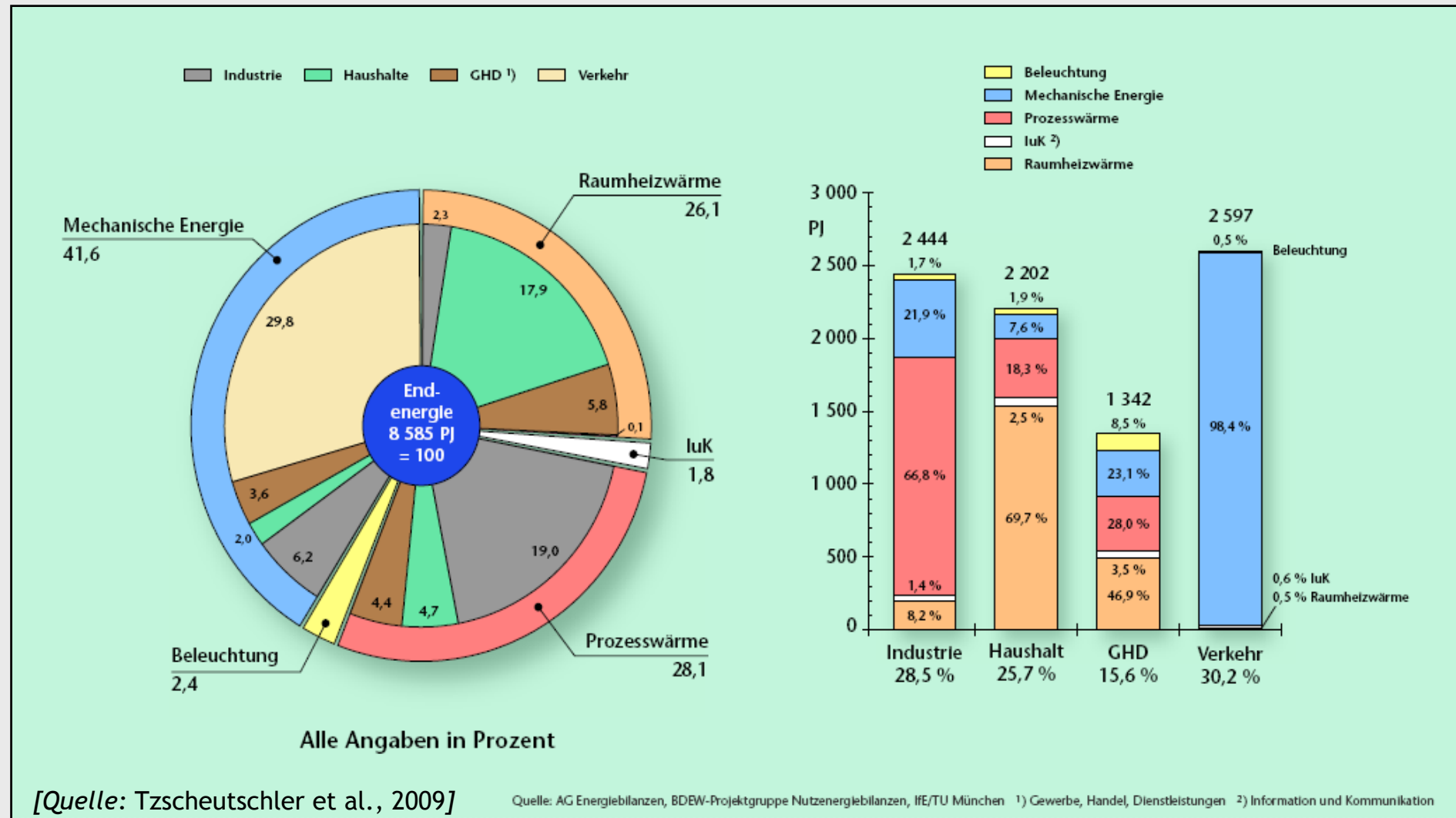


Abschätzung des energetischen Sanierungszustandes von Gebäuden in Berlin mit Hilfe eines nach CityGML modellierten 3D Stadtmodells

Daniel Carrión
Alexandra Lorenz
Thomas H. Kolbe

Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik
Technische Universität Berlin

Endenergieverbrauch in Deutschland (2007)



Gebäudebestand in Deutschland

Wohnsituation

Wohneinheiten in Gebäuden mit Wohnraum nach dem Baujahr ^{*} 2006

Gegenstand der Nachweisung	Deutschland	Früheres Bundesgebiet ohne Berlin	Neue Länder und Berlin
	1 000		
Wohneinheiten insgesamt	39 550	30 686	8 864
davon errichtet von ... bis ...			
bis 1918	5 673	3 515	2 157
1919 bis 1948	5 389	3 096	1 763
1949 bis 1978	18 301	15 680	2 621
1979 bis 1990	5 237	4 017	1 220
1991 bis 1995	1 630	1 312	318
1996 bis 2000	2 023	1 490	534
2001 bis 2004	1 061	840	221
2005 und später	237	206	31

* Ohne Wohnheime.

74,2% > 30 Jahre

Hoher Energieverbrauch
+
alter Gebäudebestand
=
Hohes Einsparpotential

[Quelle: Statistisches Bundesamt, 2006]

- Sanierungszustand von Gebäuden häufig **unbekannt**
 - Wechsel der Eigentümer
 - Unzureichende Dokumentation von durchgeführten Sanierungsmaßnahmen
 - Wenn Information verfügbar dann dezentral u.U. für jedes Gebäude an anderer Stelle
- Vor Ort Ermittlung durch Experten ist **kostspielig**
 - ca. **500.000** Gebäude für Berlin
- → einfache Methode zur **Abschätzung** und **Visualisierung** des Sanierungszustandes mittels bereits vorhandenen **digitalen Daten** benötigt

IGG Berlin



3D CityGML
Stadtmodell

Energiever-
brauchswerte

Vattenfall



- Volumen [m^3]
- **Nutzfläche [m^2]**
- Typ
- Nutzungsart
- Baujahr
- A/V

Energiekennwert [$\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$]

Heizklassen

Heizenergieverbrauch
[kWh]

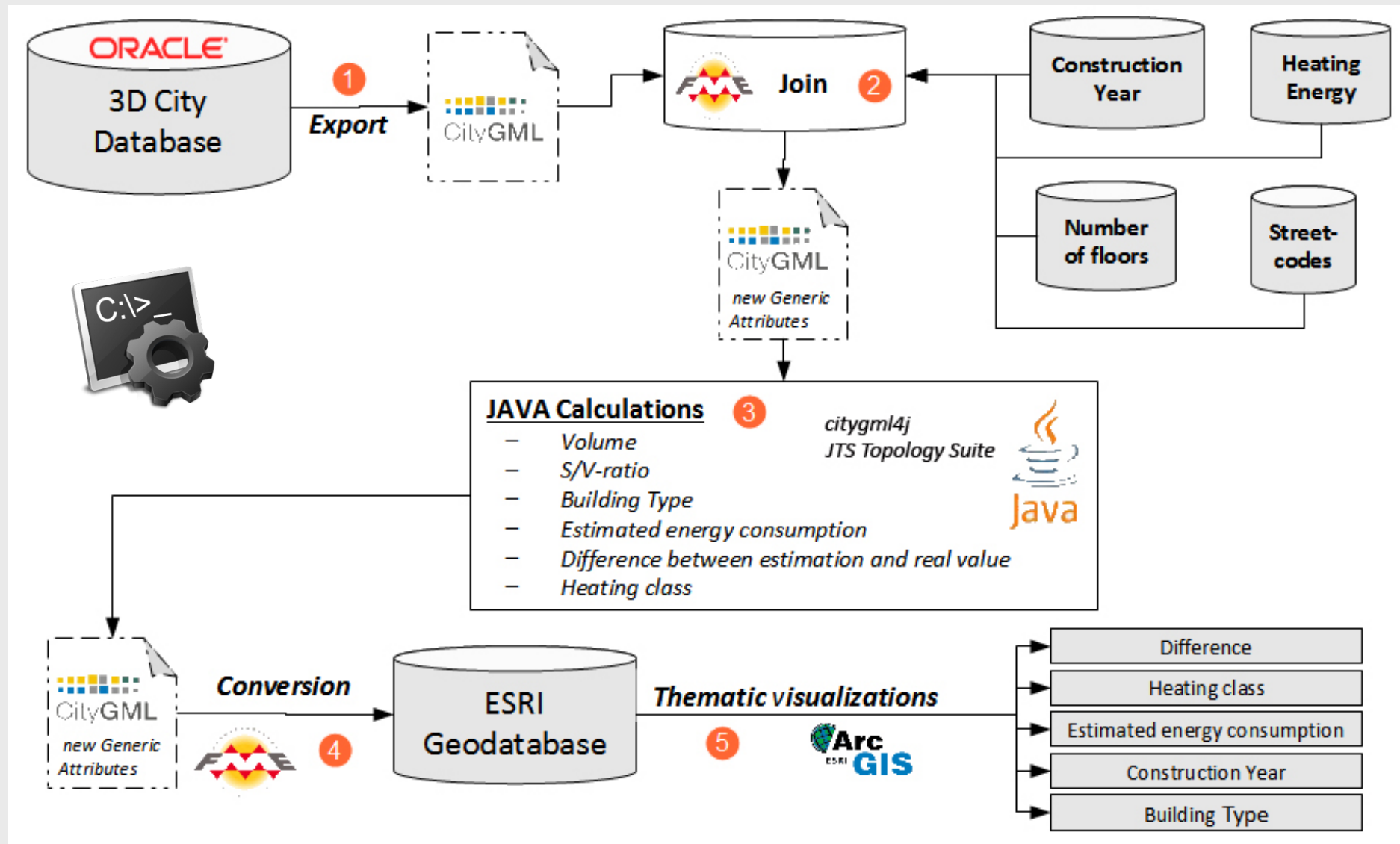
Energetischer
Sanierungszustand

Klima- und zeitbereinigter
Heizenergieverbrauch
[kWh/a]

Geschätzter
Heizenergieverbrauch
[kWh/a]

Abweichung

Workflow



Verbrauchsabschätzung mittels Gebäudetypologien

Department of Geoinformation Science



Baualtersklassen			bis 1918	1919-1948	1949-1957	1958-1968	1969-1978	1979-1983	1984-1995	1996-2000	2001-2005
EFH	Fl. ¹⁾	[m ²]	132	220	101	242	158	161	136	134	142
	WB ²⁾	[MWh _{th} /a]	22.0	33.0	17.8	36.3	26.1	26.6	21.3	13.6	10.3
	WKZ ³⁾	[kWh _{th} /m ² a]	167	150	176	150	165	165	156	101	72
RDH	Fl. ¹⁾	[m ²]	103	103	136	72	97	99	81	128	128
	WB ²⁾	[MWh _{th} /a]	15.6	14.5	23.8	11.7	18.6	17.0	10.5	11.4	9.0
	WKZ ³⁾	[kWh _{th} /m ² a]	152	141	175	162	192	171	129	89	70
KMH	Fl. ¹⁾	[m ²]	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	WB ²⁾	[MWh _{th} /a]	11	11	11	11	11	11	11	11	11
	WKZ ³⁾	[kWh _{th} /m ² a]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
GMH	Fl. ¹⁾	[m ²]	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	WB ²⁾	[MWh _{th} /a]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	WKZ ³⁾	[kWh _{th} /m ² a]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HH	Fl. ¹⁾	[m ²]	6	6	6	6	6	6	6	6	6
	WB ²⁾	[MWh _{th} /a]	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	WKZ ³⁾	[kWh _{th} /m ² a]	1	1	1	1	1	1	1	1	1

¹⁾ Nutzwärmeeffläche ²⁾ Wärmebedarf ³⁾

[Source: bremer energie institut, 2004]

Gebäudetypologie für die ABL									
Bau- alters- klasse	spezifischer Raumwärmebedarf [kWh/m ² ·a]				mittlere Größe einer Wohneinheit [m ² /WE]				
	EFH mit 1 WE	RDH mit 2 WE	MFH mit 3-6 WE	MFH ab 7 WE	EFH mit 1 WE	RDH mit 2 WE	MFH mit 3-6 WE	MFH ab 7 WE	
bis 1918	205,5	199,6	187,8	124,4	106,3	81,8	69,1	60,5	
1919-48	206,0	173,2	151,1	168,9	111,6	83,7	69,1	65,9	
1949-57	252,4	162,5	174,9	140,6	116,4	80,8	69,1	59,4	
1958-68	185,3	161,8	179,7	160,4	120,0	90,2	73,4	62,6	
1969-77	155,4	146,2	136,6	139,4	135,7	97,8	75,6	68,0	
1978-84	139,5	133,3	109,0	105,9	135,7	102,5	79,9	68,0	
1985-95	139,5	115,5	81,4	75,8	120,8	91,2	77,8	65,9	
1996-00	105,9	106,2	95,4	86,4	139,2	106,2	81,0	70,2	
Neubau	EZFH mit 1-2 WE		MFH ab 3 WE		EZFH mit 1-2 WE		MFH ab 3 WE		
2001-10	85,0		65,0		125,3		70,0		
2011-20	72,3		55,3		125,3		70,0		

[Source: Blesl, 2008]

Gebäudealter

Gebäudealter 1992/1993



[Quelle: FIS-Broker, 2009]

Bauperiode



bis 1869



1870 - 1899



1900 - 1918



1919 - 1932



1933 - 1945



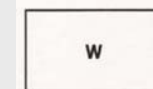
1946 - 1961



1962 - 1974



1975 u. danach



Wiederaufbau eines historischen Gebäudes am anderen Ort

Gebäudealter 1992/1993

RGB Bild mit bis zu 16 Mio. unterschiedlichen Farbtönen



Bauperiode



bis 1869



1870 - 1899



1900 - 1918



1919 - 1932



1933 - 1945



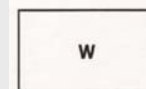
1946 - 1961



1962 - 1974



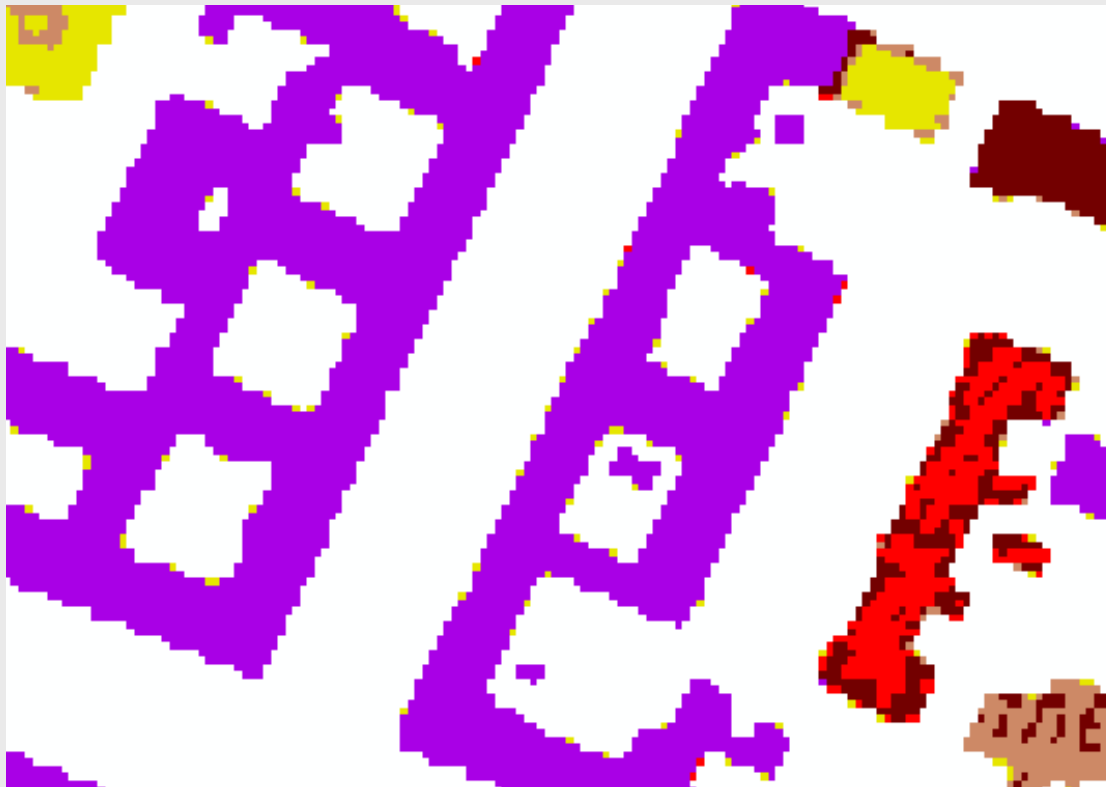
1975 u. danach



Wiederaufbau eines
historischen Gebäudes
am anderen Ort

Gebäudealter 1992/1993

Ergebnis der multispektralen Klassifikation
(nur noch 9 unterschiedliche Pixelwerte)



Bauperiode



bis 1869



1870 - 1899



1900 - 1918



1919 - 1932



1933 - 1945



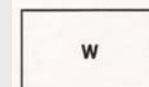
1946 - 1961



1962 - 1974



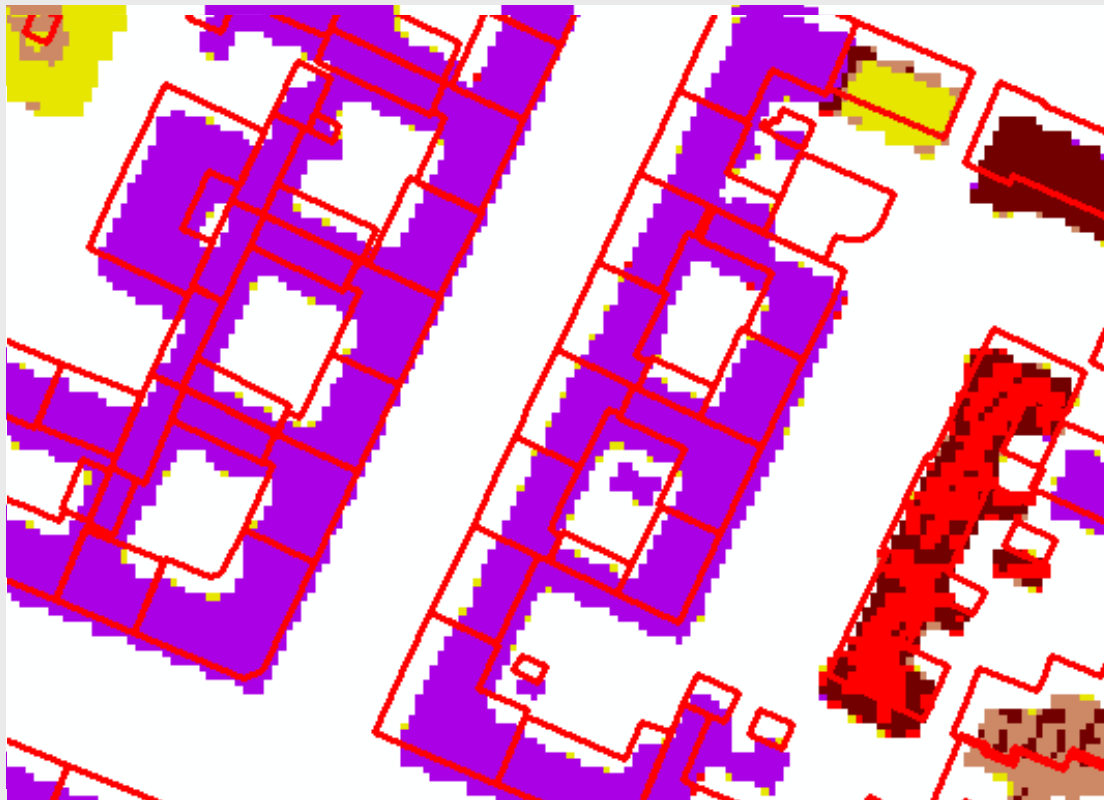
1975 u. danach



Wiederaufbau eines
historischen Gebäudes
am anderen Ort

Gebäudealter 1992/1993

Gebäudegrundrisse aus Stadtmodell werden überlagert



Bauperiode



bis 1869



1870 - 1899



1900 - 1918



1919 - 1932



1933 - 1945



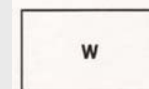
1946 - 1961



1962 - 1974



1975 u. danach

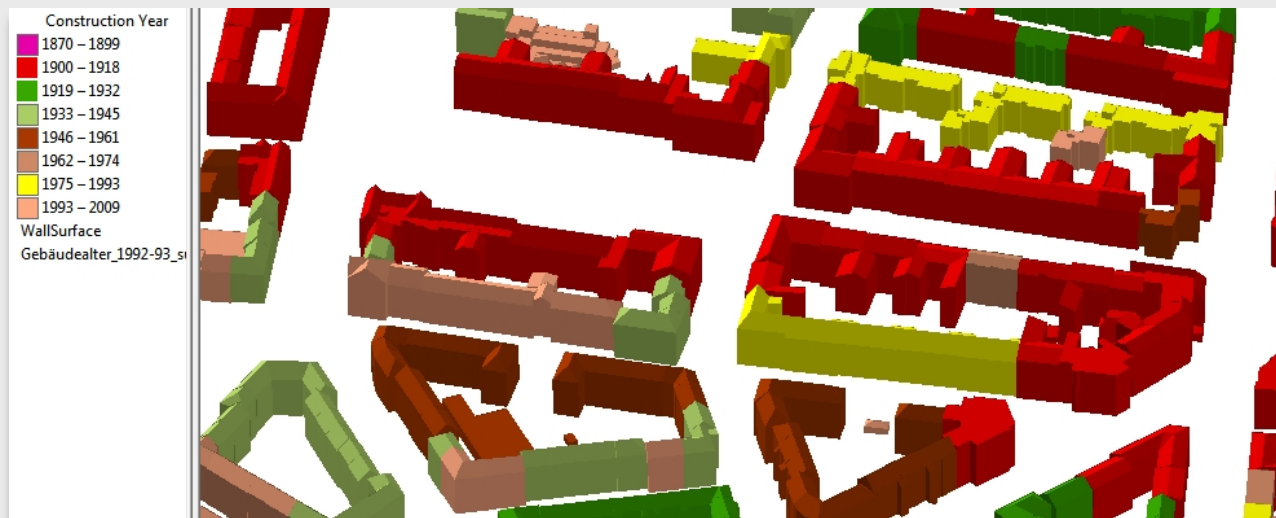


w

Wiederaufbau eines
historischen Gebäudes
am anderen Ort

Problem:

- ▶ Klassengrenzen stimmen nicht überein
- ▶ Keine Neubauten erfasst
- ▶ Aber: Wenn Gebäudegrundriss über weißer Fläche liegt, dann ist das Gebäude nach 1993 gebaut worden.



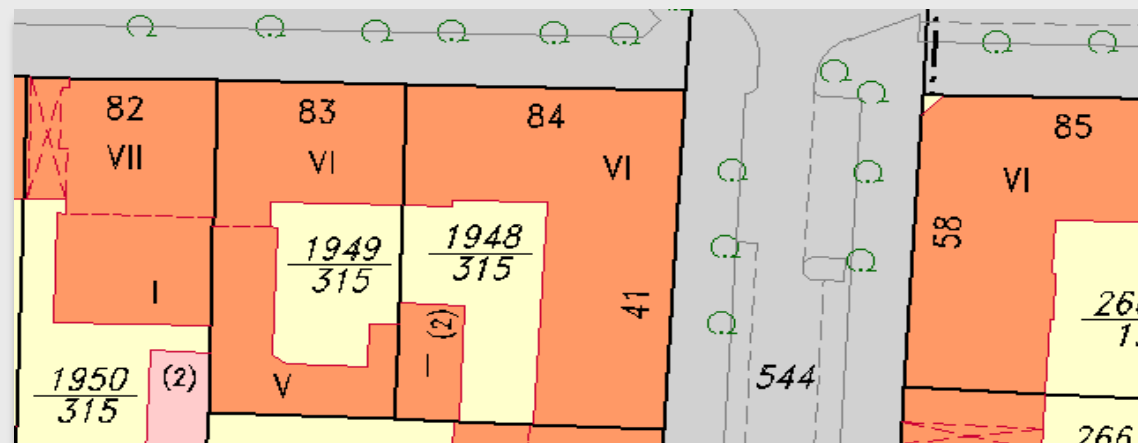
Bau- alters- klasse	Bauperiode
bis 1869	bis 1869
bis 1918	1870 - 1899
1919-48	1900 - 1918
1949-57	1919 - 1932
1958-68	1933 - 1945
1969-77	1946 - 1961
1978-84	1962 - 1974
1985-95	1975 u. 1993
1996-00	1994 - 2010
Neubau	
2001-10	
2011-20	

W Wiederaufbau eines historischen Gebäudes am anderen Ort

- Volumen der Gebäude aus 3D Stadtmodell berechenbar
- **Gebäudenutzfläche** kann daraus abgeleitet werden
 - $A_N = (1/h_G - 0,04) * V$ *laut EnEV 2009*

h_G : Geschosshöhe

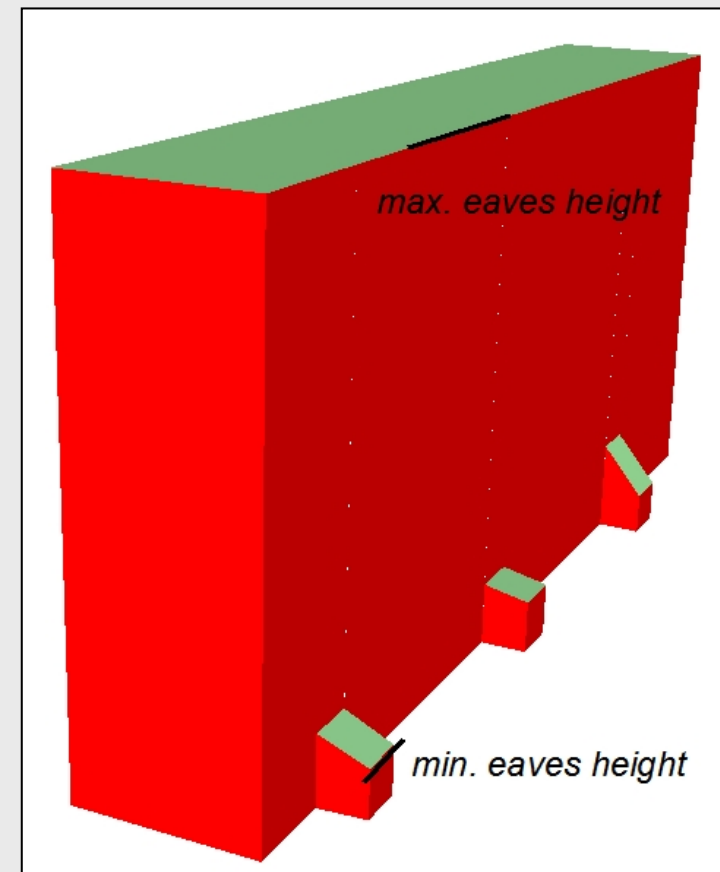
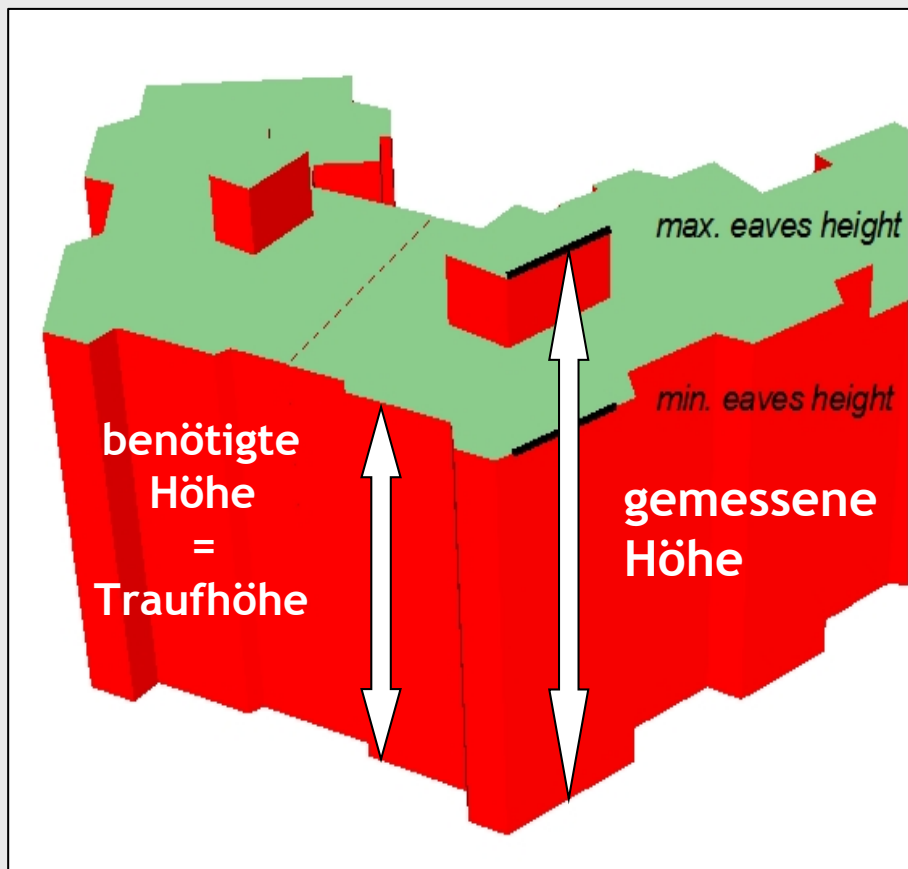
- berechenbar mittels **Gebäudehöhe** (aus Stadtmodell) und **Geschosszahl** (aus ALK)



[Quelle: FIS-Broker, 2009]

Geschosshöhe = **Höhe des Gebäudes** / Anzahl der Stockwerke
Was ist die Höhe eines Gebäudes?

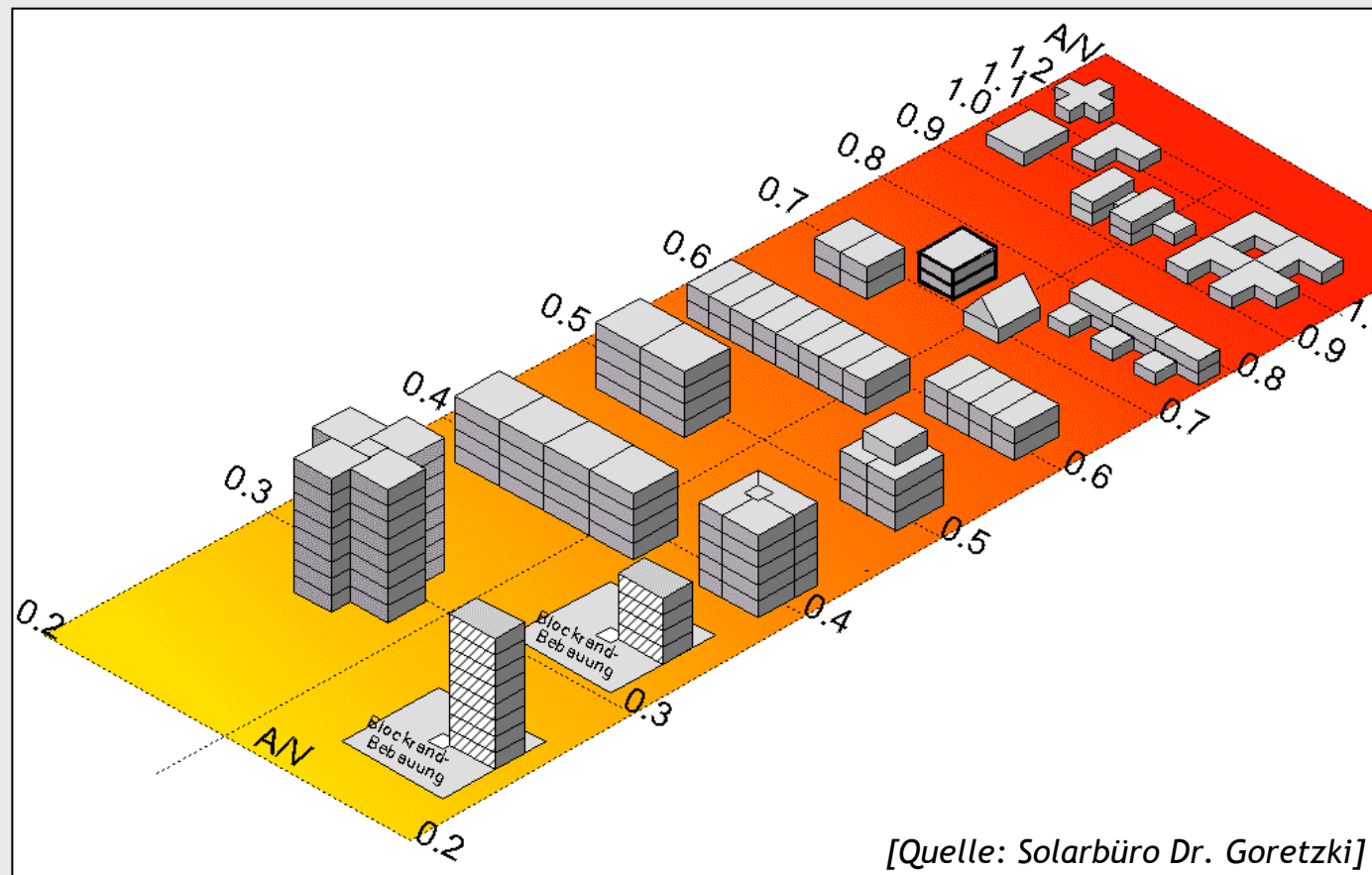
Flachdach



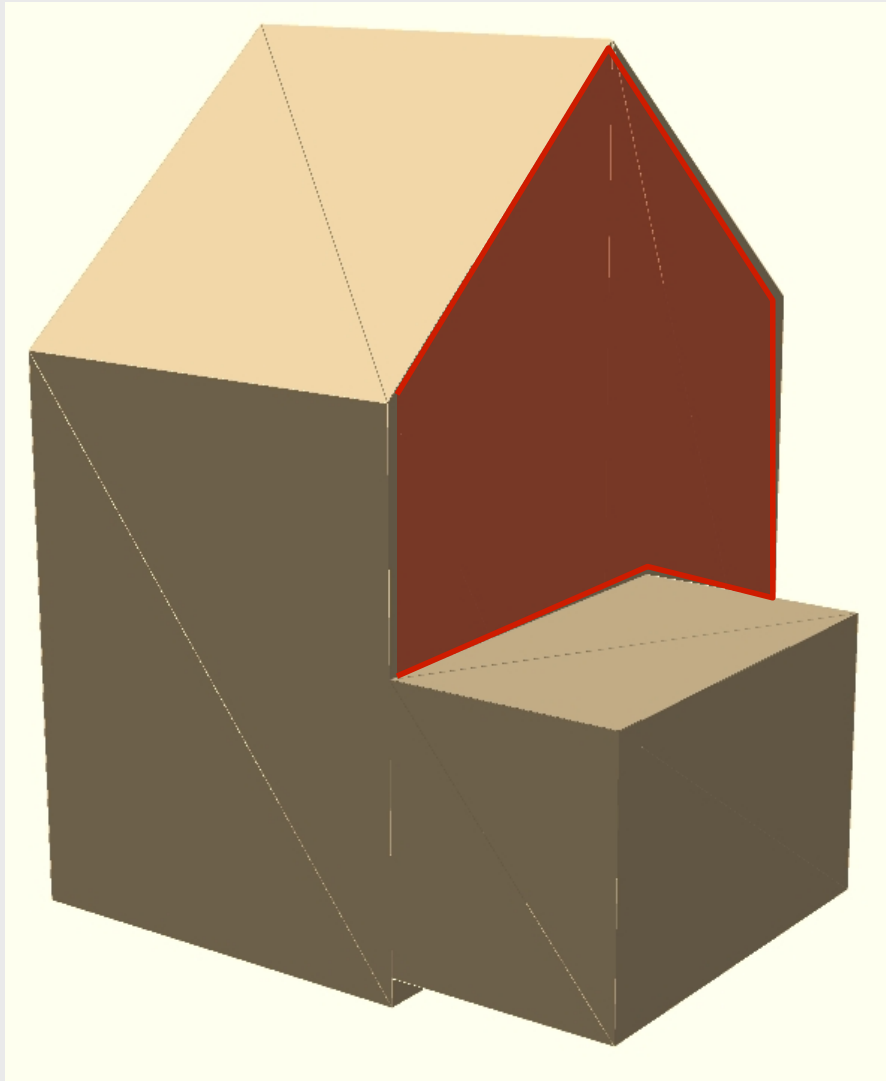
A/V - Verhältnis 1

Beschreibt die **Kompaktheit** eines Gebäude

„Ein geringeres A/V-Verhältnis bedeutet bei gleichem Gebäudevolumen eine kleinere wärmeübertragende Außenfläche. Pro m^3 Volumen ist somit weniger Energie notwendig, um die Wärmeverluste über die Hülle auszugleichen“ [Quelle: Wikipedia]



[Quelle: Solarbüro Dr. Goretzki]



- Hüllfläche (A) / Volumen (V)
- Wärmeübertragende Umfassungsfläche (A)
 - Dachflächen
 - Grundflächen
 - **Freie** Wandflächen
- Schnittmenge zweier Polygone berechnen
 - Java Topology Suite (JTS)
 - JTS nur für 2D Polygone
 - Polygone um die z-Achse rotieren
→ X-Koordinate wird null

- Stadtmodell beinhaltet **Klassifizierung** nach dem Schema der **Automatisierten Liegenschaftskarte (ALK)**
- keine direkte Zuordnung zu den Typen der Gebäudetypologie möglich

Function	ALK Erklärung	Anzahl	Mögliche Gebäudetypen
1231	Wohnblock in geschlossener Bauweise	47995	KMFH, GMFH
1321	Doppelhaus	24784	RDH, KMFH
1331	Reihenhaus	18876	RDH, KMFH
1341	Gruppenhaus	2634	RDH, KMFH
1361	Hochhaus	79	HH

- Gebäudetypologien definieren unterschiedliche **Gebäudetypen**
 - Gebäude mit **energetisch ähnlichen** Charakteristika
- A/V-Verhältnis als Klassifikationskriterium ungeeignet, da große Überlappung der einzelnen Typen
- Einfacher: Klassifizierung nach **Wohneinheiten**
 - **Wohnfläche** kann aus **Nutzfläche** berechnet werden. $WF = NF / 1,2$ (EnEV)
 - Durchschnittliche **Wohnungsgröße** in Berlin: 70,1 m²
(Amt für Statistik Berlin-Brandenburg)

Typ	A/V	Wohneinheiten	Durchschnittliche Wohnfläche
EFH (Einfamilienhaus)	0,6 - 1,1	max. 2	130 m ²
RDH (Reihen- und Doppelhaus)	0,4 - 0,8	max. 2	115 m ²
KMFH (kleines Mehrfamilienhaus)	0,3 - 0,8	3 - 6	290 m ²
GMFH (großes Mehrfamilienhaus)	0,25 - 0,55	min. 6	680 m ²

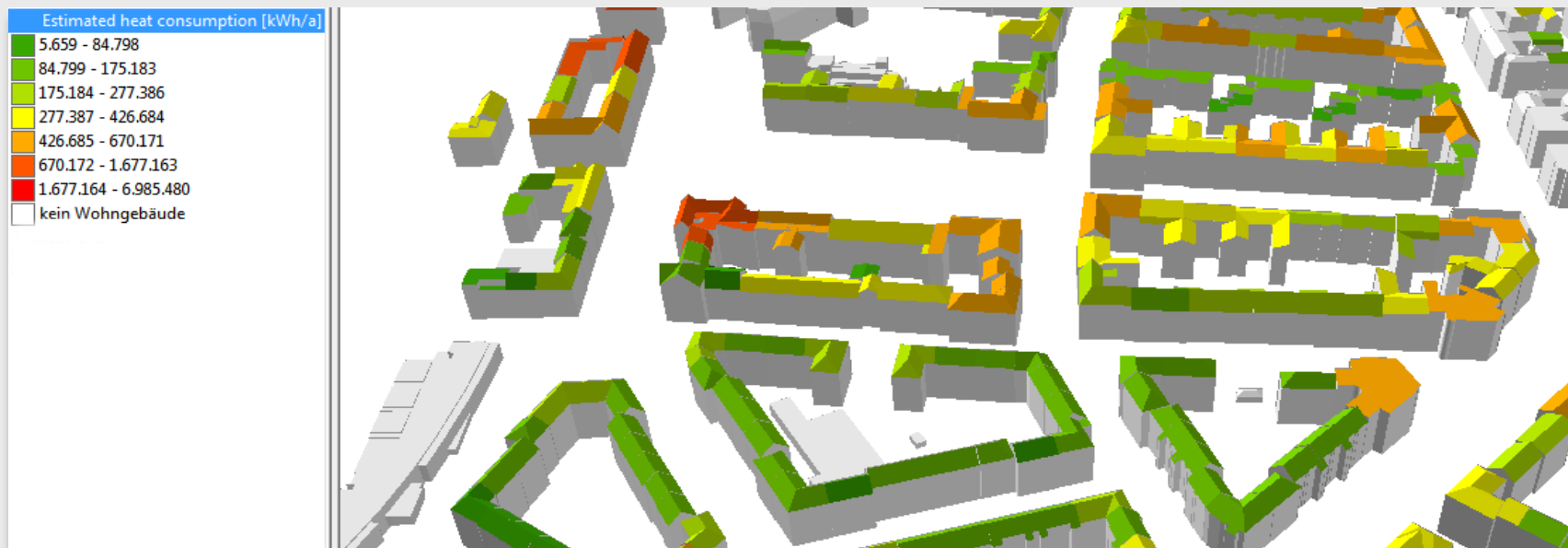
[Quelle: Eikmeier und Pfaffenberger, 2004]

- Excel Tabelle mit Adressen und zugehörigem Energieverbrauch der letzten Jahre (**Heizung** und **Warmwasseraufbereitung** getrennt)
- Verbrauchswerte stark von individueller **Nutzung** der **Bewohner** abhängig.
 - Modellierung des Einflusses kaum möglich
- **Abrechnungszeiträume** entsprechen nicht immer genau einem Jahr
 - **Zeitliche Korrektur** nötig
 - GradTagsTabelle
- **Gemessener Verbrauch** stark von **Außentemperatur** abhängig
 - **Klimabereinigung** nötig
 - Klimafaktoren

Monat	Anteil in ‰	Anteil je Tag in ‰
Januar	170	$170/31 = 5,48$
Februar	150	$150/28 = 5,35$ $150/29 = 5,17$
März	130	$130/31 = 4,19$
April	80	$80/30 = 2,66$
Mai	40	$40/31 = 1,29$
Juni bis August	40	$40/92 = 0,43$
September	30	$30/30 = 1,00$
Oktober	80	$80/31 = 2,58$
November	120	$120/30 = 4,00$
Dezember	160	$160/31 = 5,16$

[Quelle: DIN 4713]

- Heizbedarf [kWh/a] = Nutzfläche [m²] * Energiekennwert [kWh/m²a]
- Nutzfläche aus Volumen abgeleitet
- Energiekennwert [kWh/m²a] aus Gebäudetypologie
- Verbrauchsdaten von Vattenfall stammen aus Fernwärmenetz
 - Energieverbrauch 15-30% geringer als bei Heizkesseln (*dena Energieausweis*)
 - Energiekennwert aus Typologie muss verringert werden um Vergleich zwischen realem Wert und Schätzung zu ermöglichen.
 - Faktor 0,78 (22% weniger Verbrauch)



Referenzdaten zur Validierung der Methode

Department of Geoinformation Science

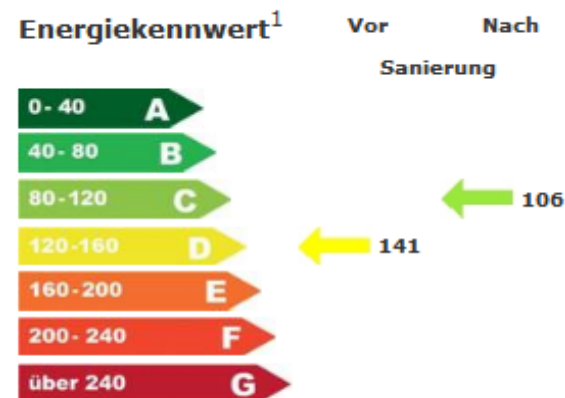


Gebäudegalerie aus dem Berliner Heizspiegel

Gebäudegalerie: Gründerzeit bis 1918



1 2



Gebäudedaten

Baujahr: **1912**

Wohneinheiten: **256**

Gebäudenutzfläche gem. EnEV²: **20.200 m²**

Energieträger: **Erdgas**

Klimabereinigter³ Energieverbrauch vor Sanierung: **2.841.612 kWh/Jahr**

Klimabereinigter³ Energieverbrauch nach Sanierung: **2.138.857 kWh/Jahr**

Energieeinsparung: **702.755 kWh/Jahr**

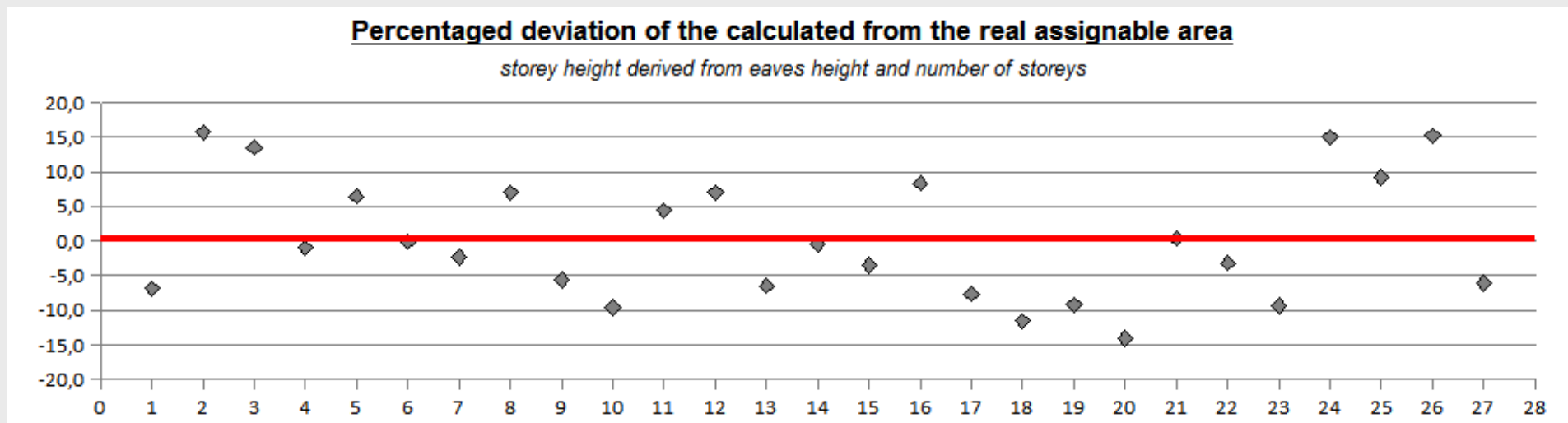
CO₂-Minderung: **139.145 kg/Jahr**

Sanierungsmaßnahmen

Erneuerung Kessel und Regelung

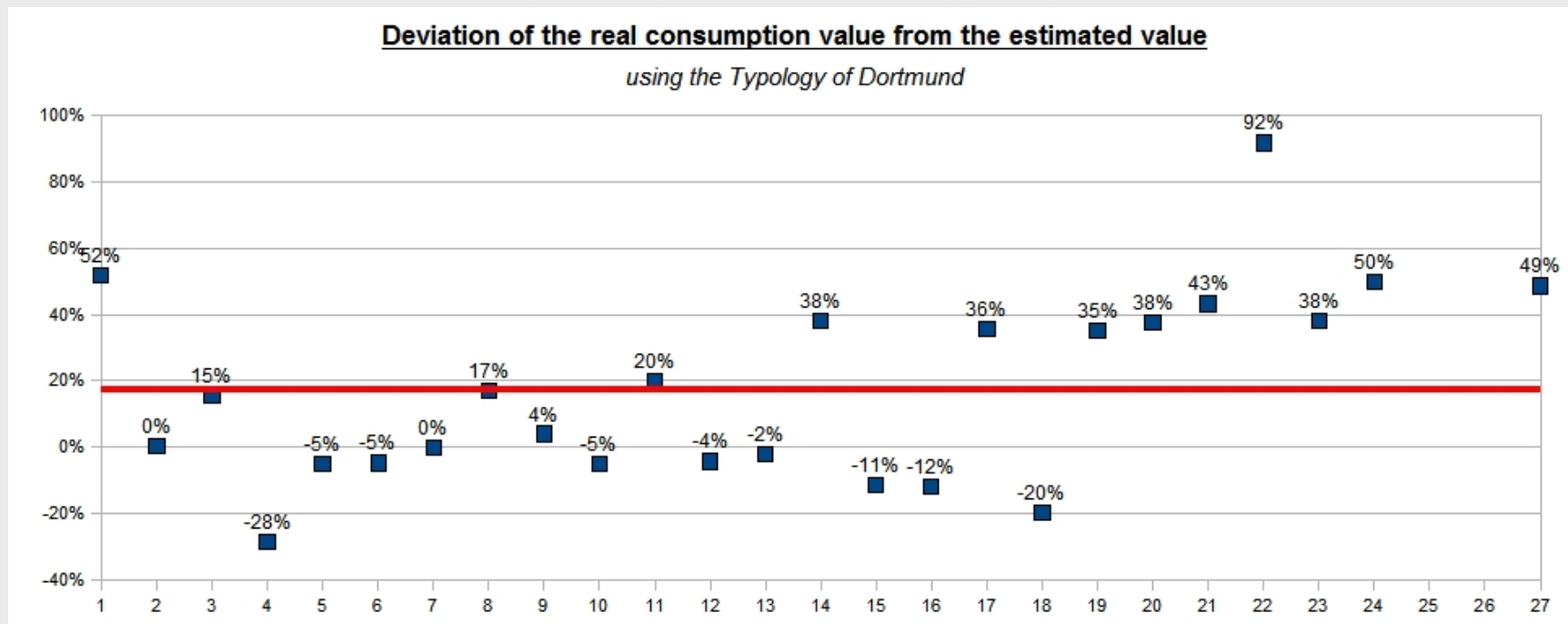
[Quelle: Heizspiegel Berlin]

- Vergleich der **berechneten** Nutzfläche mit der **wirklichen** Nutzfläche für die 28 Referenzgebäude
- **Abweichung** ungefähr $\pm 15\%$
 - Nur wenn **Geschosshöhe** bekannt ist!
 - Durchschnittliche Abweichung ungefähr **0%**!



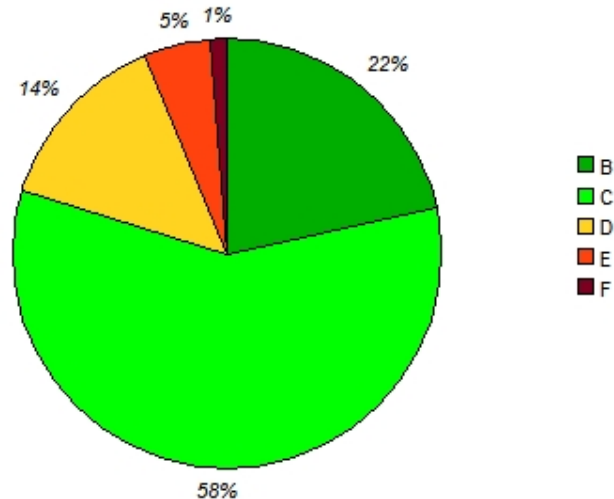
Ergebnisse - geschätzter Energieverbrauch

- Vergleich des **geschätzten Energieverbrauchs** mit dem in Wirklichkeit gemessenen Wert für die 28 Referenzgebäude
- **Abweichung** sehr groß (bis zu 92%)
- Durchschnittliche Abweichung von ungefähr 20%

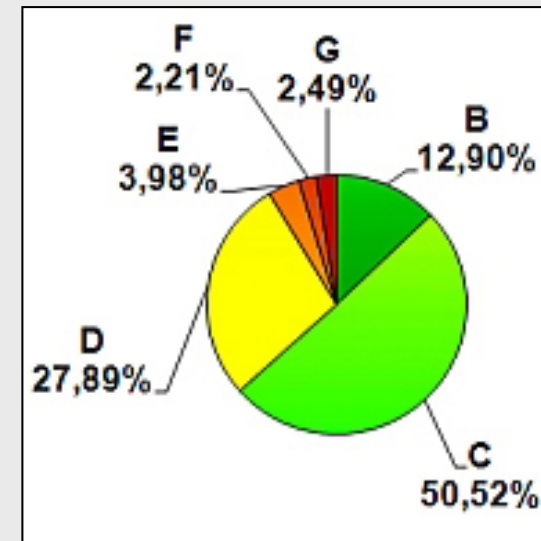


Ergebnisse - Sanierungszustand

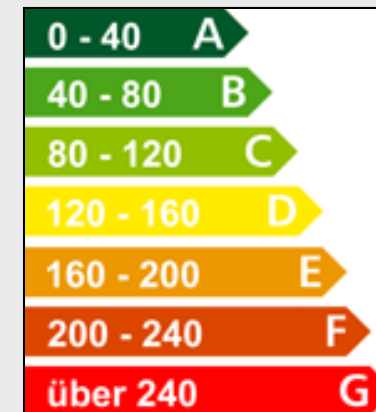
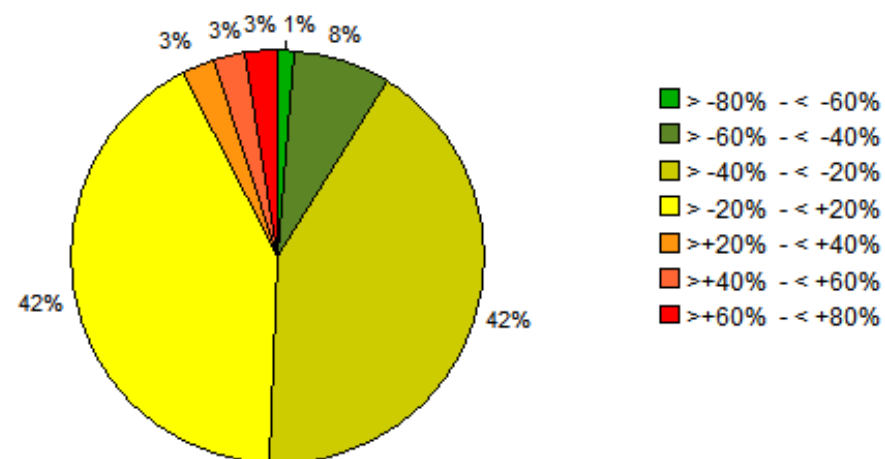
Distribution of heating classes



Komplett Berlin (2007)



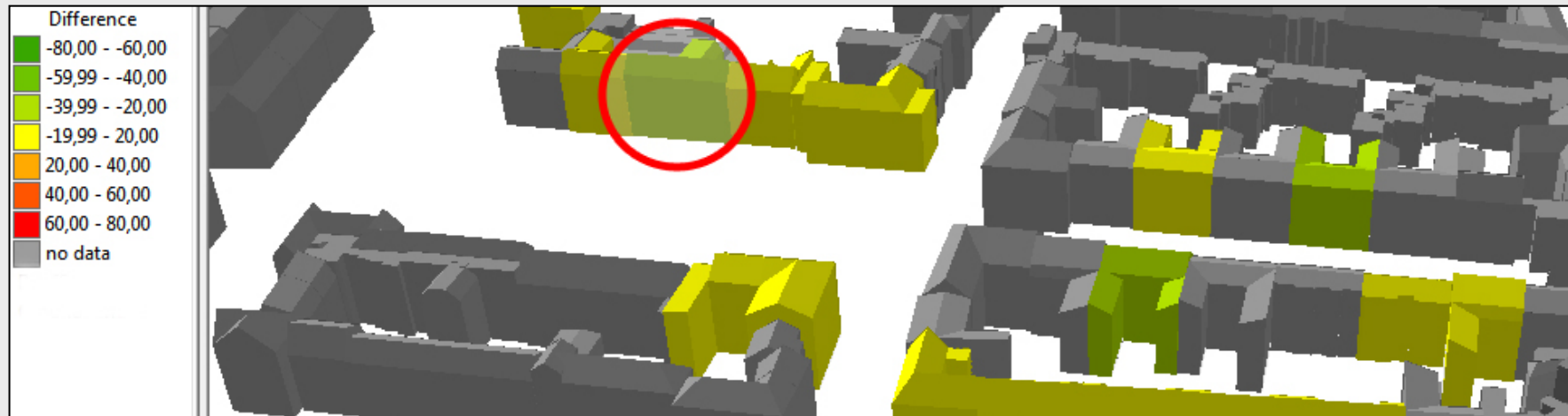
Distribution of deviation classes



[Quelle: Heizspiegel Berlin]

Ergebnisse - Sanierungszustände im Testgebiet

Department of Geoinformation Science



Ergebnisse - Statistiken zum Gebäudebestand

Department of Geoinformation Science

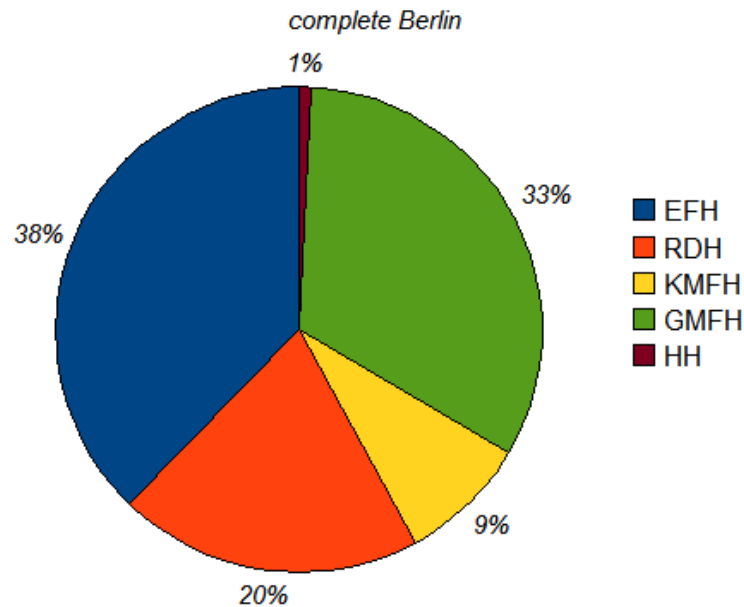


Gebäudetypen nach Baualtersklassen von Wohngebäuden in der Innenstadt

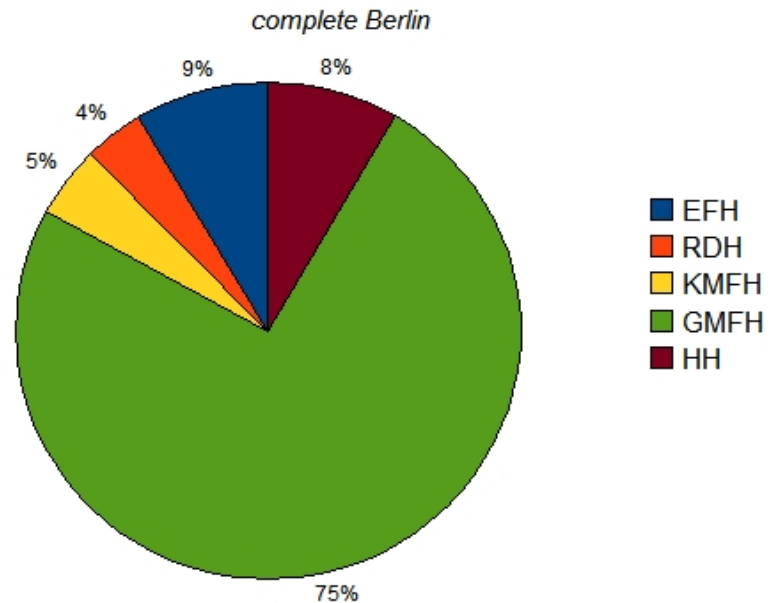
			Building Type						
			EFH	RDH	KMFH	GMFH	HH	sum	[%]
Construction year class	- 1869	number	1	1	72	875	0	949	2,3%
		living area	169	116	21.541	859.919	0	881.745	1,6%
	1870 – 1900	number	28	23	744	8.589	5	9.389	23,1%
		living area	4.096	4.318	215.970	11.674.864	25.515	11.924.763	21,1%
	1901 - 1918	number	14	23	325	9.519	33	9.914	24,4%
		living area	1.946	3.336	94.286	18.949.489	129.643	19.178.699	34,0%
	1919 – 1932	number	94	1.237	378	3.550	5	5.264	12,8%
		living area	14.862	160.318	129.596	4.372.248	48.098	4.725.122	8,4%
	1933 – 1945	number	91	44	302	982	0	1.419	3,5%
		living area	16.535	8.324	104.205	1.045.515	0	1.174.579	2,1%
	1946 – 1961	number	109	116	255	4.379	47	4.906	12,1%
		living area	18.088	16.334	82.870	5.231.326	245.799	5.594.417	9,9%
	1962 – 1974	number	64	61	112	1.898	245	2.380	5,9%
		living area	9.941	7.936	36.219	2.848.226	1.902.999	4.805.320	8,5%
	1975 – 1993	number	30	119	83	2.082	115	2.429	6,0%
		living area	4.855	18.915	27.415	3.372.090	809.715	4.232.990	7,5%
	1993 – heute	number	345	472	435	2.673	48	3.973	9,8%
		living area	46.589	63.611	123.190	3.363.947	300.668	3.898.005	6,9%
building type (total)			776	2.096	2.706	34.547	498	40.623	
[%]			1,9%	5,2%	6,7%	85,0%	1,2%		
total living area [m²]			117.081	283.207	835.292	51.717.624	3.462.437	56.415.641	
[%]			0,2%	0,5%	1,5%	91,7%	6,1%		

Wohngebäude in komplett Berlin

Distribution of residential building types



Distribution of the living area in residential buildings



- Semantische 3D Stadtmodelle (CityGML) bilden ein geeignetes „Framework“ für energetische Auswertungen
 - Energetisch relevante Parameter für alle Gebäude eines Stadtmodells unmittelbar verfügbar:
 - Volumen
 - Nutzfläche ($\pm 15\%$)
 - A/V-Verhältnis
 - Gebäudetyp
 - Einfaches **erweitern** des Datenmodell
 - *GenericAttributes*
 - *Application Domain Extension (ADE Energy?)*
 - Einfaches **hinzufügen** von externen Datensätzen
 - Datenverfügbarkeit allerdings begrenzt
 - z.B. Baujahr, Stockwerkszahlen, Unterkellerung

- **geschätzter Energieverbrauch** (Typologien) zu ungenau für einzelne Gebäude
 - genauere Modellierung nötig
 - z.B. mittels U-Wert (Wärmedurchgangskoeffizient) der einzelnen Gebäudeteile (Strzalka, Coors et al., TU Stuttgart)
 - auch **gemessener Verbrauchswert** kein absoluter Wert
 - Schwankungen durch Nutzerverhalten
(*Raumtemperatur, Luftwechselzahl*)
- **Differenz** (Soll-Ist) nur schwer interpretierbar
- Aber: **Heizklassen** ermöglichen eine einfache und effektive Quantifizierung des **Sanierungszustandes**