

# Lebenszyklusorientierte Raumkonditionierung

**Jörg Lammers**

TU-Berlin FG Gebäudetechnik und Entwerfen

Email: [joerg.lammers@tu-berlin.de](mailto:joerg.lammers@tu-berlin.de)

Die Studie erforscht das Potential einer auf dem Nutzerverhalten basierenden Optimierung des kumulierten Primärenergieverbrauchs von Wohngebäuden. Als Berechnungsmodell wird die Konditionierung des Innenraums und dessen Auswirkung auf den gesamten Lebenszyklus zugrunde gelegt. Mit Hilfe der Stofffluss- und Lebenszyklusanalyse werden die durch die Nutzung induzierten Energie- und Materieflüsse eines Raummodells simuliert und quantifiziert.

Die Relevanz der privaten Haushalte für den gesamtwirtschaftlichen Ressourcenverbrauch steht außer Frage. Im Jahr 2003 entfallen in Deutschland ca. 30% des Endenergiebedarfs bzw. des direkten Primärenergieverbrauchs auf diesen Bereich und somit auf das Bedürfnisfeld Wohnen [BMW 2005]. Eine Minimierung und Effektivierung der durch Wohngebäude induzierten Energie- und Stoffflüsse ist ein wesentlicher Faktor hinsichtlich einer nachhaltigen Entwicklung des sozioökonomischen Systems.

Mithilfe der Stofffluss- oder Lebenszyklusanalyse kann ein besseres Verständnis der Stoffwechselprozesse der privaten Haushalte als Subsystem der Anthroposphäre [BACCINI 1996] gewonnen werden, so dass eine effektivere Steuerung der Stoffflüsse - im Sinne der an biologische Prozesse angepassten Kreislaufwirtschaft [BECKENBACH 1994] - möglich wird.

Die Lebenszyklusanalyse von Gebäuden spielt im Vergleich zu anderen Bilanzierungsinstrumenten bisher eine untergeordnete Rolle. Im Zuge besserer Verbrauchsstandards für den Gebäudeneubau und der Fragestellung, ob bestehende Gebäude energetisch sinnvoll saniert werden können, bekommt die Betrachtung der Stoffflüsse des gesamten Gebäudelebenszyklus eine größere Relevanz.

Die Beurteilung der umweltrelevanten Stoffflüsse, die durch bauliche Strukturen und deren Bewohner verursacht werden, kann allerdings nicht ausschließlich auf Objektebene durchgeführt werden. In bestehenden Analysetools wird die Rolle des Nutzers überhaupt nicht oder lediglich vereinfacht berücksichtigt. Innerhalb der Berechnungsmodelle fehlen Methoden zur Repräsentation des Nutzers und der Konsequenz seines Verhaltens. Denn selbst bei Niedrigstenergie- und Passivhäusern bleibt die Nutzungsphase trotz der geringen Verbrauchswerte die stoffstromintensivste Phase des gesamten Lebenszyklus.

Die Untersuchung verschiedener Nutzerszenarien soll anhand eines Raummodells durchgeführt werden. Die spezifischen Eigenschaften und Systemgrenzen des Raummodells definieren sich zum einen aus dem Zusammenspiel verschiedener, den Raum konstituierender Aspekte [STURM 2000], zum anderen aus den Energie- und Materieflüssen, die direkt und indirekt von der Konditionierung des Raumes und dem damit verbundenen Nutzerverhalten beeinflusst oder induziert werden. Durch eine Sensitivitätsanalyse sollen das Raummodell und ein daraus abgeleitetes Berechnungsmodell weiter spezifiziert und die für den gesamten Lebenszyklus relevanten Stoffflüsse klassifiziert werden. Die Berechnungen werden anhand realer Projekte sowie bereits durchgeführter Untersuchungen stichprobenartig überprüft und hinsichtlich möglicher Unsicherheiten und Sensitivitäten bewertet.

Ziel ist es, dass die Ergebnisse der Studie dem Planer als Entscheidungshilfe zur Optimierung des kumulierten Primärenergieverbrauchs von Wohngebäuden dienen können.

## Literatur

[BACCINI 1996] Baccini, Peter und Hans-Peter Bader: Regionaler Stoffhaushalt, Heidelberg 1996

[BECKENBACH 1994] Beckenbach, Frank und Hans Diefenbacher (Hg): Zwischen Entropie und Selbstorganisation, Perspektiven einer ökologischen Ökonomie, Marburg 1994

[BMWI 2005] Energiedaten, Nationale und Internationale Entwicklung, Erstellt vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Berlin 2005

[STURM 2000] Sturm, Gabriele: Wege zum Raum, Methodologische Annäherung an ein Basiskonzept raumbezogener Wissenschaften, Opladen 2000

Keywords: Gebäudelebenszyklusanalyse, Nutzerverhalten, Raumkonditionierung

# Ökobilanz-Werkstatt 2006 Doktorandenkolleg

Dipl. Ing. Architekt Jörg Lammers

wissenschaftlicher Mitarbeiter an der TU-Berlin  
FG Gebäudetechnik und Entwurf, Prof. C. Steffan

tätig in Lehre und Forschung mit folgenden Arbeitsschwerpunkten:

Stoffstrom- und Lebenszyklusanalyse  
energetische Optimierung  
Entwurfsmethodik

Kontakt: joerg.lammers@tu-berlin.de

# Ökobilanz-Werkstatt 2006 Doktorandenkolleg

Thema:

lebenszyklusorientierte Raumkonditionierung

zentrale Thesen:

Das individuelle Nutzerverhalten ist ein wesentlicher Faktor für den Energieverbrauch der privaten Haushalte. Der Planer oder Architekt kann durch die Konstitution des Raumes dieses Verhalten beeinflussen.

Die Studie erforscht das Potential einer auf dem Nutzerverhalten basierenden Optimierung des kumulierten Primärenergieverbrauchs von Wohngebäuden.

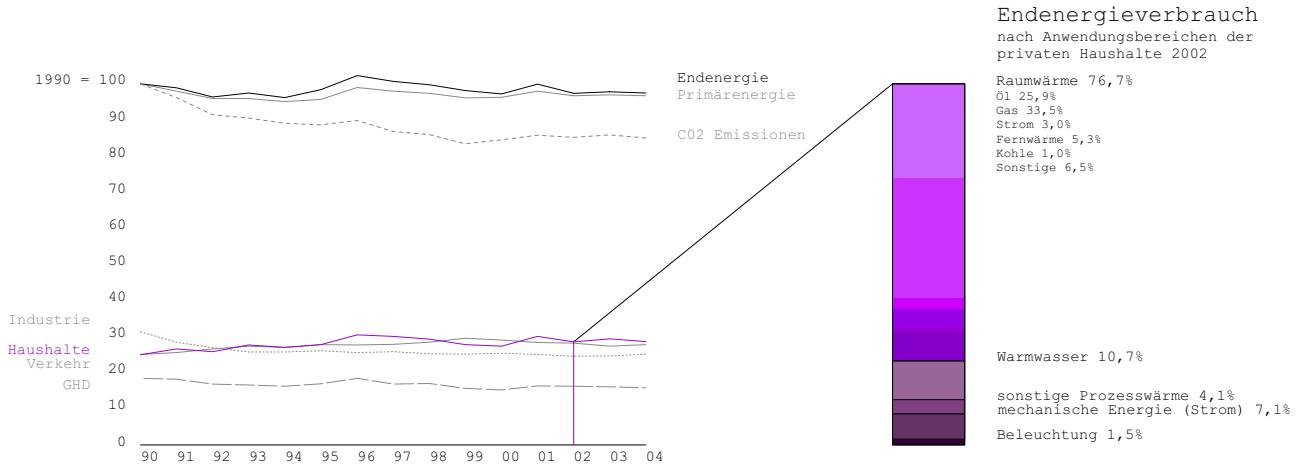
## Inhalt

1. Problem
2. Energieverbrauch der privaten Haushalte in Deutschland
3. Nutzerabhängiges Einsparpotential
4. konstituierter und konditionierter Raum
5. Raummodell
6. Zusammenfassung

## Nutzungsphase der Gebäude-LCA

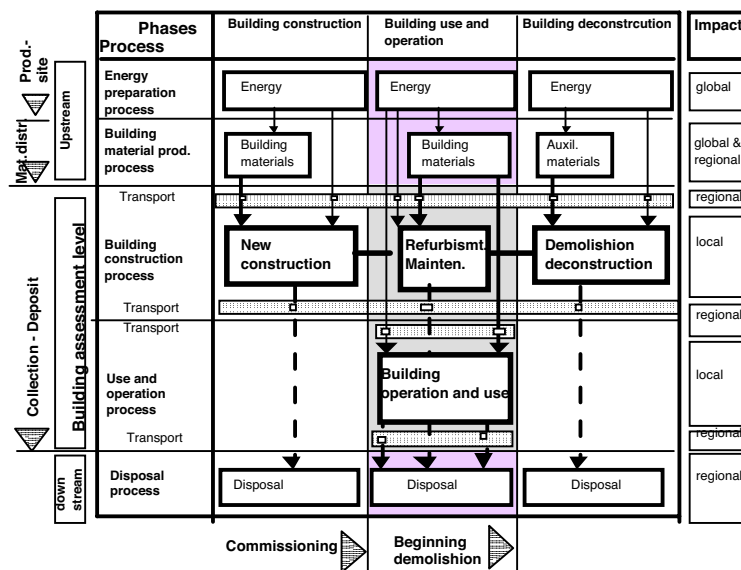
- die Rolle des Nutzers wird in bestehenden Gebäude-Analysertools nur unzureichend berücksichtigt
  - die entstehenden Unsicherheiten der Prognose werden in der Regel nicht abgebildet
  - die Nutzungsphase ist im Lebenszyklus von Gebäuden aufgrund der langen Dauer die stoffstromintensivste Phase und verursacht damit die größte Umwelteinwirkung
    - das Gesamtergebnis einer Gebäude-LCA kann dadurch verfälscht werden

### 1. Problem



## 2.1 Endenergieverbrauch der privaten Haushalte in Deutschland 2002

auf Basis von: Energiedaten, Nationale und Internationale Entwicklung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin 2005 und '06

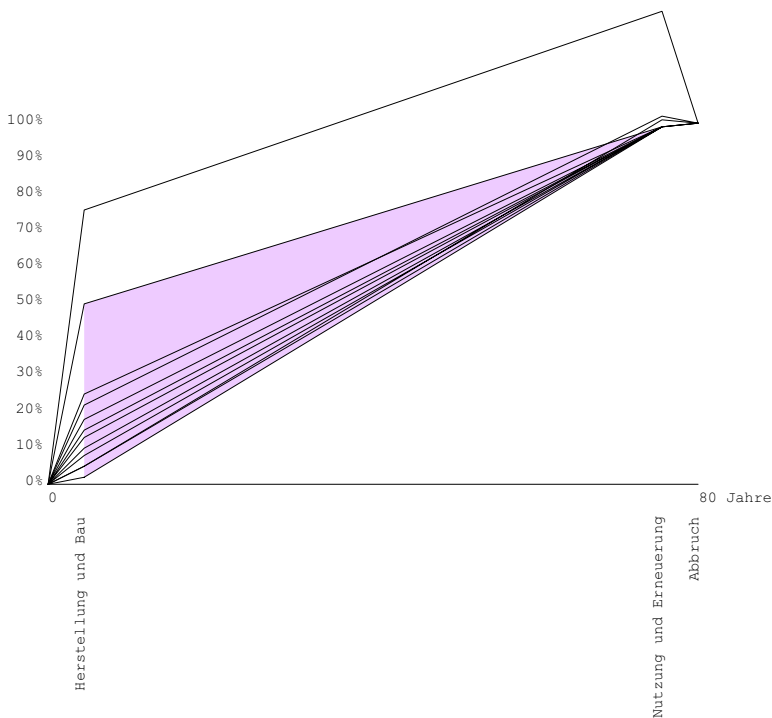


## 2.2 Analyse der Energie- und Materieflüsse, Lebenszyklusanalyse (LCA)

Regener Project (EU): Application of the Life Cycle Analysis to Buildings, 1997

**kumulierter Energieverbrauch**  
 anteilig nach Lebenszyklusphasen  
 Herstellung und Bau/Nutzung/Erneuerung/Abbruch

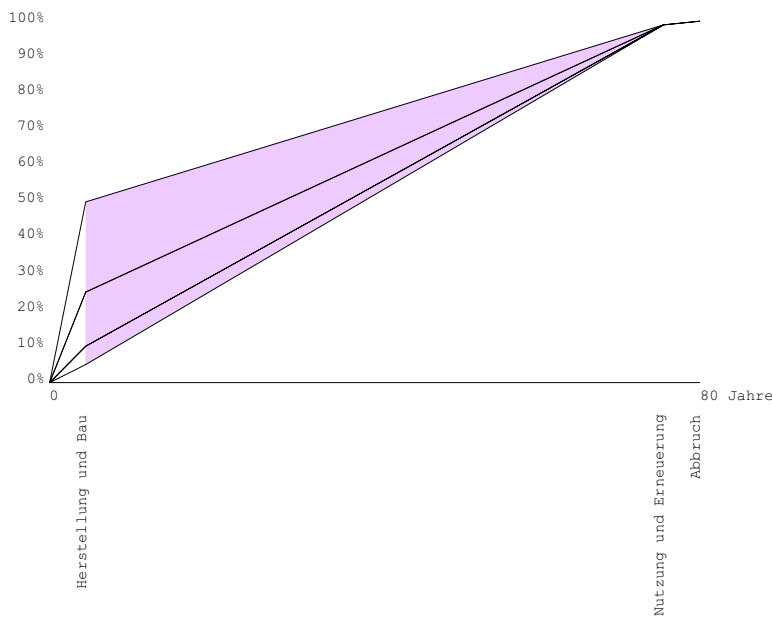
- Danish Building Research Institute SBI  
 76%/55%/in Nutzung enthalten/-31%  
 22%/80%/in Nutzung enthalten/-2%  
 5%/96%/in Nutzung enthalten/-1%
- Studenten der TUB: LEGEP 2004  
 5-50%/49-94%/in Nutzung enthalten/1%
- ifib Karlsruhe: ECOPRO 1994  
 15-25%/60-75%/10-20%/1%
- Presco Report: OGIP, EQUER, Eco Quantum 2005  
 10-18%/80-90%/1%/1%
- Hebel Haus, 1995  
 13%/86%/0,2%/0,6%
- Referenzhaus Regener, 1997  
 2-8%/90-98%/0-2%/0-1%



**2.3 LCA, kumulierter Energiebedarf von Wohngebäuden, Anteile der Lebenszyklusphasen**  
 verschiedene Quellen

**kumulierter Energieverbrauch**  
 anteilig nach Lebenszyklusphasen  
 Herstellung und Bau/Nutzung/Erneuerung/Abbruch

- NEH und Passivhausstandard  
 20-50%/45-75%/5%/1%
- WSchV'95 und EnEV'02  
 10-20%/80-90%/2%/1%
- Bestand  
 5-10%/90-95%/1%/1%



**2.4 LCA, kumulierter Energiebedarf von Wohngebäuden, Anteile der Lebenszyklusphasen**

„Der Einfluß der Nutzer auf den jeweils individuellen Verbrauch einer Wohnung ist groß; Schwankungen von  $\pm 60\%$  um den Mittelwert sind möglich. Die Mittelwerte des Verbrauchs über eine ausreichend große Zahl von Nutzern ( $\geq 30$ ) baugleicher Häuser treffen dennoch die durch die baugleichen und haustechnischen Details bestimmten Projektierungswerte sehr gut“

Passivhaus Institut Protokollband Nr. 9: Nutzerverhalten, Darmstadt 1997

„Das Nutzerverhalten kristallisiert sich zunehmend als eine wesentliche Einflußgröße auf den Energieverbrauch bei der Gebäudekonditionierung heraus. Der Nutzer definiert die Ansprüche an die Raumluft (z.B. Temperatur und Luftwechsel), greift in die Anlagentechnik ein (z.B. Absenkbetrieb) und bestimmt den Warmwasserbedarf (z.B. Wassermenge und Zapfprofil.“

W. Richter u.a.: Einfluß des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern, TU Dresden 2003

... „Mehr als 60% des projektierten Heizenergieverbrauchs von  $125\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$  (nach WSchV95) konnten durch die gezielte Beteiligung und Mitbestimmung der Mieter beim Planungsprozess und der Gebäudeverwaltung eingespart werden.“

T. Hartmann: Sanierungs- und Partizipationsprojekt Metzstr. in München, Urbanes Wohnen München e.V., Vortrag vom 30.11.2005 an der TU-Berlin

### 3.1 Nutzerverhalten, Einfluß auf den Energieverbrauch von Wohngebäuden verschiedene Quellen

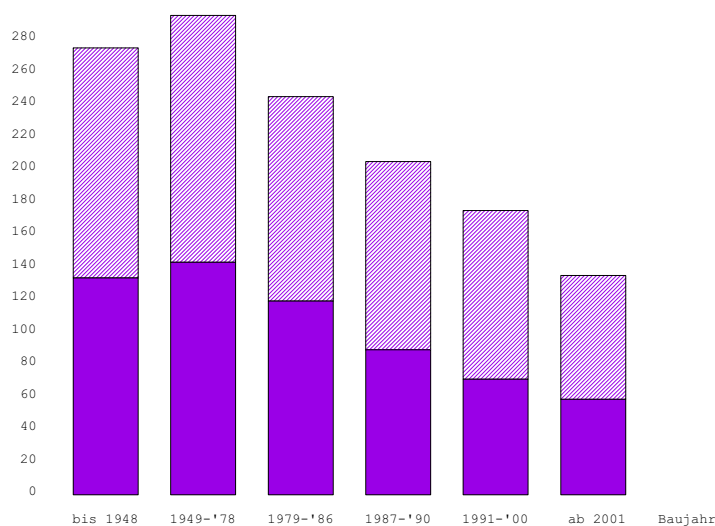
	ist Zustand	möglicher soll Zustand	Einsparpotential	
Raumwärme	Durchschnitt $20,2^\circ$			
Raumtemperatur	Mieter $20,6^\circ$ Eigentümer $19,7^\circ$	MFH $\sim 18,0^\circ$ (25% der Fläche unbeheizt) EFH $\sim 18,0^\circ$ (20% der Fläche unbeheizt)	18-28%	Heizenergieverbrauch
Luftwechsel	$0,7 - 1,0 \text{ h}^{-1}$	$0,5 - 0,6 \text{ h}^{-1}$ ( $0,3 - 0,4 \text{ h}^{-1}$ hygienisch notwendig)	25-35%	Heizenergieverbrauch
Anlagensteuerung	65% aller Haushalte nutzt eine Nachtabsenkung Optimierung der Anlagensteuerung	100% Nachtabsenkung	5-6% 4-6%	Heizenergieverbrauch Heizenergieverbrauch
Warmwasser	Durchschnitt 53 l/d Person ( $60^\circ$ )	20-25 l/d Person ( $60^\circ$ ) (25 l/d Person Empfehlung PHI)	50-60%	Warmwasserverbrauch
Strom	Durchschnitt $30,3 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ Wohnfläche	$20,0 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ Wohnfläche ( $18,0 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$ Empfehlung PHI)	35%	Stromverbrauch

überschlägliche Berechnungen des Einsparpotentials auf der Basis von:

- H. Schaefer (wissenschaftl. Redaktion) u.a.: Einfluß des Verbraucherverhaltens auf den Energiebedarf privater Haushalte, 1982
- M. Casties: Untersuchung zum Zusammenhang zwischen Nutzerverhalten und Heizenergieverbrauch/-bedarf von Wohngebäuden, Berlin 1997
- W. Richter u.a.: Einfluß des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Niedrigenergie- und Passivhäusern, TU Dresden 2003
- Energieverbrauch der privaten Haushalte und des Sektors Gewerbe, Handel Dienstleistung (GHD), Abschlußbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Karlsruhe, Berlin, Nürnberg, Leipzig, München, 2004
- Energiedaten, Nationale und Internationale Entwicklung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin 2006

### 3.2 Einsparpotential der privaten Haushalte in Deutschland verschiedene Quellen

**Endenergieverbrauch**  
Ein- und Zweifamilienhäuser nach Baujahr  
pro m<sup>2</sup> genutzter Wohnfläche in kWh/m<sup>2</sup>a  
Datenbasis 2002



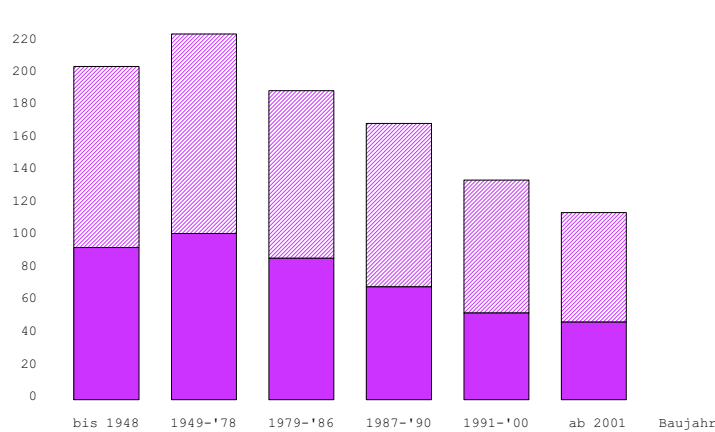
**Einsparpotential**  
Ein- und Zweifamilienhäuser nach Baujahr

Baujahr	Ein- und Zweifamilienhäuser	Ein- und Zweifamilienhäuser	Ein- und Zweifamilienhäuser	Ein- und Zweifamilienhäuser	Ein- und Zweifamilienhäuser	Ein- und Zweifamilienhäuser	Total
bis 1948	14,3%	19,8%	7,5%	6,0%	3,8%	51,5%	51,5%
1949-'78	14,5%	20,2%	7,7%	5,6%	3,6%	51,5%	51,5%
1979-'86	13,8%	19,3%	7,3%	6,7%	4,3%	51,3%	51,3%
1987-'90	14,5%	21,7%	7,2%	8,0%	5,1%	56,5%	56,5%
1991-'00	13,5%	23,7%	6,8%	9,4%	6,0%	59,3%	59,3%
ab 2001	12,8%	17,5%	6,4%	12,1%	7,7%	56,5%	56,5%

Raumwärme  
Absenkung Raumtemperatur 2,0 K  
Reduzierung Luftwechsel 0,2 - 0,4 h<sup>-1</sup>  
Optimierung Anlagensteuerung  
Warmwasser  
Strom

### 3.3 Einsparpotential der privaten Haushalte in Deutschland, EFH+ZFH

**Endenergieverbrauch**  
Mehrfamilienhäuser nach Baujahr  
pro m<sup>2</sup> genutzter Wohnfläche in kWh/m<sup>2</sup>a  
Datenbasis 2002



**Einsparpotential**  
Mehrfamilienhäuser nach Baujahr

Baujahr	Mehrfamilienhäuser	Mehrfamilienhäuser	Mehrfamilienhäuser	Mehrfamilienhäuser	Mehrfamilienhäuser	Mehrfamilienhäuser	Total
bis 1948	16,3%	18,1%	6,9%	8,0%	5,1%	54,4%	54,4%
1949-'78	16,8%	18,7%	7,1%	7,3%	4,7%	54,6%	54,6%
1979-'86	15,8%	17,6%	6,7%	8,6%	5,5%	54,2%	54,2%
1987-'90	16,7%	20,0%	6,7%	9,6%	6,2%	59,2%	59,2%
1991-'00	14,6%	20,4%	5,8%	12,1%	7,7%	60,6%	60,6%
ab 2001	14,3%	15,3%	5,6%	14,1%	9,1%	58,5%	58,5%

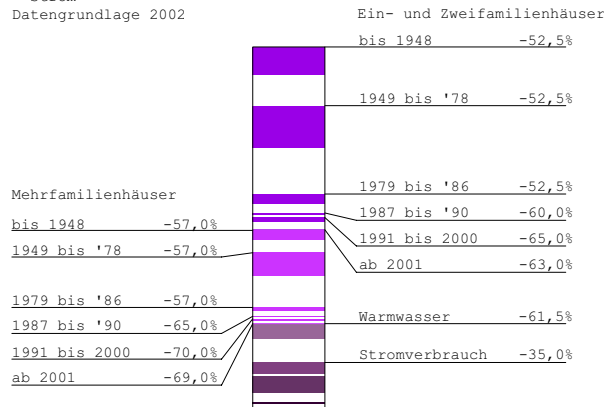
Raumwärme  
Absenkung Raumtemperatur 2,5 K  
Reduzierung Luftwechsel 0,2 - 0,4 h<sup>-1</sup>  
Optimierung Anlagensteuerung  
Warmwasser  
Strom

### 3.4 Einsparpotential der privaten Haushalte in Deutschland, MFH

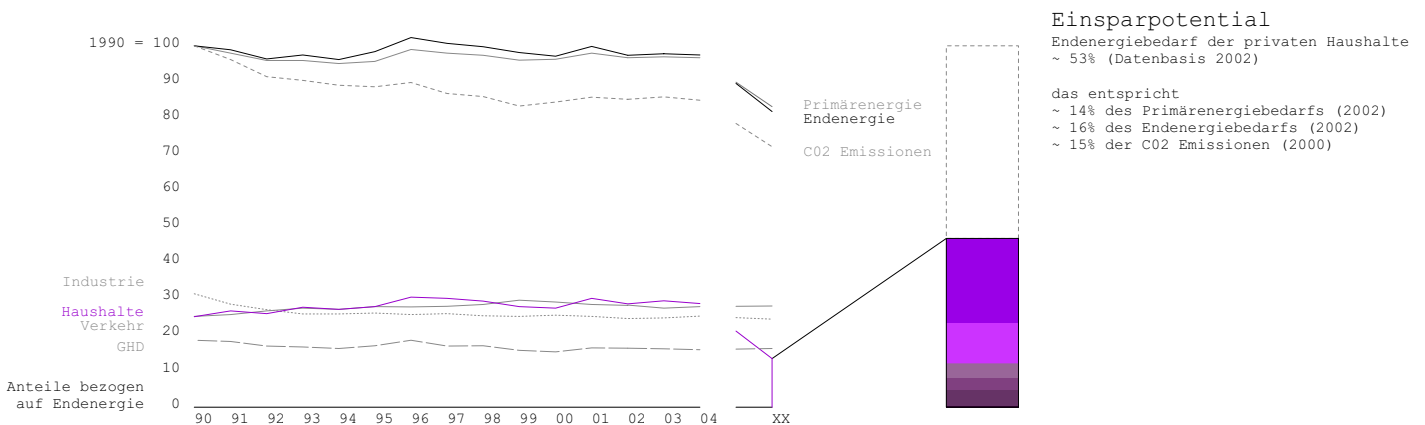


### Einsparpotential

Endenergiebedarf der privaten Haushalte  
 - Raumwärme nach Baujahr  
 - Warmwasser  
 - Strom  
 Datengrundlage 2002



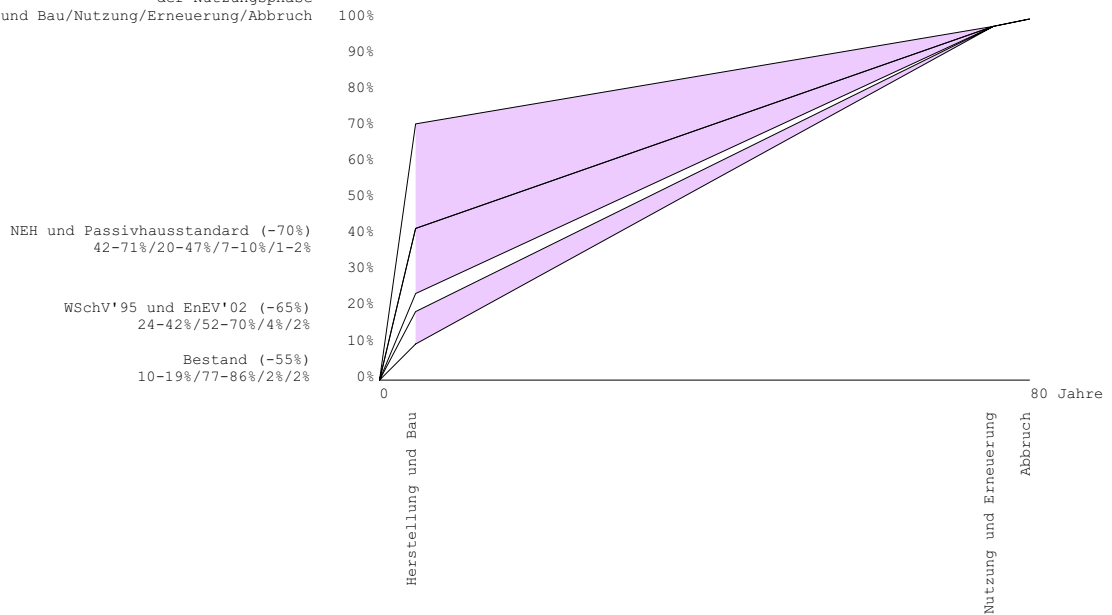
## 3.5 Einsparpotential der privaten Haushalte in Deutschland, Endenergieverbrauch 2002



## 3.6 Einsparpotential der privaten Haushalte in Deutschland

auf der Basis von: Energiedaten, Nationale und Internationale Entwicklung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin 2005 und '06

**kumulierter Energieverbrauch**  
 anteilig nach Lebenszyklusphasen  
 unter Berücksichtigung des Einsparpotentials  
 der Nutzungsphase  
 Herstellung und Bau/Nutzung/Erneuerung/Abbruch



### 3.6 Einsparpotential, bezogen auf den gesamten Lebenszyklus (80 Jahre)

Systemkomponenten

Methode  
 Modellvorstellung

Anthroposphäre  
 Volkswirtschaft

Rahmenbedingungen  
 ökonomisch, ökologisch, gesellschaftlich,  
 politisch, ...

Energiebedarfs- und  
 -verbrauchsforschung

Ressourcen

Werte | Verfügbarkeit | Werte  
 Energie

Analyse- und Prognosemodelle  
 technische Ansätze  
 (computer)simulations Modelle  
 empirische Daten

Akteure

Planer | investiert/beauftragt | Nutzer  
 informiert | Mieter  
 | Besitzer

Raummodell

verhaltensorientierte Ansätze  
 ökonomische Modelle  
 sozioökonomische und  
 demographische Modelle  
 situationsorientierte Modelle  
 psychologische Modelle

Gebäude  
 Raum

Neubau | Wohnraum | Wärme  
 Sanierung | | WW  
 Technik | | Licht

statistische Modelle

Stoffflussanalyse

Systemmodelle  
 stationär  
 dynamisch

Biosphäre

verursacht  
 Emissionen

Lebenszyklusanalyse

Zeit

### 3.7 Nutzerverhalten, schematische Darstellung der Zusammenhänge



Abbildung 27: Ausgangsformation für ein methodologisches Raummodell mit Zeit-Spirale als Entwicklungsdimension. Quelle: Eigene Darstellung.

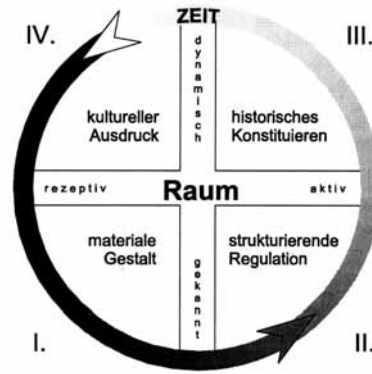


Abbildung 31: Vorläufige Ergebnisformation eines methodologischen Quadrantenmodells für Raum mit Zeitspirale als Entwicklungsdimension sowie einer Orientierungsleiste für die operationalisierbaren Wechselwirkungen zwischen den Feldern. Quelle: Eigene Darstellung.

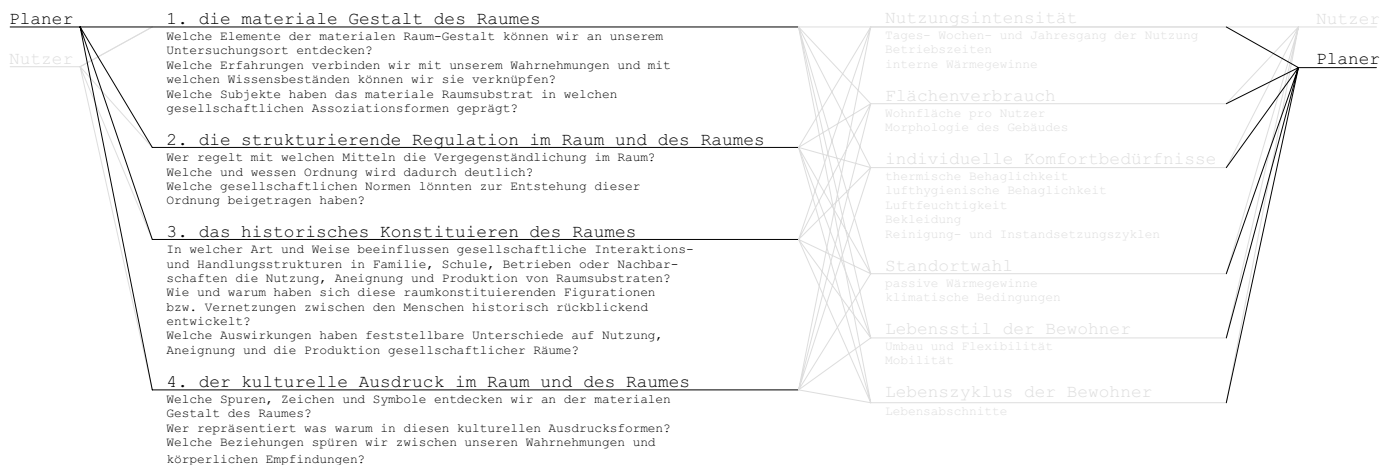
### 4.1 konstituierter Raum

G. Sturm: Wege zum Raum, Opladen 2000

G. Sturm:  
ein methodologisches Quadrantenmodell für Raum

4 Facetten einer komplexen - natur- wie gesellschafts-  
wissenschaftlich relevanten - Raumvorstellung

konditionierter Raum  
Nutzung und Betrieb



### 4.2 Analyse des konstituierten Raumes

auf Basis von: G. Sturm: Wege zum Raum, Opladen 2000

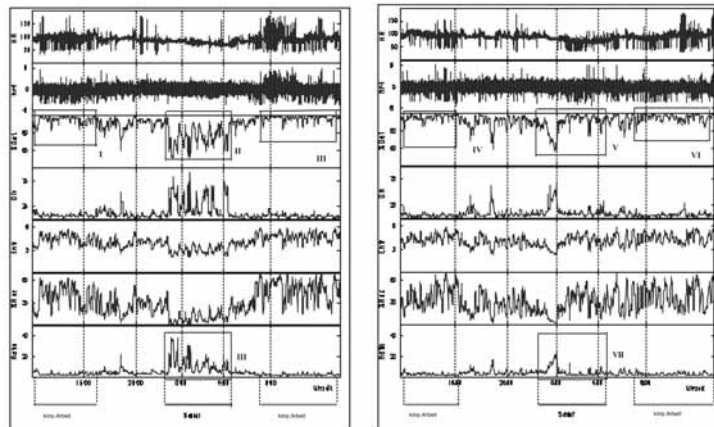
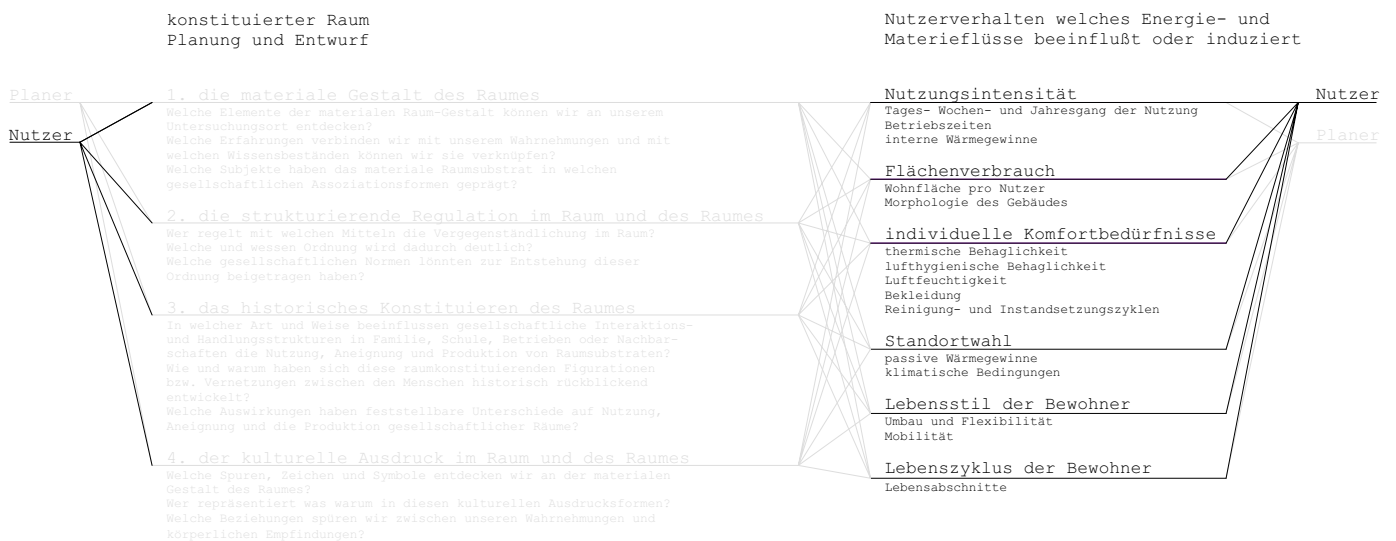


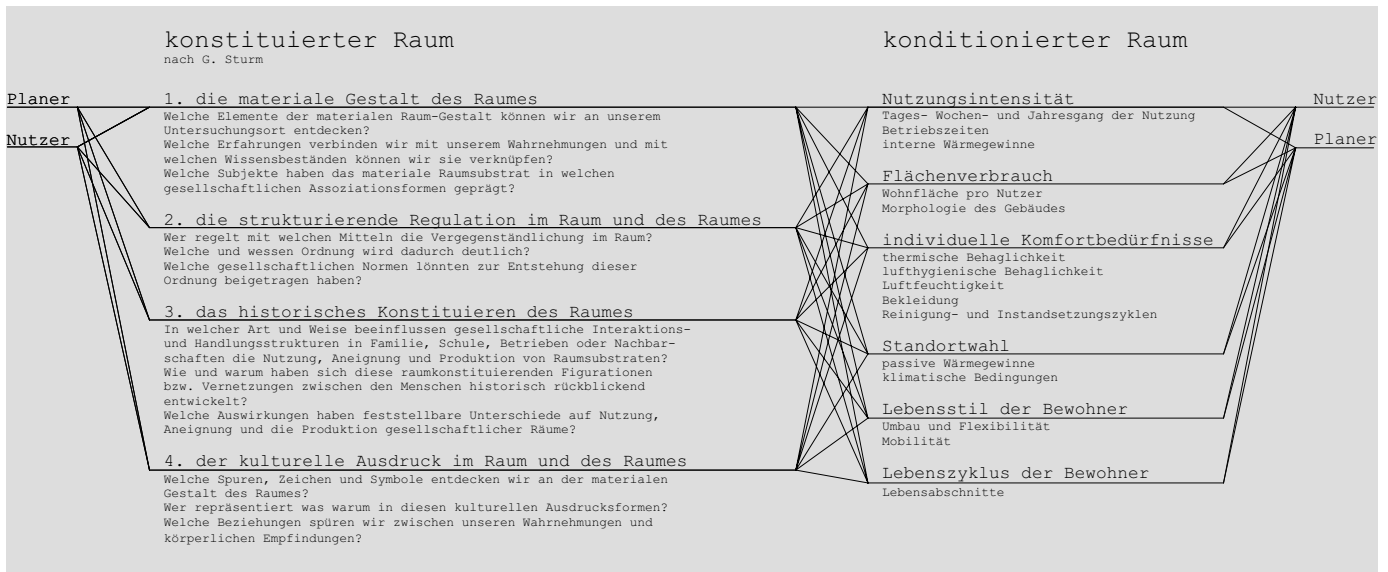
Abb.3.7: Herzfrequenz und Recurrence-Plots-Kennzahlen im Verlauf einer 24h- Messungen mit guter (links) und mit schlechter nächtlicher Schlafstruktur (rechts)

### 4.3 konditionierter Raum

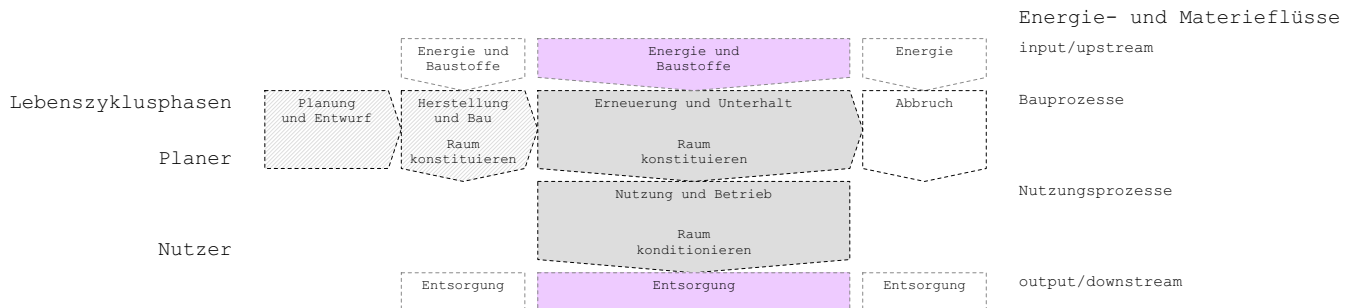
G. Rohregger u.a.: Behagliche Nachhaltigkeit, Wien 2004



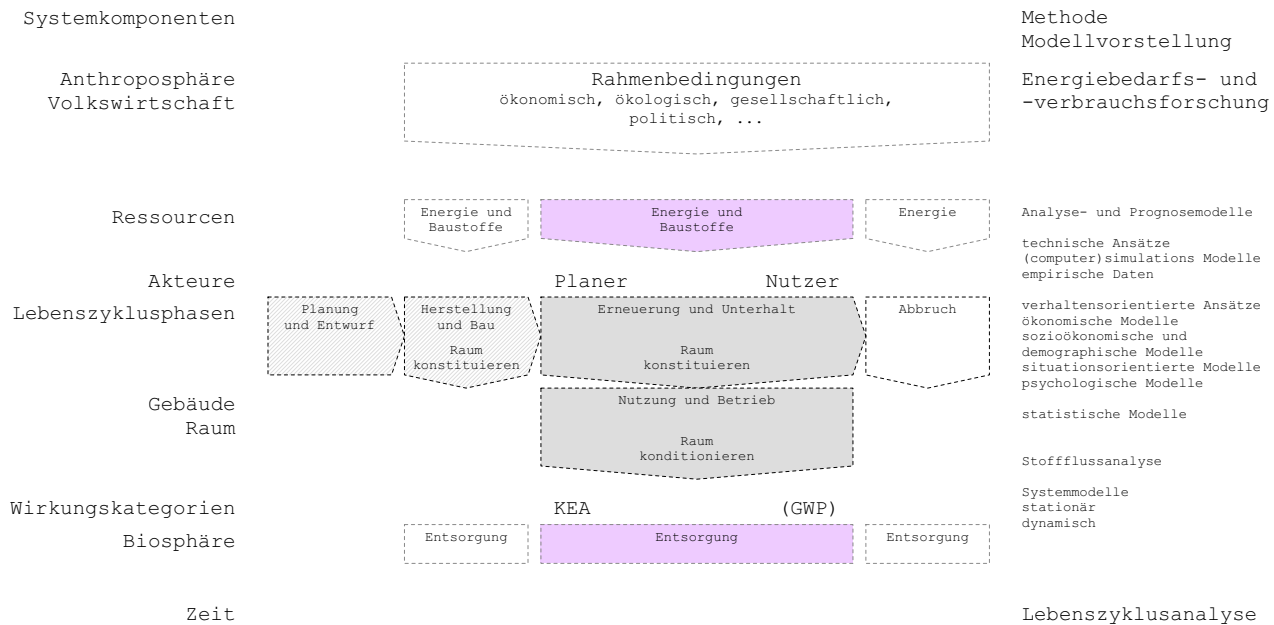
### 4.4 Analyse des konditionierten Raumes



### 5. Konzept des Raummodells



### 6.1 Zusammenfassung Gebäudelebenszyklus



## 6.2 Zusammenfassung Bilanzrahmen

### Funktionelle Einheit:

nicht nur das „Produkt“ Wohngebäude sondern die Dienstleistung Wohnen

### das Bedürfnisfeld Wohnen ist ein soziotechnisches System:

integriertes Modell, Verknüpfung verschiedenen Modellvorstellungen:  
technisch/statistische und verhaltensorientierte Ansätze

### (gesellschaftliche) Rolle des Planers oder Architekten:

Beeinflussung des Nutzerverhaltens durch die Konstitution des Raumes  
Kompensation des Nutzereinflusses: bauseitig, anlagenseitig, (politisch) (W. Richter)

### Ziel:

Umweltschäden pro Bedürfniseinheit reduzieren und minimieren (R. Frischknecht)

### Wirkungskategorien:

KEA, direkte Bewertung der energetischen Ressourcen, indirekte Bewertung der Emissionen  
ggf. GWP, zusätzlich zur direkten Bewertung der Emissionen

## 6.3 Zusammenfassung