

Präsentation

# Begleituntersuchung zur Neufassung der Energieleitlinie

Dienstag, den 31.10.2023

# Inhaltsübersicht

1. Aufgabenstellung
2. Varianten und Methodik
3. Heizwärme- und Energiebedarf
4. Kosten und Wirtschaftlichkeit
5. Treibhausgasemissionen
6. CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten
7. Empfehlungen Energieleitlinie

# Aufgabenstellung

## Vergleich von Effizienzgebäude-40 und Passivhaus für

- unterschiedliche Nutzungen (Schule, Büro, Kita)
- unterschiedliche Heizsysteme
- unterschiedliche Gebäudegrößen

## Empfehlungen für Neufassung Energieleitlinie

# Erläuterung der energetischen Standards

## Effizienzgebäude-40

Anforderung: Primärenergiebedarf max. 40% Referenzgeb.

Qualität thermische Gebäudehülle

Berechnungsvorschriften: Gebäudeenergiegesetz

## Passivhaus

Anforderung: Heizwärmebedarf  $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}_2 \cdot \text{a})$

Primärenergiebedarf  $\leq 90 \text{ kWh}/(\text{m}_2 \cdot \text{a})$

Luftdichtheit  $\leq 0,6 \text{ 1/h}$

Berechnungsvorschriften: PassivhausProjektierungsPaket PHPP

# Untersuchte Varianten

## Basisvariante:

A-1 Schulgebäude EG-40 mit **Lüftungsanlage** mit WRG

## Vergleichsvarianten:

A-2 Schule Passivhaus 15 kWh/m<sup>2</sup>K

A-3 Schule Passivhausbilanz 20 kWh/m<sup>2</sup>K

A-4 Schule Passivhaus 15 kWh/m<sup>2</sup>K Halbtagsbetrieb

A-5 Schule Passivhaus 15 kWh/m<sup>2</sup>K ohne CO<sub>2</sub>-Regelung

A-6 Büro Passivhaus 15 kWh/m<sup>2</sup>K

A-7 Büro EG-40 ohne Lüftungsanlage

A-8 Schule EG-40 ohne Lüftungsanlage

## Untersuchte Varianten

Basisvariante:

B-1 Schule **verkleinert** EG-40 mit Lüftungsanlage WRG

Vergleichsvarianten:

B-2 Schule Passivhaus 15 kWh/m<sup>2</sup>K

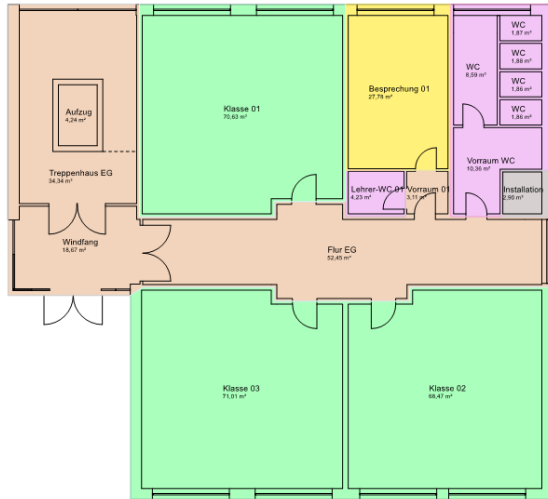
B-3 Schule Passivhausbilanz 20 kWh/m<sup>2</sup>K

B-4 Kita Passivhaus 15 kWh/m<sup>2</sup>K

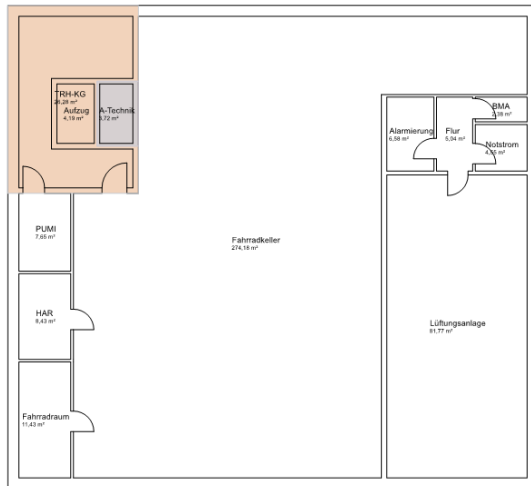
## Methodik

Basisvarianten für den Vergleich im PHPP bilanziert

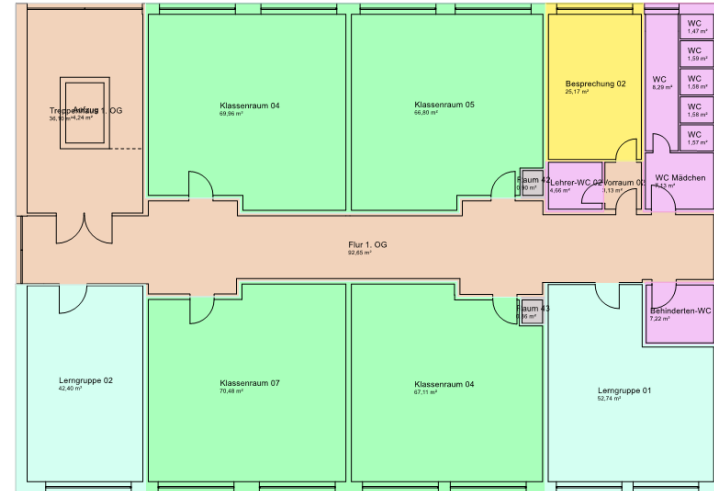
# Grundrisse [A]



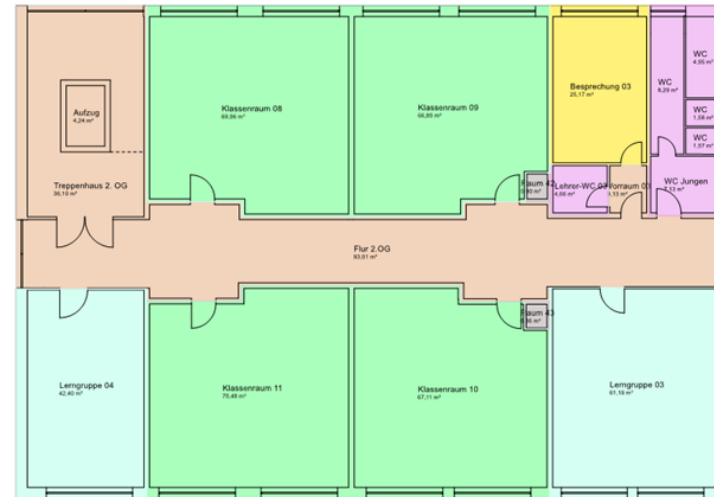
Erdgeschoss



Kellergeschoss



1. Obergeschoss



2. Obergeschoss

## Energiebezugsflächen:

	Gebäude A		Gebäude B	
Kellergeschoss	436	m <sup>2</sup>	-	m <sup>2</sup>
Erdgeschoss	390	m <sup>2</sup>	390	m <sup>2</sup>
1. Obergeschoss	574	m <sup>2</sup>	576	m <sup>2</sup>
2. Obergeschoss	576	m <sup>2</sup>	-	m <sup>2</sup>
Summe NRF	1.976	m <sup>2</sup>	966	m <sup>2</sup>
Summe beheizte NRF	1.575	m <sup>2</sup>	966	m <sup>2</sup>
<b>Energiebezugsfläche nach PHPP</b>	<b>1.333</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>835</b>	<b>m<sup>2</sup></b>

Tabelle: Energiebezugsfläche



## Heizwärme- und Energiebedarf

Variante		A-1	A-2	A-3	A-8
		Schule EG-40	Schule PH-15	Schule PH-20	Schule ohne Lüft. EG-40
Heizwärmebedarf	kWh/m <sup>2</sup> a	20,9	15,0	19,9	49,7
Heizwärmebedarf	kWh/a	27.868	20.001	26.535	66.270
Strombedarf Lüftung Winter	kWh/a	4.219	4.219	4.219	0
Strombedarf Lüftung Sommer	kWh/a	3.476	3.476	3.476	0
<b>Dämmung</b>					
Flachdach Dämmung i.M. (WLS 035)	mm	<b>220</b>	<b>290</b>	<b>260</b>	<b>220</b>
Außenwand Dämmung (WLS 035)***	mm	<b>180</b>	<b>260</b>	<b>180</b>	<b>180</b>
Kragdecke unterseitig (WLS 035)	mm	<b>80</b>	<b>120</b>	<b>100</b>	<b>80</b>
Kellerdecke unterseitig (WLS 035)	mm	<b>0</b>	<b>75</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
KG-Trennwand TRH zu unbeheizt (WLS 035)	mm	<b>75</b>	<b>150</b>	<b>75</b>	<b>75</b>
KG-Außenwand TRH zu Erdr. (WLS 044)	mm	<b>100</b>	<b>160</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
KG-Sohle TRH unterseitig (WLS 044)	mm	<b>0</b>	<b>120</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Aufzugsunterfahrt-Außenwände (WLS 044)	mm	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
Aufzugsunterfahrt-Sohle (WLS 044)	mm	<b>60</b>	<b>120</b>	<b>60</b>	<b>60</b>
Fenster	W/m <sup>2</sup> K	<b>1,0</b>	<b>0,86</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
Pfosten-Riegelkonstruktion	W/m <sup>2</sup> K	<b>1,0</b>	<b>0,86</b>	<b>1,0</b>	<b>1,0</b>
Eingangstür	W/m <sup>2</sup> K	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>
Kellertüren	W/m <sup>2</sup> K	<b>1,6</b>	<b>1,5</b>	<b>1,6</b>	<b>1,6</b>
<i>alternativ Außenwanddämmung in WDVS</i>	mm	<b>160</b>	<b>220</b>		

## Heizwärmebedarf

- EG-40 zu PH 15 (Passivhaus)
  - Heizwärme von 20,9 kWh/m<sup>2</sup>K auf 15 kWh/m<sup>2</sup>K
  - Anstieg der Dämmdicken und thermische Qualität der Fenster
- EG-40 entspricht ca. PH-20
- Wegfall der Lüftungsanlage
  - Zunahme Heizwärmebedarf um mehr als das Doppelte (237 %)

## Heizwärme- und Energiebedarf

Variante		B-1	B-2	B-3	B-4
		Schule EG-40	Schule PH-15	Schule PH-20	PH-15 Kita PH-15
Heizwärmebedarf	kWh/m <sup>2</sup> a	26,2	15,0	20,0	15,0
Heizwärmebedarf	kWh/a	21.874	12.524	16.698	12.524
Strom Lüftung Winter	kWh/a	2.689	2.689	2.689	2.334
Strom Lüftung Sommer	kWh/a	2.215	2.215	2.215	1.922
<b>Dämmung</b>					
Flachdach Dämmung i.M. (WLS 035)	mm	<b>220</b>	<b>340</b>	<b>275</b>	<b>390</b>
Außenwand Dämmung (WLS 035)	mm	<b>180</b>	<b>260</b>	<b>240</b>	<b>300</b>
Kragdecke unterseitig (WLS 035)	mm	<b>80</b>	<b>160</b>	<b>120</b>	<b>200</b>
Bodenplatte Perimeter (WLS 044)	mm	<b>0</b>	<b>160</b>	<b>80</b>	<b>200</b>
Aufzugsunterfahrt-Außenwände (WLS 044)	mm	<b>60</b>	<b>160</b>	<b>140</b>	<b>160</b>
Aufzugsunterfahrt-Sohle (WLS 044)	mm	<b>60</b>	<b>160</b>	<b>140</b>	<b>160</b>
Fenster	W/m <sup>2</sup> K	<b>1,0</b>	<b>0,70</b>	<b>0,86</b>	<b>0,70</b>
Pfosten-Riegelkonstruktion	W/m <sup>2</sup> K	<b>1,0</b>	<b>0,70</b>	<b>0,86</b>	<b>0,70</b>
Eingangstür	W/m <sup>2</sup> K	<b>1,6</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>
<i>alternativ Außenwanddämmung in WDVS</i>	mm	<b>160</b>	<b>220</b>		

Tabelle: Heizwärmebedarf und Dämmdicken []

## Thermische Hülle

Gebäude verkleinert (ein Geschoss weniger)

- Gebäude [B] Nutzung Schule - EG-40 zu PH 15  
(Passivhaus)
  - Hoher Anstieg der Dämmdicken und thermische Qualität der Fenster
- Gebäude [B] Nutzung Kita - EG-40 zu PH 15
  - Sehr hohe Anstieg der Dämmdicken und thermische Qualität der Fenster

# Energiebedarf

Variante		A-1	A-2	A-8
		Schule EG-40	Schule PH-15	Schule ohne Lüft. EG-40
<b>Endenergiebedarf</b>		<b>Absolut</b>	<b>Differenz</b>	<b>Differenz</b>
Strom Heizung Luft-WP	kWh/a	8.445	-2.384	11.637
Strom Heizung Erd-WP	kWh/a	6.481	-1.830	8.931
Pellet	kWh/a	32.786	-9.255	45.179
Erdgas (Bestandsanlage) HS	kWh/a	30.965	-8.741	42.669
Pellet (Bestandsanlage) HS	kWh/a	33.674	-9.506	46.402
Strom Lüftungsanlage Ganzjahresbetrieb	kWh/a	7.695	0	-7.695

Tabelle: Endenergiebedarf [A]

- EG-40 zu PH 15 (Passivhaus)
  - Luft-WP Stromeinsparung 2.384 kWh/a
- Wegfall Lüftungsanlage EG-40
  - Luft-WP Strommehrbedarf 3.942 kWh/a

# Energie- und Investitionskosten

Mehrkosten (KG300+400)  
Passivhaushülle: 136 t€

- 2,7 %

Mehrkosten (KG300+400)  
Lüftungsanlage: 871 t€

- 17,2 %

Bezug auf Bauwerkskosten KG 300+400 nach BKI-Index

Passivhaus Energiekosteneinsparung

- Luft-WP 849 €/a
- Erdgasbestand 554 €/a

Wegfall Lüftungsanlage  
Energiekostenanstieg

- Luft-WP 1.404 €/a
- Erdgasbestand -34 €/a

Variante	A-1	A-2	A-8
	Schule EG-40	Schule PH-15	Schule ohne Lüft. EG-40
	Absolut	Differenz	Differenz
	brutto €/a	brutto €/a	brutto €/a
<b>Energiekosten</b>			
Strom Heizung Luft-WP	3.006	-849	4.143
Erdgas (Bestandsanlage) HS	1.963	-554	2.705
Strom Lüftung Ganzjahresbetrieb	2.739	0	-2.739
<b>Kosten Gebäudehülle</b>			
<b>Summe Kostendifferenz Gebäudehülle</b>		<b>136.282</b>	<b>0</b>
<i>Alternativ AW-WDVS</i>		101.716	0
<b>Kosten Wärmeerzeuger</b>			
Einsparung Erzeuger Nenneleistung - 5KW			
Luft-Wärmepumpe	27.370	-4.760	0
<b>Kosten durch Lüftungsanlage</b>			
<b>Kostendifferenz Lüftungsanlage</b>	<b>484.330</b>	<b>0</b>	<b>-484.330</b>
<i>Filterwechsel Kosten jährlich</i>	10.948	0	-10.948
Erhöhung Geschoss 40 cm (Büro 20 cm)	308.794	0	-308.794
Kellerraum Lüftungsanlage	78.240	0	-78.240
<b>Summe Kosten Lüftungsanlage + Geb.</b>	<b>871.364</b>		<b>-871.364</b>
<b>Planungskosten KG 700</b>			
<b>Gebäudehülle</b>		<b>16.354</b>	<b>0</b>
<b>Keller+Geschosshöhe</b>	<b>46.444</b>	<b>0</b>	<b>-46.444</b>
<i>Alternativ Planung mit WDVS</i>		12.206	
<b>Passivhausnachweis</b>		<b>12.495</b>	<b>0</b>
<b>TGA-Lüftungsanlage</b>	<b>72.650</b>	<b>0</b>	<b>-72.650</b>
<b>Luft-Wärmepumpe</b>		<b>-714</b>	<b>0</b>

Tabelle: Änderung Energie- und Investitionskosten [A]

# Wirtschaftlichkeitsberechnung

- Energiepreise u. kalkulatorischer Zinssatz Stadt GT
- Betrachtungszeitraum: 50 Jahre
- Energiepreisssteigerung
  - Strom/Pellet: 4 % und 5 %
  - Erdgas: 5 % und 6 %
- VDI 2067
  - Annuitätenmethode

**Ergebnis: Passivhaushülle gegenüber EG-40-Hülle  
und Lüftungsanlage nicht wirtschaftlich**

# Treibhausgasemissionen

Bilanzierungsregeln Qualitätssiegel Nachhaltiges Gebäude

Variante	A-2	A-8	A-2	A-8
	Schule PH-15	Schule ohne Lüft. EG-40	Schule PH-15	Schule ohne Lüft. EG-40
<b>CO2-Emissionen</b>	<b>Differenz</b>		<b>Bilanz</b>	
<b>Energiebedarf</b>	t/a	t/a	t/a	t/a
Strom Heizung Luft-WP	-1,27	6,19	-0,53	1,09
Strom Heizung Erd-WP	-0,97	4,75	-0,24	-0,36
Pellet	-0,20	0,95	0,54	-4,15
Erdgas (Bestandsanlage)	-2,05	10,02	-1,32	4,91
Pellet (Bestandsanlage)	-0,76	3,71	-0,03	-1,39
<b>Strom Lüftungsanlage</b>	-	-4,09		
<b>Gebäudehülle</b>	0,73			
<b>Lüftungsanl.</b>		-1,01		

Tabelle: Treibhausgasemissionen [A]



## Treibhausgasemissionen

- EG-40 zu PH 15 (Passivhaus) THG
  - Luft-WP 0,5 t/a Einsparung
  - Erdgas-Kessel 1,3 t/a Einsparung
  - Pellet (monovalent) 0,5 t/a Zunahme
- Wegfall Lüftungsanlage EG-40
  - Luft-WP 1,1 t/a Zunahme
  - Erdgas-Kessel 4,9 t/a Zunahme
  - Pellet (monovalent) 4,2 t/a Einsparung

# CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten

- Berechnung:
  - Investitionskosten der Maßnahme
  - Lebensdauer nach VDI 2067
  - Betrachtungszeitraum 50 Jahre
  - Energiekosten inflationsbereinigt: 2 % u. 3 % (Erdgas 3% u. 4%)
  - Keine Kapitalkosten

Studie im Auftrag BUA: Kosten durch Klimaschäden 809 €/t

# CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten Passivhaus

Passivhaus A-2	CO <sub>2</sub> -Differenz t/a	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten €/t*a		CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten €/t*a	
		Vorhangfassade		WDVS	
<b>reale Energiepreissteigerung</b>		<b>2%</b>	<b>3%</b>	<b>2%</b>	<b>3%</b>
Luftwärmepumpe	- 0,53	3.721	2.817	2.608	1.702
Erdwärmepumpe	- 0,24	8.542	7.008	6.083	4.550
Pelletkessel	+ 0,54	-	-	-	-
<b>reale Energiepreissteigerung</b>		<b>3%</b>	<b>4%</b>	<b>3%</b>	<b>4%</b>
Erdgas-Bestandsanlage	- 1,32	2.071	1.736	1.354	1.019

Tabelle: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten Passivhaus [A2]

- Erdgas/WDVS/Energiepreisst. 4%: 1.019 €/t\*a

# CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten Lüftungsanlage

Einbau Lüftungsanlage (Basis A-8, Vergleich A-1)	CO <sub>2</sub> -Differenz t/a	CO <sub>2</sub> -Vermeidungskosten €/(t*a)	
<b>reale Energiepreissteigerung</b>		<b>2%</b>	<b>3%</b>
Luftwärmepumpe	- 1,09	41.157	40.430
Erdwärmepumpe	+ 0,35	-	-
Pelletkessel	+ 4,15	-	-
<b>reale Energiepreissteigerung</b>		<b>3%</b>	<b>4%</b>
Erdgas-Bestandsanlage	- 4,92	9.616	9.622

Tabelle: CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten Einbau Lüftungsanlage [A1 zu A-8]

- CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten Luft-WP: 40.430 €/t\*a
- CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten Erdgashzg.: 9.622 €/t\*a

# Empfehlungen Energieleitlinie

## Anschluss des Gebäudes an Erdgas-Bestandsheizung

- Passivhaus
- Grenze für sehr hohe Dämmstoffschichtdicken

## Übrigen Neubauten:

- Effizienzgebäude-40
- Erhöhte Anforderungen an Dämmqualität gegenüber EG-40
- Lüftungsanlage nicht aus energetischen Gründen verpflichtend - Begründung hohe CO<sub>2</sub>-Vermeidungskosten

**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit**

## Weitere Tabellen

Variante	A-1	A-2	A-8
	Schule EG-40	Schule PH-15	Schule ohne Lüft. EG-40
	Absolut	Differenz	Differenz
<b>Energiekosten</b>	brutto €/a	brutto €/a	brutto €/a
<b>Annuität der Differenzkosten</b>			
Energiepreissteigerung		4 % (5%)	4 % (5%)
Heizsystem Luftwärmepumpe			
<b>Gesamtannuität</b>		<b>-5.028 €</b>	<b>78.330 €</b>
Heizsystem Erdwärmepumpe			
<b>Gesamtannuität</b>		<b>-5.059 €</b>	<b>80.657 €</b>
Heizsystem Pelletkessel			
<b>Gesamtannuität</b>		<b>-4.372 €</b>	<b>78.516 €</b>
Heizsystem Erdgaskessel (Bestand)			
<b>Gesamtannuität</b>		<b>-6.263 €</b>	<b>81.826 €</b>
Heizsystem Pelletkessel (Bestand)			
<b>Gesamtannuität</b>		<b>-5.953 €</b>	<b>78.859 €</b>

Tabelle: Annuitäten [A]

## Weitere Tabellen

Bauteil	Min. U-Wert W/m <sup>2</sup> K	entspricht ca. folgenden Dämmdicken
Flachdach und Kragdecken	0,11	≤ 300 mm WLS 035 ( i.M.)
Schrägdacher	0,14	≤ 300 mm WLS 035 (Zwischen u. Untersparrendämmung)
Außenwand	0,14	≤ 240 mm WLS 035 WDVS <sup>1</sup>
Kellerdecke	0,15	≤ 220 mm WLS 035 (Summe ober- und unterhalb Betondecke)
Bodenplatte	0,15	≤ 100 mm WLS 035 u. Estrich + 160 mm Perimeterter WLS 044
Wände gegen unbeheizt	0,20	≤ 160 mm WLS 035
Wände gegen Erdreich	0,20	≤ 200 mm WLS 044
Fensterglas	0,50	
Fensterrahmen	1,00	
Pfosten-Riegel-Konstruktion	1,20	

Tabelle: U-Werte nicht zu unterschreiten Passivhaus



## Weitere Tabellen

Bauteil	Max. U-Wert W/m <sup>2</sup> K	entspricht ca. folgenden Dämmdicken
Flachdach und Kragdecken	0,14	≥ 240 mm WLS 035 ( i.M.)
Schrägdächer	0,16	≥ 260 mm WLS 035 (Zwischen u. Untersparrendämmung)
Außenwand	0,17	≥ 200 mm WLS 035 WDVS <sup>1</sup>
Kellerdecke	0,20	≥ 160 mm WLS 035 (Summe ober- und unterhalb Betondecke)
Bodenplatte	0,20	≥ 80 mm WLS 035 u. Estrich + 100 mm Perimeter WLS 044
Wände gegen unbeheizt	0,23	≥ 140 mm WLS 035
Wände gegen Erdreich	0,23	≥ 180 mm WLS 044
Fensterglas	0,60	
Fensterrahmen	1,10	
Pfosten-Riegel-Konstruktion	1,30	

Tabelle: U-Werte nicht zu überschreiten Effizienzgebäude-40