

Villa Castelli: Sanierung mit Innendämmung auf nZEB-Standard. Nutzerüberlegungen zur Nachhaltigkeit

Dr.-Ing. Alexandra Troi¹, dott.ing. Oscar Stuffer², arch. Valentina Cari³

1 Eurac Research, Drususallee 1, I-39100 Bozen

2 Solarraum, Johann-Wolfgang-von-Goethe-Straße 2, I-39100 Bozen

3 Architetto Valentina Cari, Piazza Tommaso Grossi, I-23822 Bellano

Die am Comer See gelegene Villa Castelli ist seit ungefähr 140 Jahren im Besitz der Bauherrenfamilie. Um das Gebäude besser nutzen zu können, sollte es grundlegend energetisch saniert werden, ohne seinen historischen Charme zu verlieren. Entscheidend für den Bauherren war dabei neben der zu erreichenden Wohnqualität auch die langfristige Nachhaltigkeit der Investition. Umgesetzt wurde eine Sanierung auf praktisch nZEB-Niveau, dies im Einklang mit der Denkmalpflege. Der Beitrag vergleicht verschiedene Alternativszenarien anhand der erreichten Behaglichkeit und Rentabilität (kumulierter Barwert von Investition und Energiekosten): alle drei betrachteten Sanierungsvarianten kosten über 30 Jahre betrachtet weniger als die Hälfte wenn nicht sogar nur ein Drittel im Vergleich zum „nichts tun“. Dabei ist die nZEB-Variante immer vorteilhaft im Vergleich zu einer Minimalsanierung (ohne Recht auf Steuerbonus) und vergleichbar mit einer Basis-Sanierung (mit Steuerbonus), besticht aber vor allem durch die Unabhängigkeit von zukünftigen Zins- und Energiepreisentwicklungen.

Schlagwörter: Historische Gebäude, energetische Sanierung, NZEB, Behaglichkeit, Nachhaltigkeit, Kostenvergleich

1 Einführung

Die Villa Castelli (Bild 1-1) liegt in Bellano, am Ufer des Comer Sees, eingebettet in einen alten Park, der vom Gebäude direkt zu Seepromenade führt. Als Teil des Uferpanoramas unterliegt es besonderem Schutz, außerdem steht das Gebäude an sich unter Denkmalschutz, insbesondere seine dekorierte Fassade. Die Villa stammt aus der Mitte der 19. Jahrhunderts, und dokumentiert über die einzelnen Bau- und Erweiterungsphasen die typischen Bautechniken der jeweiligen Zeit von der Steinmauer über Ziegelmauerwerk bis zu den letzten Ergänzungen von 1939 in Stahlbeton. Die Aufteilung und Ausstattung im Inneren – zum Beispiel die Türeinfassungen und Fenstermöbel – sind charakteristisch für herrschaftliche Gebäude der Epoche und z.T. auch noch sehr gut erhalten.

Die Villa ist seit 140 Jahren im Besitz der Bauherrenfamilie, und wurde von dieser als Sommersitz genutzt. Mit einer einzigen Ausnahme: Während des zweiten Weltkriegs lebte die Familie ganzjährig dort, aus dieser Zeit stammen auch die als großes Esszimmer genutzte Veranda und die mit Heizöl betriebene Zentralheizung – deren Betrieb im Winter allerdings enorme Ausgaben mit sich zog.



Bild 1-1 Villa Castelli vor der Sanierung.

Ein Absinken des Untergrundes hatte zu Rissen in der Fassade geführt, die statische Konsolidierungsmaßnahmen nötig machten. Die Putze an der Fassade waren insgesamt gut erhalten, die Dekorationen zeigten aber Abmehlung und zum Teil auch größere Fehlstellen sowie in einzelnen Bereichen Feuchteschäden.



Bild 1-2 Schäden an der – verhältnismäßig gut erhaltenen – Fassade durch Risse (links), Abmehlungen (mitte) und Feuchteschäden (rechts) im Sockelbereich.

2 Bauherrenziele

Das Ziel des Bauherren war es, die Villa ganzjährig zu nutzen – Rahmenbedingung, dass die Investition nachhaltig, ökologisch und ökonomisch ist und der Charme des historischen Gebäudes erhalten bleibt.

Dabei spielte für ihn neben der zu erreichenden Behaglichkeit insbesondere die Leistbarkeit des Wohnens auch für seine Kinder eine wichtige Rolle: Keinesfalls sollten sie die Villa verkaufen müssen, weil sie es sich nicht leisten könnten, sie zu bewohnen und erhalten. Optimierungskriterium war also nicht die Minimierung der Investition sondern die langfristige Nachhaltigkeit für deren Quantifizierung im Folgenden der Barwert der kumulierten Investitions- und Betriebskosten herangezogen werden wird.

Die Idee zur nZEB Sanierung hat ihn deshalb durchaus fasziniert: enormen Behaglichkeitsgewinn bei gleichzeitig quasi auf null sinkenden Betriebskosten, durch Investition in langlebige und ökologisch sinnvolle Sanierungsmaßnahmen. Klar war aber auch von Anfang an der Budgetrahmen, auf dessen Einhaltung er ein waches Auge hatte.

3 Sanierungskonzept

3.1 Instandsetzung

Für eine detaillierte Beschreibung der Bestandsaufnahme und der umgesetzten Maßnahmen sei auf **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** verwiesen, hier werden die wesentlichen Elemente kurz beschrieben und zwei Vergleichsvarianten eingeführt.

Um das Gebäude statisch zu konsolidieren wurden in mehreren Bereichen die bestehenden Decken entfernt und durch Holzverbunddecken mit Betonguss ersetzt, die die Lasten besser verteilen und das Gebäude an sich aussteifen. Die Fassade wurde nach Vorgaben des Denkmalmates restauriert (gereinigt, konsolidiert, Fehlstellen ergänzt). Besonders auf das Verschließen jeglicher Fugen und Risse wurde geachtet – nicht zuletzt um den Schlagregenschutz im Hinblick auf die Innendämmung zu verbessern.



Bild 3-1 Konservatorische Restaurierung der Fassade.

Außerdem wurden sämtliche Maßnahmen im Inneren des Gebäudes so angelegt, dass die drei Geschosse zwar im Moment als eine Einheit genutzt, aber in Zukunft ohne Aufwand in drei Wohneinheiten getrennt werden können.

3.2 Energetische Sanierung

Der **Bestand** war charakterisiert durch etwa zu gleichen Teilen 50 cm dicke Steinwände und 40 cm dickes Ziegelmauerwerk, sowie in den neusten Ergänzungen 40 cm dicke Betonwände. Das Dach war in ortsüblicher Holzkonstruktion ausgeführt. Die Fenster waren einfach verglast mit relativ breiter Rahmenkonstruktion.

Für eine **Minimal-Sanierung** wurde angenommen, dass die Wände mit 6 cm Perlite gedämmt werden um die Temperatur in einen „schimmelsicheren“ Bereich anzuheben, die Dachschräge zwischen den Sparren mit Zellulose ausgeblasen wird, neue zweifach verglaste Holzfenster eingebaut werden, die erdanliegenden Fußböden mit 10 cm XPS isoliert werden, und die Decke zur Terrasse zwischen den Trägern mit Steinwolle ausgeämmt wird. Lüftung mit Wärmerückgewinnung wurde in dieser Variante keine vorgehen.

Als Variante für eine **Basis-Sanierung** wurden die obigen Maßnahmen so angepasst, dass sie die Mindestkriterien für den Erhalt des Steuerbonus erfüllen (65% der Kosten für die energetische Sanierung können über 10 Jahre von der Steuer abgezogen werden): die Wände würden mit 12 cm Perlite auf einen U-Wert von $0,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ gebracht, die Dachschräge mit zusätzlichen 2 cm Holzfaser auf einen U-Wert von $0,22 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, die Terrasse mit zusätzlichen 4 cm XPS auf einen U-Wert von $0,29 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ und die Fenster mit besseren zweifach verglasten Holzfenstern ausgetauscht.

Für die **nZEB-Sanierung** hingegen wurde der U-Wert der Wände mit 20 cm Perlite-Innendämmung auf 0,18 bis $0,19 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ gesenkt, der U-Wert des Daches durch 12 cm Aufsparrendämmung zusätzlich zum Ausblasen zwischen den Sparren mit Zelluloseflocken auf $0,13 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. In Bereichen, wo der Platz besonders knapp war, wurde anstelle von 20 cm Perlite auf 8 cm Aerogeldämmung zurückgegriffen. Die Fenster wurden mit 3-fach-Verglasung ausgeführt, die Rahmenbreite verringert um die solaren Gewinne zu verbessern. Durch diese Maßnahmen sinken die Transmissionswärmeverluste von $225 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ auf $33 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Die kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung mit Nutzungsgrad von 87 % reduziert die Lüftungsverluste von $32,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ auf $8,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Mit zusätzlicher **nZEB-Technik** – der Geothermieanlage, Wärmepumpe und PV-Anlage (Details in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) – wird die Energieautarkie auf Jahresbasis so gut wie erreicht: Zur Deckung des Wärmebedarfs von 14.500 kWh/a für Heizen (55 %) und Warmwasser (45 %) benötigt die Wärmepumpe mit Tiefensonnen 4.100 kWh/a an elektrischer Energie, dazu kommen 7.150 kWh/a für Hilfsenergie. Dieser Bedarf von $11.250 \text{ kWh}_{\text{el}}$ wird von den $10.400 \text{ kWh}_{\text{el}}$, die die PV-Anlage liefert, fast vollständig gedeckt.

Die Energiebilanzen der verschiedenen Varianten (Bild 3-2) wurden mit dem ProKlima-Haus Bewertungsprogramm errechnet (www.klimhaus.it). Der Verbrauch im Bestand

konnte durch die Betriebsdaten aus dem Winter 1994-95 bestätigt werden, jene der umgesetzten Variante – nZEB Sanierung mit nZEB Technik – mit dem Verbrauch aus den ersten beiden Betriebsjahren.

Tabelle 3-1 Kennwerte des Bestandes und der drei Sanierungsvarianten.

	Bestand	Minimal-Sanierung	Basis-Sanierung	nZEB-Sanierung
Wände	Stein Ziegel Beton	6 cm Perlite	12 cm Perlite 8 cm Perlite	20 cm Perlite 8 cm Aerogel
U-Werte	1,3 1,4 2,5	0,47 bzw . 0,56	0,29 bzw . 0,45	0,18 – 0,19
Dach	ungedämmt	18 cm Zellulose	2 cm Holzfaser 18 cm Zellulose	14 cm Holzfaser 18 cm Zellulose
U-Werte	2,2	0,25	0,22	0,13
Decke zu Terrasse	Betondecke	Steinwolle zw . Stahlträgern	4 cm XPS, Steinwolle zw . Stahlträgern	4 cm XPS, 22 cm Stein- wolle
U-Werte	4,3	0,73	0,29	0,19
Erdanliegender Fußboden		2 cm EPS 10 cm XPS	2 cm EPS 10 cm XPS	2 cm EPS 20 cm XPS
U-Werte	1,5	0,25	0,25	0,15
Decke zu unbeh. Keller		3 cm EPS 10 cm XPS	3 cm EPS 10 cm XPS	3 cm EPS 10 cm XPS
U-Werte	2,3	0,23	0,23	0,23
Fenster	1-fach Verglasung	2-fach Verglasung	2-fach Verglasung	3-fach Verglasung
g-Wert	0,8	0,6	0,6	0,58
U _{Rahmen}	2,35	1,6	1,6	1,11
U _{Glas}	5,6	1,6	1,1	0,7
Rahmenbreite	12 12 12 12	11 11 11 11	11 11 11 11	7,5 11 11 5,6
Lüftung	Undichtig- keiten und manuell	manuell	manuell	Lüftungsan- lage mit WRG
Heizbedarf	230 kWh/(m²a)	72 kWh/(m²a)	56 kWh/(m²a)	15 kWh/(m²a)
				nZEB- Technik
				Geothermie Wärme- pumpe PV-Anlage

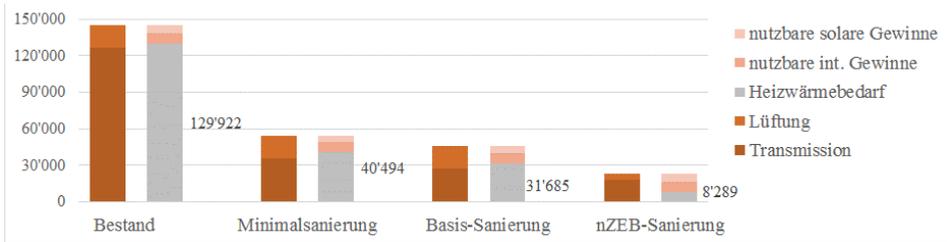


Bild 3-2 Energiebilanzen im Vergleich: Bestand – Minimalisierung – Basis-Sanierung – nZEB-Sanierung.

Bezeichnend für die Planungsphase war eine intensive interdisziplinäre Zusammenarbeit, insgesamt wurden mehr als 30 Details ausgearbeitet und thermisch zweidimensional nachgerechnet **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Neben der Verifizierung des hygrothermischen Verhaltens der Wandaufbauten mit Innendämmung mit WUFI, wurden zwei potentiell kritische Stellen auch zweidimensional mit DELPHIN nachgerechnet **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

4 Behaglichkeit

Tabelle 4-1 Behaglichkeit im Bestand und den beiden Sanierungsvarianten.

	Bestand	Minimal-Sanierung	Basis-Sanierung	nZEB-Sanierung
Zugluft	☹	☺	☺	☺
Oberflächentemperatur*				
Wand	15,7	18,5	19,1	19,4
Decke Esszimmer	7	17,6	19,1	19,4
Fenster	2	14,8	16,4	17,7
Luftqualität	☺	☹	☹	☺

* berechnet aus U-Wert für $T_i = 20\text{ °C}$ und $T_a = -5\text{ °C}$ ohne Berücksichtigung des Strahlungsaustauschs.

In beiden Varianten für die Sanierung wird die Behaglichkeit im Vergleich zur Ausgangssituation verbessert: keine Zugluft mehr durch undichte Fenster und Luft, die an den einfach verglasten und entsprechend kalten Fenstern abkühlt und unten in den Raum strömt. Auch die Oberflächentemperaturen steigen in beiden Fällen klar über schimmelgefährdete und unbehagliche Werte, bei der nZEB-Sanierung allerdings noch einmal stärker – besonders im Bereich der Fenster, die dank 3-fach-Verglasung so warm sind, dass

man in ihrer Nähe behaglich sitzen kann (PMV 0,5 m vom Fenster entfernt zwischen ±0,5).

Die Luftqualität hängt bei Minimal- und Basis-Sanierung stark vom Lüftungsverhalten der Nutzer ab: Während im Bestand allein durch die Undichtigkeiten schon ein beträchtlicher Luftaustausch garantiert ist, hängt dieser mit den neuen Fenstern davon ab, wie regelmäßig die Bewohner lüften – insbesondere nachts sinkt die Luftqualität deshalb ganz beträchtlich. Bei der nZEB-Sanierung garantiert die kontrollierte Lüftung konstant gute Luftqualität.

5 Kosten

5.1 Gesamtinvestition

Insgesamt beliefen sich die Kosten für die (tatsächliche ausgeführte nZEB-) Sanierung der dreigeschossigen Villa auf 1,5 Millionen € - das entspricht mit etwa 2.200 €/m² Bruttogeschoßfläche etwa den Neubaukosten für ein Gebäude im selben Qualitätsstandard in dieser Gegend. Die Bauherren erhalten allerdings einen deutlichen Mehrwert im Vergleich zum Neubau: eine Villa mit modernem Wohnkomfort und historischem Charme im Park am See.

Einen beträchtlichen Anteil der Kosten machen die Maurerarbeiten und der Innenausbau aus – darunter fallen einerseits die statische Konsolidierung und andererseits interne Arbeiten zur Veränderung der Raumaufteilung nach Wünschen der Bauherren. Ebenfalls ordentlich zu Buche schlägt die Anlagentechnik, da die gesamte Wärmeerzeugung und -verteilung sowie die Sanitärtechnik erneuert wurden.



Bild 5-1 Aufteilung der Gesamtkosten der tatsächlich umgesetzten nZEB-Sanierung (links) und Anteil der energetischen Sanierung (rechts).

Die Kosten für die energetische Sanierung machen mit 550 €/m²BGF etwa 25 % der Gesamtkosten aus. Sie betreffen einen Teil der Planungskosten, alle Wärmedämmmaßnahmen (inkl. der Arbeit), die neuen Fenster und die Energieeffizienzteile der Anlagentechnik (Lüftungsanlage, Geothermieanlage, Wärmepumpe und PV-Anlage).

5.2 Kosten der energetischen Sanierung – Varianten im Vergleich

5.2.1 Vorgehen

Für den Kostenvergleich der energetischen Sanierung wurden für die in Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** vorgestellten Varianten die Investitions- sowie die jährlichen Energiekosten berechnet. Die Kosten für Gas betragen in Norditalien derzeit 8 ¢cent/kWh, jene für Strom 25 ¢cent/kWh [3]. Die dem Vergleich zugrunde liegenden Einheitskosten sind in Tabelle 5-1 hinterlegt.

Tabelle 5-1 Kosten der Sanierungsvarianten.

	m ²	Minimal-Sanierung	Basis-Sanierung	nZEB-Sanierung
Für den Vergleich nach Heizenergiebedarf				
Wände	400	114 €/m ²	141 €/m ²	176 €/m ²
Wände (wenig Platz)	36	114 €/m ²	123 €/m ²	365 €/m ²
Fenster	91	800 €/m ²	890 €/m ²	995 €/m ²
„Prototyppreis“-bereinigt		470 €/m ²	520 €/m ²	570 €/m ²
Dach	270	26 €/m ²	46 €/m ²	66 €/m ²
Decke zu Terrasse	83	30 €/m ²	40 €/m ²	55 €/m ²
Erd. Fußboden	242	35 €/m ²	35 €/m ²	55 €/m ²
Decke zu Keller	65	35 €/m ²	35 €/m ²	35 €/m ²
Lüftungsanlage				30.000 €
Für den Vergleich nach Energiebedarf incl. Warmwasser und Anlagentechnik				
Geothermie				24.700 €
Wärmepumpe				24.750 €
PV-Anlage				48.000 €
„Prototyppreis“-bereinigt				14.000 €
WW-Produktion		480 €/Jahr	480 €/Jahr	In Gesamtbilanz mit Wärmepumpe und PV-Anlage mitberechnet
Beleuchtung		850 €/Jahr	850 €/Jahr	

Da die Option „nichts tun“ (Bestand) eine rein rechnerische ist, da die Bauherren auch aus Behaglichkeitsgründen nicht ins unsanierte Gebäude gezogen wären, wurde noch die Alternative „Miete“ eingeführt: die Villa würde weiterhin nicht geheizt und als Sommerhaus verwendet, zusätzlich mieten die Bauherren eine Wohnung in der Umgebung. Angenommen wurden Mietkosten von 1.800 €/Monat, welche die Bauherrenfamilie für eine 150-200 m² große Wohnung in Como bezahlen würde (8 bis 12 €/m²Monat [4] – die Preise in Mailand wären noch 50 % höher), also für eine wesentlich kleinere Fläche als jene die ihr in der Villa zur Verfügung steht. Die Annahme ist also deutlich konservativ.

Der kumulierte Barwert BW_{kum} für den Vergleich der langfristigen Rentabilität errechnet sich den Investitionskosten (K_{inv}) zuzüglich der Energiekosten (K_{en}) über 30 Jahre – und zwar deren jeweilige Barwert zum Zeitpunkt der Investition unter Annahme von 2 % Inflation und 4 % Marktzinsen – also 1,96 % „real interest“ (R_R) [5] sowie mit der Inflation aber nicht stärker steigenden Energiepreisen ($R_e = 2\%$). Der Steuerbonus auf die 10 Jahre wurde mit denselben Zins- und Inflationswerten auf den Barwert im Investitionsjahr zurückgerechnet, dasselbe gilt für die Mietkosten.

$$BW_{kum} = K_{inv} + \sum_{n=1}^{30} K_{en} \cdot \frac{(1 + R_e)^n}{(1 + R_R)^n} \tag{1}$$

Mit:

- BW_{kum} : kumulierter Barwert[€]
- K_{inv} : Investitionskosten [€]
- R_R : Realkostensatz [%]
- R_e : Energiepreissteigerung [%]

5.2.2 Betrachtung über 30 Jahre – Investition und Heizenergiebedarf

Tabelle 5-2 Investition und jährliche Kosten sowie kumulierter Barwert der Vergleichsvarianten.

	Bestand	Miete	Minimal-Sanie-rung	Basis-Sanie-rung	nZEB-Sanie-rung
Für den Vergleich nach Heizenergiebedarf					
Investition		0	143.000	176.000	242.000
<i>abz. Steuerbonus</i>	idem	idem	idem	88.000	145.000
Jährliche Heizkosten	14.200	800	3.780	2.960	775
Jährliche Mietkosten		21.600			
Kumulierter Barwert	428.000	510.000	257.000	266.000	266.000

abz. Steuerbonus	idem	idem	idem	177.000	168.000
------------------	------	------	------	---------	---------

Ohne Steuerbonus würden sowohl Basis- als auch nZEB-Sanierung mit 266.000 € auf praktisch dieselben kumulierten Kosten kommen, die Minimalsanierung läge mit 257.000 € knapp darunter. Alle drei Varianten erlauben es also, über die 30 Jahre im Vergleich zum „nichts tun“, das auf kumulierte Kosten von 428.000 € hinausläuft, mehr als 160.000 € zu sparen. Die – eigentlich realistischere – Alternative „Miete“ (und Nutzung der Villa als Sommerhaus) beläuft sich sogar auf über 510.000 € - die Bauherren gäben also über die Jahre kumuliert etwa die Hälfte dessen aus, was sie ohne Sanierung ausgeben hätten müssen.

Mit Steuerbonus fällt der Vergleich noch rentabler aus: Basis- und nZEB-Sanierung liegen bei etwa einem Drittel der Mietkosten (und bei 40 % der Bestandsvariante) und die nZEB-Sanierung liegt mit 168.000 € sogar noch tiefer als die Basis-Sanierung mit 177.000 €. In Bild 5-2 bis Bild 5-4 sind auch die Payback-Zeiten angeführt. Die Grafiken zeigen klar, dass diese als alleiniges Kriterium nicht zur langfristig besten Lösung führen muss.

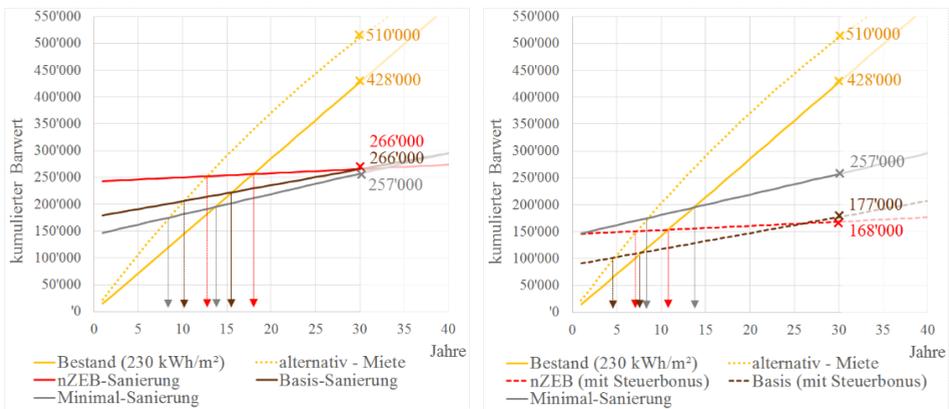


Bild 5-2 kumulierter Barwert über der Zeit für den Vergleich nach Heizbedarf ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung des Steuerbonus.

5.2.3 Betrachtung über 30 Jahre – Investition und Energiekosten

Nimmt man nun die spezifische nZEB-Technik mit in die Rechnung auf sowie die Rest-Stromkosten für die Anlagentechnik incl. Warmwasserbereitung – die ja im nZEB-Konzept mit abgedeckt werden – so steigen die kumulierten Kosten noch einmal deutlich an: auf 346.000 €, bzw. 245.000 € mit Steuerbonus. Aber auch in diesem Fall ist die Einsparung mit 200.000 € im Vergleich zur Bestandsvariante und 282.000 € im Vergleich zur

Miet-Variante groß. Das heißt also der Bauherr hat immer noch nur etwa die Hälfte der kumulierten Kosten – für enorm gestiegenen Behaglichkeit und eine ökologisch nachhaltige Lösung.

Die Minimal- und Basis-Sanierungen „mit Technik“ berücksichtigt keine zusätzlichen Investitionskosten (dass die Heizungstechnik erneuert werden musste, wurde nicht als energetische Sanierung sondern als genereller Instandhaltungsbedarf gewertet), sehr wohl aber die Kosten für die Warmwasserbereitung. Das resultiert in 271.000 € für die Minimal-sanierung und 280.000 € bzw. 191.000 € (mit Steuerbonus) für die Basis-Sanierung.

Tabelle 5-3 Investition und jährliche Kosten sowie kumulierter Barwert der Vergleichsvarianten.

	Bestand	Miete	Minimal-Sanie-rung	Basis-Sanie-rung	nZEB-Sanie-rung
Für den Vergleich nach Energiebedarf incl. Warmwasser und Anlagentechnik					
Investition		0	143.000	176.000	340.000
<i>abz. Steuerbonus</i>	idem	idem	idem	88.000	239.000
Jährliche Heizkosten	14.790	1.335	4.260	3.435	205
Jährliche Mietkosten		21.600			
Kumulierter Barwert	446.000	527.000	271.000	280.000	346.000
<i>abz. Steuerbonus</i>	idem	idem	idem	191.000	245.000

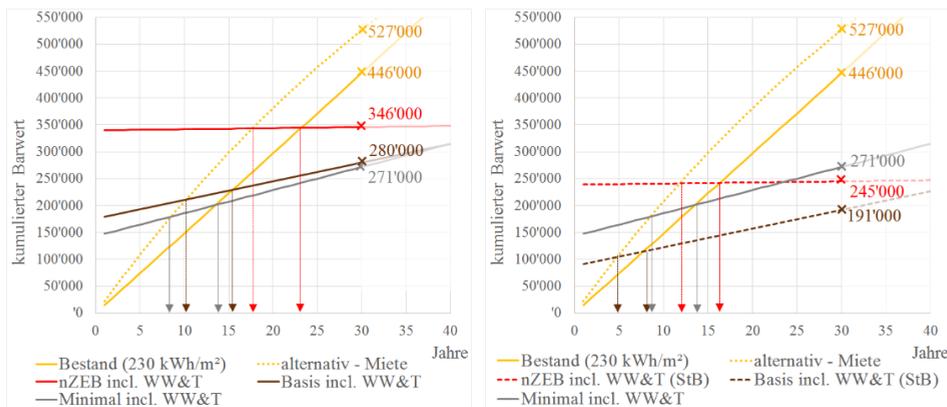


Bild 5-3 kumulierter Barwert über der Zeit für den Vergleich nach Energiebedarf (incl. Warmwasser und Anlagentechnik) ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung des Steuerbonus.

5.2.4 Betrachtung über 30 Jahre – „Prototyppreis“-bereinigt

Tabelle 5-4 Investition und jährliche Kosten sowie kumulierter Barwert der Vergleichsvarianten.

	Minimal-Sanierung	Incl. WW, T, B	Basis-Sanierung	Incl. WW, T, B	nZEB-Sanierung	Incl. WW, T, B
Investition bereinigt	113.000	113.000	142.000	142.000	204.000	267.000
abz. Steuerbonus	idem	idem	69.000	69.000	113.000	176.000
Jährliche Heizkosten	3.780	4.260	2.960	3.435	775	205
Kumulierter Barwert	227.000	242.000				
abz. Steuerbonus	idem	idem	158.000	172.000	136.000	182.000

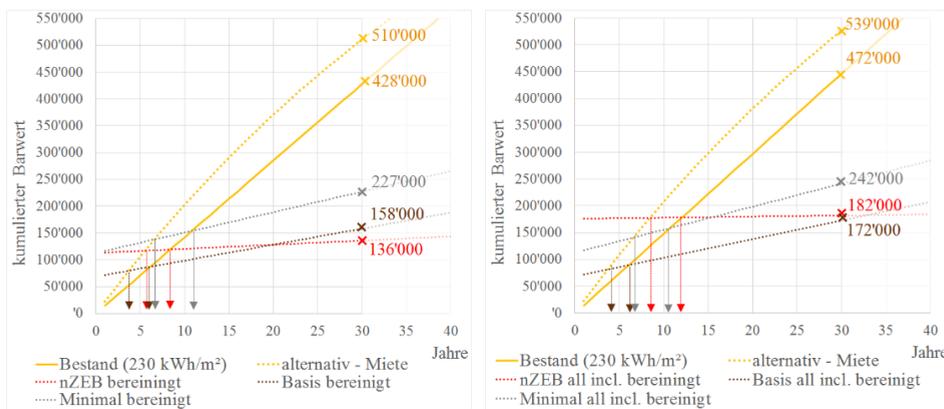


Bild 5-4 kumulierter Barwert über der Zeit für den Vergleich nach Energiebedarf (incl. Warmwasser und Anlagentechnik) ohne (links) und mit (rechts) Berücksichtigung des Steuerbonus.

Nimmt man nun aber in Betracht, dass der Bauherr bereit war (a) für die – wunderschön integrierte, vom Segelboot-Ausstatter entwickelte speziell dünne – PV-Anlage mit 48.000 € klar einen Prototyp-Preis zu bezahlen, während den 10 kW_p ein Marktwert von 14.000 € entsprechen würde und (b) auch den Mehraufwand der lokalen Fensterbaufirma für die denkmalgerechten sehr energieeffizienten Fenster zu bezahlen (bei entsprechender Erfahrung und Ausrüstung wäre der halbe Preis machbar), und zieht die entsprechenden Zusatzkosten ab, so ergeben sich für die „Prototyppreis“-bereinigte nZEB-Variante bei

Berücksichtigung des Steuerbonus Kosten von 136.000 €, bzw. 182.000 € incl. nZEB Technik.

Die „Prototyppreis“-bereinigte Basis-Sanierung (in diesem Fall ändern sich nur die Kosten der Fenster) steht mit 158.000 € bei der Variante ohne „Technik“ nun sogar klar schlechter da als die nZEB-Sanierung. Incl. Technik liegt sie mit 172.000 € knapp besser als die nZEB-Variante, aber durchaus in derselben Größenordnung.

5.3 Einfluss von Energiepreis- und Zinsentwicklung

Für die Untersuchung des Einflusses von Energiepreis- und Zinsentwicklung wurden mehrere Szenarien durchgerechnet, in denen (i) der Energiepreis entweder mit der Inflation steigt ($E=$) oder um 2 Prozentpunkte stärker steigt ($E>$), und (ii) die Marktzinsen (und damit gekoppelt die Inflation) geringer ($I\downarrow$) oder größer ($I\uparrow$) als in der Basisvariante sind:

- BW – 2% Energiekostenanstieg = Inflation, 4% Marktzinsen
- $E>I=$ – 4% Energiekostenanstieg, 2% Inflation, 4% Marktzinsen
- $E=I\downarrow$ – 0.5% Energiekostenanstieg = Inflation, 2% Marktzinsen,
- $E>I\downarrow$ – 2% Energiekostenanstieg, 0.5% Inflation, 2% Marktzinsen
- $E=I\uparrow$ – 3% Energiekostenanstieg = Inflation, 6% Marktzinsen
- $E>I\uparrow$ – 5% Energiekostenanstieg, 3% Inflation, 6% Marktzinsen,

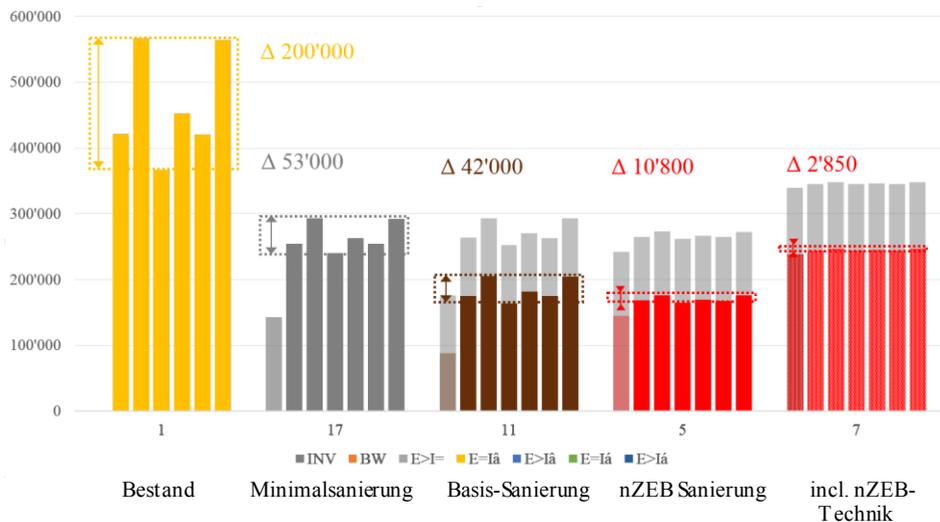


Bild 5-5 Vergleich des Einflusses von unterschiedlicher Energiepreis- und Zinsentwicklung auf den Barwert der kumulierten Kosten über 30 Jahre.

Der Barwert der kumulierten Kosten steigt erwartungsgemäß mit steigendem Energiepreis (Szenarien E₂ in Bild 5-5) deutlich an – bei den Sanierungs-Varianten mit höheren Energiekosten wirkt sich das entsprechend stärker aus, sodass (bei einem Energiepreisanstieg von 2 % über der Inflation) die Kosten ohne Sanierung um etwa 125.000 € steigen, bei Minimalsanierung um 33.000 €, bei Basis-Sanierung um 26.000 €, bei mit nZEB-Sanierung um knappe 7.000 € und beim „Gesamtpaket“ mit nZEB-Technik sogar nur um 2.000 €. In Bild 5-5 ist außerdem die gesamte Schwankungsbreite der untersuchten Szenarien dargestellt – die von 200.000 € für's „nichst-tun“ bis 2.000,-€ für das die nZEB Gesamtpaket reicht.

Mit der nZEB-Sanierung entscheidet der Bauherr heute, und er weiß was auf ihn in der Zukunft zukommt – Inflation und Zinsentwicklung beeinflussen die Rentabilität nur in geringem Ausmaß und er macht sich praktisch unabhängig von der Energiepreisentwicklung.

6 Bauherrenziele erreicht?

Der Bauherr lebt nun seit mehr als 2 Jahren in der sanierten Villa und ist mit dem Ergebnis rundum zufrieden, was er in einem Schreiben an den Architekten explizit beschreibt: Die erreichte Behaglichkeit sei „superconfortevole“ – insbesondere streicht er hier auch die immer frische Luft dank kontrollierter Lüftung heraus – und das bei einem Energieverbrauch der eher noch geringer als berechnet ist.

Die hier vorgestellten Werte zeigen zum ersten ganz klar, wie sehr es sich für den Bauherren auch finanziell gelohnt hat zu sanieren: die kumulierten Kosten über 30 Jahre für das Gesamtpaket nZEB-Sanierung, wie sie umgesetzt wurde, sind mit 245.000 € knapp mehr als die Hälfte der Ausgaben die er für's Heizen des unsanierten Gebäudes hätte aufbringen müssen (446.000 €) und sogar weniger als die Hälfte dessen, was er für die Miete einer kleineren Wohnung und die die Nutzung der Villa als Sommerhaus ausgeben würde.

Zum anderen zeigt auch der Vergleich mit der Variante „Minimalsanierung“ (für die es keinen Steuerbonus gegeben hätte, da die gesetzlichen Mindestwerte nicht erreicht würden – was bei der denkmalgeschützten Villa wiederum rechtlich durchaus nicht nötig gewesen wäre) einen deutlichen Vorteil der nZEB-Sanierung.

Der Vergleich mit der „Basis-Sanierung“, die so definiert wurde, dass die Mindestwerte für den Genuss des Steuerbonus eingehalten werden, der Heizbedarf aber nicht so stark sinkt, dass er aus erneuerbaren gedeckt werden könnte, ist etwas differenzierter: betrachtet man nur Gebäudesanierung und Lüftung, so liegt die Variante nZEB mit 168.000 € knapp unter der „Basis“ mit 177.000 € – bei gleicher Wärmeversorgung würde sich also über die 30 Jahre das „tiefgreifend sanieren“ schon lohnen.

Mit der nZEB-Technik wie installiert steigt die nZEB-Variante mit 245.000 € um gute 50.000 € über die Basis-Variante – betrachtet man die Situation dann allerdings wie im Text beschrieben „Prototyppreis“-bereinigt, so liegen beide Varianten mit 182.000 € und 172.000 € wieder sehr eng beisammen. nZEB wird sich also auf jeden Fall auch finanziell lohnen, wenn marktgängige Technik zum Einsatz kommen kann.

Die Betrachtung der Energiepreis- und Zinsszenarien wiederum zeigt, dass das Ziel des Bauherrn, die Finanzierbarkeit des Wohnens im Haus in Zukunft zu garantieren, eindeutig mit der nZEB-Sanierung am besten erreicht wird: Heute entscheiden und morgen unabhängig von Energiepreis- und Zinsentwicklung sein.

7 Literatur

- [1] Troi, A.; Stuffer, O.; Cari, V.; Exner, D.: Energetische Sanierung von Baudenkmalen am Beispiel der Villa Castelli am Comer See. In: Konferenzband zum 3. Innendämmkongress, Dresden, 2015.
- [2] Stuffer, O.; Troi, A.; Cari, V.: Umfassende energetische Modernisierung einer denkmalgeschützten Willa am Comer See. In: Konferenzband zur 19. Int. Passivhaustagung, Leipzig, 2015.
- [3] COM(2016) 769 final. Energy prices and costs in Europe. Report from the commission to the European parliament, the council, the European economic and social committee and the committee of the regions. Brussels, 30.11.2016.
- [4] Portale immobiliare www.immobiliare.it. Besucht am 20.8. 2017 <https://www.immobiliare.it/prezzi-mq/Lombardia/Como.html?fkContratto=2>.
- [5] EN 15459: Energy performance of buildings. Economic Evaluation procedure for energy systems in buildings, 2008.