizöl und Gas erhoben. Aufgrund des schweizerischen „Strom-Mixes“ werden derzeit keine Abgaben auf Strom diskutiert.

Nicht berücksichtigt wurden die Nutzungsgebühren für Grundwasser, da diese vergleichsweise tief sind.

## Jahresnutzungsgrad / Jahresarbeitszahlen

Für die Umrechnung vom Heizenergiebedarf auf den Endenergiebedarf dienen folgende, durchschnittliche Jahresnutzungsgrade resp. Jahresarbeitszahlen:

- Öl-Heizkessel	[-]	90%
- Gas-Heizkessel (Brennwerttechnik)	[-]	95%
- WP (Luft-Wasser)	[-]	2.8
- WP (Erdsonden)	[-]	3.5
- WP (Grundwasser)	[-]	4.5
- Holz-Pellets-Feuerung	[-]	85%

## Kostenermittlung / Systemgrenzen

Bei den Kostenermittlungen für die Gebäudehülle (Dämmungsmaterial und Fenster) handelt es sich um Kostenschätzungen, welche auf Lieferanten-Offerten basieren. Die spezifischen „Modulkosten“ je Dämmmaterial resp. Fenstereinheit wurden je nach Objekttyp entsprechend interpoliert.

Nicht berücksichtigt wurden evtl. anfallende Mehrkosten für erhöhten Montageaufwand (Dämmung) und Folgekosten für Anschlussdetails (Fensterleibung, Wärmebrücken, etc.)

Bei den Kostenermittlungen für die Gebäudetechnik handelt es sich ebenfalls um Kostenschätzungen. Apparate wurden mit Lieferanten-Offerten je Objekttyp ermittelt, der Aufwand für Transport und Montage wurde geschätzt.

Bei der Kostenermittlung sind nur Kostenstellen für die Wärmeerzeugung inkl. Energiezulieferung und Abgas- resp. Kaminanlagen berücksichtigt. Die Kosten für die Wärmeverteilung sind unabhängig von der Systemwahl.

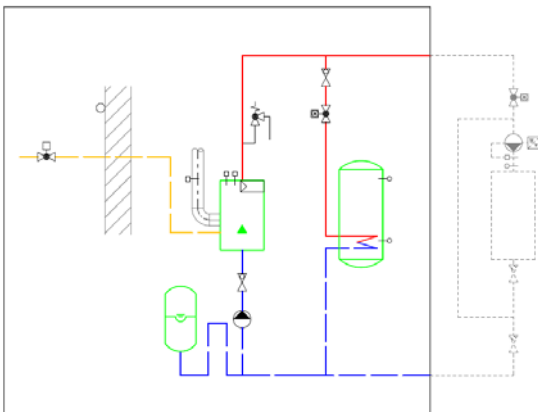


Abb. 6: Abgrenzung Kostenermittlung Gebäudetechnik ohne Wärmeverteilung

## Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde aufgrund der „Nettobarwert-Methode“ durchgeführt (Summe der Barwerte aller Kosten und Erträge über die gesamte Betrachtungsdauer, berechnet mit dem Kalkulationszinssatz). Grundsätzlich sind folgende Kosten berücksichtigt:

- **Zusätzliche Investitionskosten Gebäudehülle**  
(Mehrkosten Gebäudehülle zu Basisvariante)

- **Absolute Investitionskosten Gebäudetechnik**  
(Total Kosten Wärmeerzeugung je Variante)

- **Energie- und Unterhaltskosten**  
(Inkl. CO<sub>2</sub>-Abgabesatz auf fossilen Brennstoffen)

- **Spezielle Kosten für Mehrbedarf an Fläche**  
(Jährliche Zusatzkosten für nicht vermiet- resp. nutzbare Fläche)

### Berechnungs-Grundlagen:

- Zinssatz real	[-]	5%
- Teuerung	[-]	2%
- Betrachtungsdauer	[a]	60

Zudem wurden für alle Varianten der spezifische Wärmepreis (Rp./kWh) und der diskontierte „cash flow“ (effektive Geldflüsse über die gesamte Betrachtungsdauer) ermittelt.

## Resultate

Wie bereits beschrieben, wurden verschiedene Objekttypen mit unterschiedlicher Nutzung untersucht. Die Resultate sind qualitativ bei allen Objekttypen praktisch identisch. Als repräsentatives Fallbeispiel werden im weiteren Verlauf die Resultate des Mehrfamilienhauses (MFH) abgebildet und beurteilt.

## Spezifische Wärmegestehungskosten MFH

Aufgrund der vergleichsweise tiefen Strompreise sind die Varianten mit einer Wärmepumpe wirtschaftlich am interessantesten. Sämtliche Varianten mit fossilen Energieträgern sind aufgrund des zusätzlichen Kapitalaufwandes für besseren Wärmeschutz und hohen Energiekosten ökonomisch benachteiligt. Die hohen Investitionskosten für die Holz-Pellets-Heizung sowie der Mehrbedarf an Fläche können nicht durch tiefere Energiekosten kompensiert werden.

- Öl	[Rp./kWh]	31.9
- Erdgas	[Rp./kWh]	27.0
- WP (Luft-Wasser)	[Rp./kWh]	17.8
- WP (Erdsonden)	[Rp./kWh]	18.5
- Holz-Pellets	[Rp./kWh]	28.8

Der berechnete, spezifische Wärmepreis beinhaltet alle Kostenfaktoren (Mehrkosten Gebäudehülle, Gebäudetechnik, Teuerung, CO<sub>2</sub>-Abgabesatz, Jahreswärmebedarf, etc.)

## Kumulierte Nettobarwerte MFH

Die „wiederkehrenden Betriebskosten“ gewichten die Wirtschaftlichkeit in einem hohen Mass. Bedeutend sind ebenfalls die Kosten für zusätzliche Technikflächen. Der geplante CO<sub>2</sub>-Abgabesatz auf fossilen Energieträgern ist im Verhältnis zu allen Kostenfaktoren nur marginal.

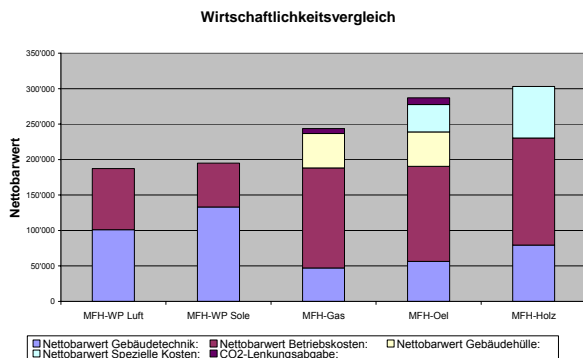


Abb. 7: Kumulierte Nettobarwerte aller durchgeführten Berechnungsvarianten (Kapitalaufwand in [Fr.] zum „Zeitpunkt Null“ zur Deckung aller anfallenden Kosten während der Betrachtungsdauer von 60 Jahren)

## „discounted cash flow“ MFH

Untenstehende Grafik verdeutlicht, dass die Varianten mit vergleichsweise tiefen Betriebskosten (flache Kurven) ökonomisch interessant sind. Die hohen Investitionskosten für die Erdwärmesonden werden bereits nach 5 resp. 8 Jahren amortisiert. Die kürzere Nutzungsdauer von Wärmepumpenanlagen (Verdichter) hat keinen markanten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit.

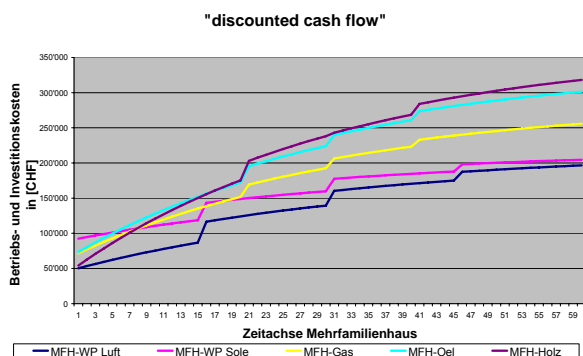


Abb. 8: Kurven zeigen die effektiven Geldflüsse (teuerungs- und zinsbereinigt) über die gesamte Betrachtungsdauer.

## Erkenntnisse

Die Berechnungen resp. die Resultate zeigen deutlich auf, dass aus wirtschaftlichen Überlegungen vor allem Varianten mit tiefen Betriebskosten vorteilhaft sind. Zusätzliche Investitionskosten (Gebäudehülle und Gebäudetechnik) werden durch tiefere Energiekosten relativ rasch amortisiert. Die Zusatzanforderungen im Kanton Bern (KEnV 2003) sind also mit dem Einsatz von erneuerbaren Energien im Bereich der

Wärmeerzeugung wirtschaftlicher als eine Verbesserung des Wärmeschutzes.

Leider sind die Erkenntnisse einmal mehr dem Investor- / Nutzerdilemma unterlegen. Zusätzliche Investitionskosten sind für den Investor nicht interessant, da die Betriebskosten direkt vom Nutzer bezahlt werden.

Werden nur die Investitionskosten verglichen, ergeben sich ebenfalls eindeutige Trends (bei allen Objekttypen):

### Übersicht Investitionskosten MFH:

- Mehrkosten Wärmeschutz [Fr.] 33'000.00

(Mehrkosten für Gebäudehülle,  $Q_h = 0.8 \cdot H_g$ )

- Mehrkosten WP (Luft-Wasser) [Fr.] 15'000.00

- Mehrkosten Holz-Pellets [Fr.] 14'500.00

- Mehrkosten WP (Erdsonden) [Fr.] 58'000.00

(Mehrkosten im Vergleich zu Basisvariante Erdgas)

Folgende Faktoren sind in den Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen nicht berücksichtigt und könnten je nach Entwicklung trotzdem für einen verbesserten Wärmeschutz sprechen:

- **Energiepreisentwicklung** über 60 Jahre sehr ungewiss (Risiko für Bauten mit hohem Energiebedarf)

- **Technologie-Fortschritt Gebäudetechnik** (Nutzungsdauer Gebäudetechnik bedeutend tiefer als Nutzungsdauer Gebäudehülle)

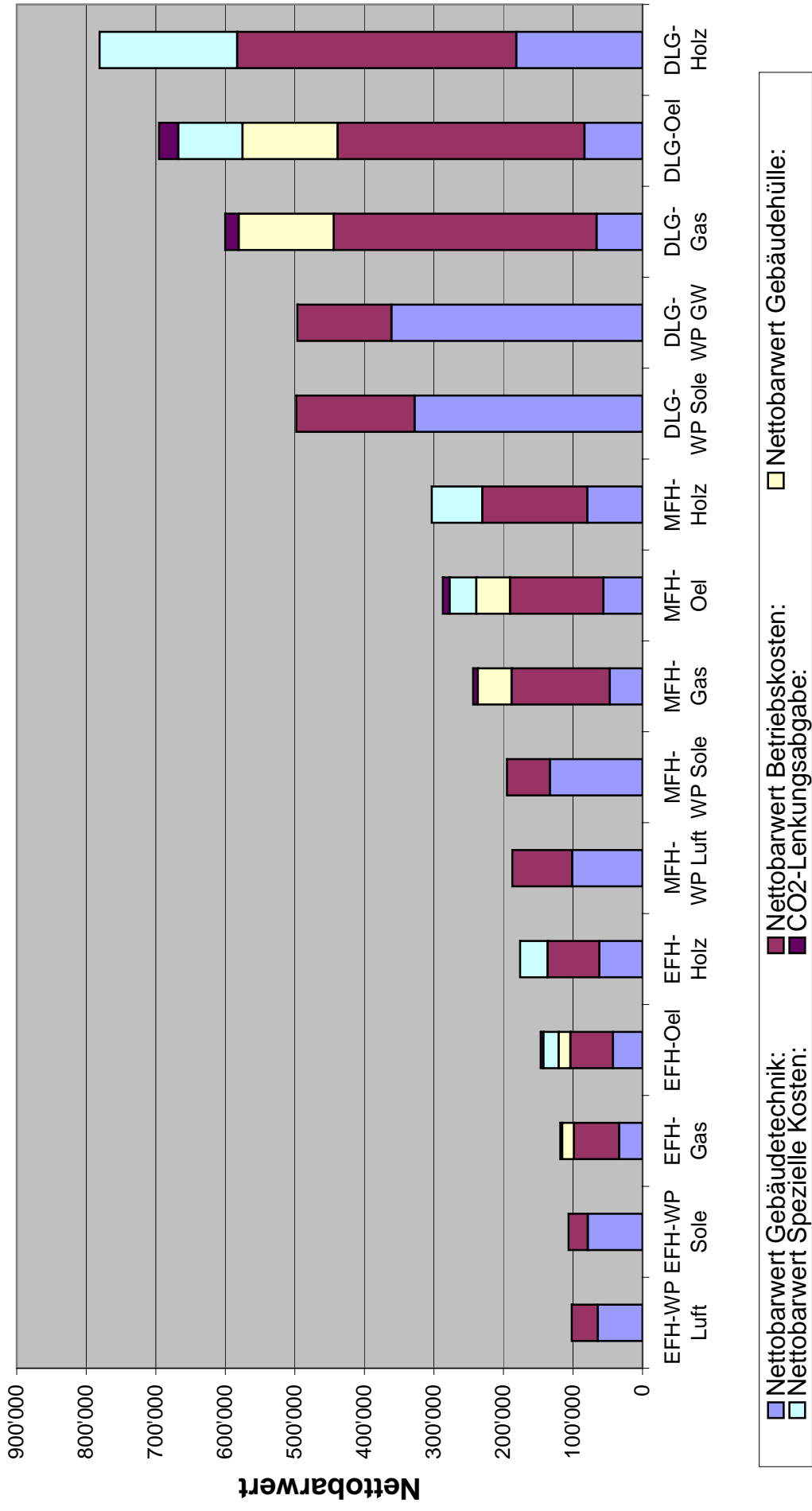
Ebenfalls nicht berücksichtigt ist der **höhere Komfort** resp. die **bessere Behaglichkeit** bei verbessertem Wärmeschutz (höhere Oberflächentemperaturen, Kaltluftabfall, etc.)

Signifikant ist auch der marginale Einfluss des geplanten CO<sub>2</sub>-Abgabesatzes.

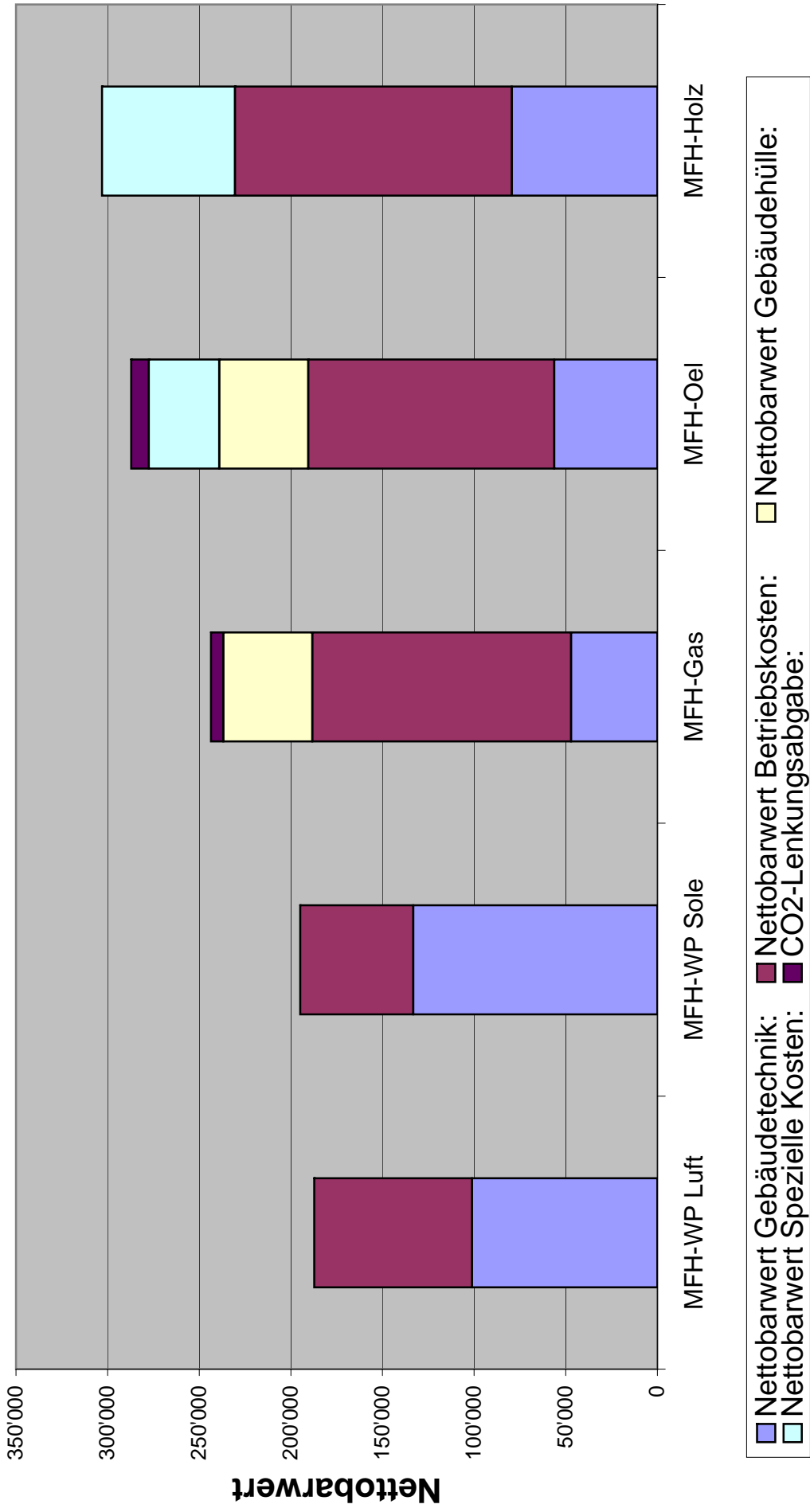
## Berechnungsgrundlagen / Quellen:

- SIA-Norm 380/1 „Thermische Energie im Hochbau“
- SIA-Norm 480 „Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau“
- U-Wert- und SIA 380/1-Berechnungen: „ENTECH 380/1, Version 3.14, (Huber Energietechnik, 8032 Zürich)
- Kantonale Energieverordnung des Kantons Bern (KEnV 2003) (download: [www.bfe.be.ch](http://www.bfe.be.ch))
- Energie Wasser Bern, aktuelle Preise Erdgas (download: [www.ewb.ch](http://www.ewb.ch))
- MIGROL, Preise Heizöl EL, Ø 2006 (download: [www.migrol.ch](http://www.migrol.ch))
- BKW FMB Energie AG, Stromtarife Econom 1 (download: [www.bkw.ch](http://www.bkw.ch))
- Aktuelle Preise Holz-Pellets, stand Nov. 2006 (download: [www.holz-pellet.com](http://www.holz-pellet.com))
- CO<sub>2</sub>-Lenkungsabgabe, Botschaft zur Genehmigung des CO<sub>2</sub>-Abgabesatzes für Brennstoffe, stand 22. Juni 2005 (download: [www.admin.ch](http://www.admin.ch))

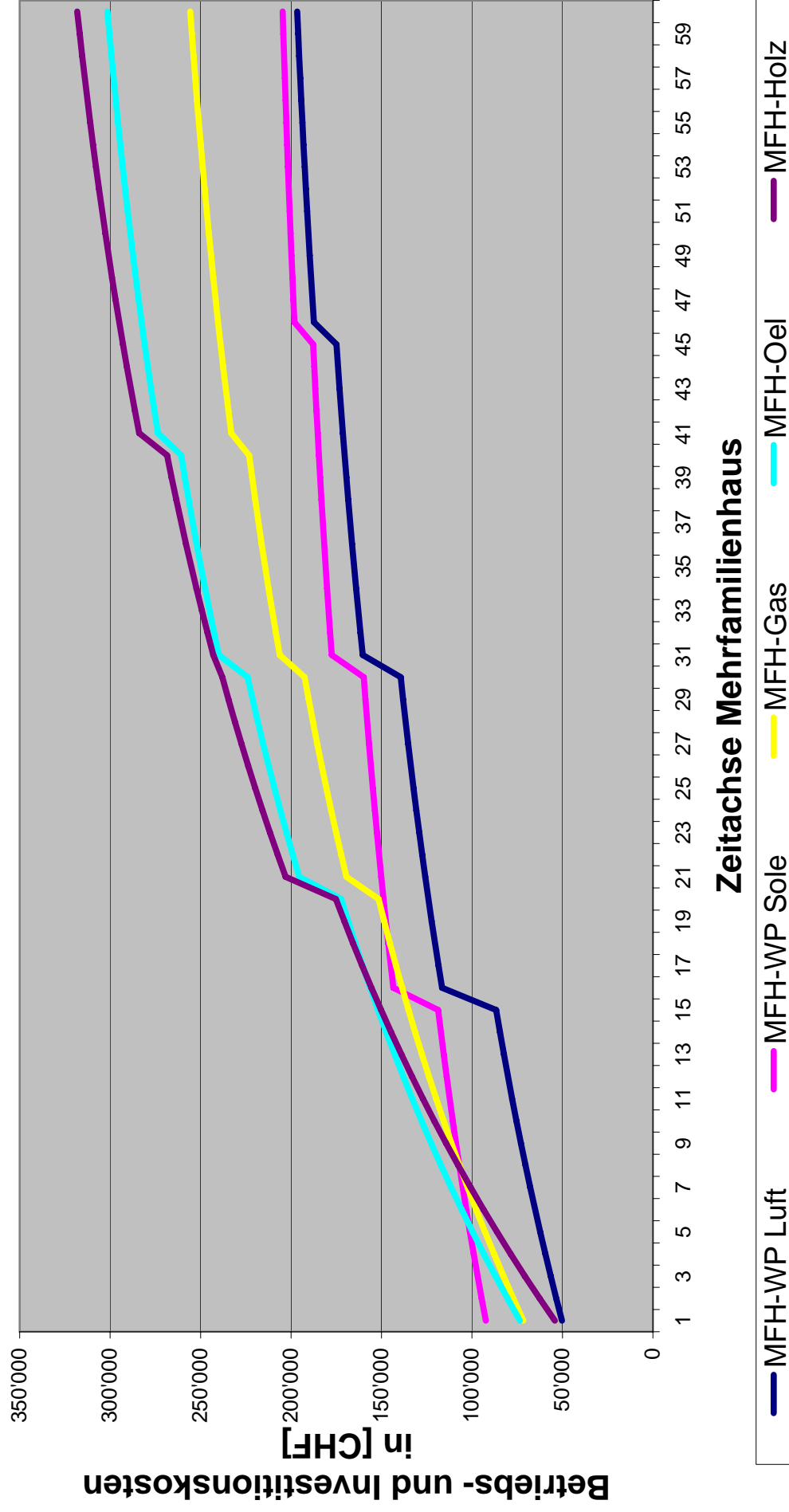
# Wirtschaftlichkeitsvergleich



# Wirtschaftlichkeitsvergleich



# "discounted cash flow"



# Wärmepreis MFH

