

# CHESA CENTRELA

Ferienhaus in St. Moritz



ENTWICKLUNG EINER NACHHALTIGEN SANIERUNGSSTRATEGIE

Chesa Centrela  
Via dal Bagn 48  
7500 St. Moritz

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>AUSGANGSLAGE</b> .....	<b>4</b>
1.1.	Einführung.....	4
1.2.	Ziel.....	6
<b>2.</b>	<b>LAGEANALYSE</b> .....	<b>7</b>
2.1.	Situation.....	7
2.2.	Makro- und Mikroklimatische Rahmenbedingungen....	10
2.3.	Potential für nachhaltige Energiequellen.....	13
2.4.	Fazit: mögliche Energieerzeugungsarten.....	19
<b>3.</b>	<b>OBJEKTANALYSE</b> .....	<b>22</b>
3.1.	Baubeschrieb.....	22
3.2.	Energiebedarf des Bestandsgebäudes.....	25
3.3.	Emissionen des Bestandsgebäudes.....	27
3.4.	Wandaufbau und U-Wert.....	28
3.5.	Belastungsspitze und Leerstände.....	30
3.6.	Gebäudegrunddaten.....	31
3.7.	Plandokumentation.....	32
3.8.	Fotografische Dokumentation.....	40
<b>4.</b>	<b>SANIERUNGSKONZEPT</b> .....	<b>43</b>
4.1.	Ausgangslage und Ziel.....	43
4.2.	Bestand: Berechnung des Heizwärmebedarfs.....	45
4.3.	Energieeffizienz: die Sanierungsmassnahmen.....	51
4.4.	Sanierung: Berechnung des Heizwärmebedarfs.....	57
4.5.	Energieerzeugung.....	63
<b>5.</b>	<b>KRITISCHE BETRACHTUNG</b> .....	<b>68</b>
5.1.	Graue Energie.....	68
5.2.	Optimierung der Sanierungsstrategie.....	70
5.3.	Berechnung der grauen Energie und Energiebilanz....	75
<b>6.</b>	<b>FAZIT</b> .....	<b>81</b>
<b>7.</b>	<b>QUELLEN</b> .....	<b>83</b>
7.1.	Quellenverzeichnis.....	83
7.2.	Literaturverzeichnis.....	86

# 1. AUSGANGSLAGE

## 1.1. Einführung

Die globale Erwärmung ist ein entscheidendes Thema für die Zukunft der menschlichen Gesellschaft. Die Weltumweltpolitik der letzten zwei-drei Jahrzehnte hat versucht, wenn auch zaghaf und mit grosser Trägheit, dem unkontrollierten Anstieg der Treibhausgase in der Atmosphäre entgegenzuwirken. Im Laufe der Jahre wurden viele Ziele gesetzt und Übereinkommen unterzeichnet, aber die Ergebnisse werden immer noch nicht erreicht. Mit der Energiestrategie 2050 will der Bund den Energieverbrauch senken, die Energieeffizienz steigern und erneuerbare Energien fördern<sup>1</sup>.

Die Baubranche ist für einen grossen Teil der Treibhausgasemissionen verantwortlich. In den letzten 20 Jahren konnte ein Rückgang dieser Emissionen durch erhöhte Energieeffizienz und eine Substitution in Richtung CO<sub>2</sub>-ärmerer Technologien hin beobachtet werden<sup>2</sup>. Trotzdem liegt noch ein langer Weg vor uns und die gesetzten Ziele sind sehr ehrgeizig. Während zunehmend restriktive Bauvorschriften die Energiewende bei Neubauten tendenziell beschleunigen, verläuft der Prozess bei bestehenden Gebäuden deutlich langsamer. Die energetische Sanierung von Altbauten kann nicht kurzfristig zur Pflicht werden, denn das wäre undemokratisch und wirtschaftlich nicht tragbar. Daher ist es wichtig, dass es eine Synergie zwischen staatlichen Anreizen, dem Einsatz von technischem Fachwissen durch Spezialisten und einem starken Gefühl der Eigenverantwortung seitens der Gebäudeeigentümer gibt.

Die vorliegende Arbeit ist vor diesem Hintergrund angesiedelt und beschäftigt sich konkret mit der energetischen Sa-

nierung des Ferienhauses Chesa Centrela im Engadin. Das Mehrfamilienhaus wird 58 Jahre alt und wird in den nächsten Jahren eine ausserordentliche Sanierung brauchen. Die Bestrebung ist also die, das Sanierungsprojekt so zu beeinflussen, dass die Aspekte der Nachhaltigkeit entsprechend den örtlichen Gegebenheiten und der aktuellen Verfügbarkeit so weit wie möglich berücksichtigt werden.

<sup>1</sup> Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, "Energiestrategie 2050", <https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/energie/energiestrategie-2050.html>.

<sup>2</sup> Bundesamt für Umwelt BAFU, "Treibhausgasemissionen der Gebäude", <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/zustand/daten/treibhausgasinventar/gebäude.html>.



Baustellenfoto Chesa Centrela

Quelle: Aurelio Ferrari, persönliches Archiv.

## 1.2. Ziel

Diese Arbeit wird im Rahmen einer baldigen Sanierung des Ferienhauses Chesa Centrela in St. Moritz durchgeführt. Das Haus stammt aus dem Jahr 1963 und derzeit erreichen (oder haben bereits überschritten) mehrere Bauteile das Ende ihrer Lebensdauer und müssen deshalb ersetzt werden. Aufgrund des Umfangs der Sanierung – von der gesamten Gebäudehülle bis zu den Installationen – ist die Renovierung von grosser Bedeutung und zum Teil auch dringend notwendig.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die spezifische Situation des Gebäudes zu analysieren, um eine nachhaltige Sanierungsstrategie zu entwerfen, welche die Umweltaspekte von Energie und Emissionen des Gebäudes auf die sinnvollste Weise berücksichtigt.

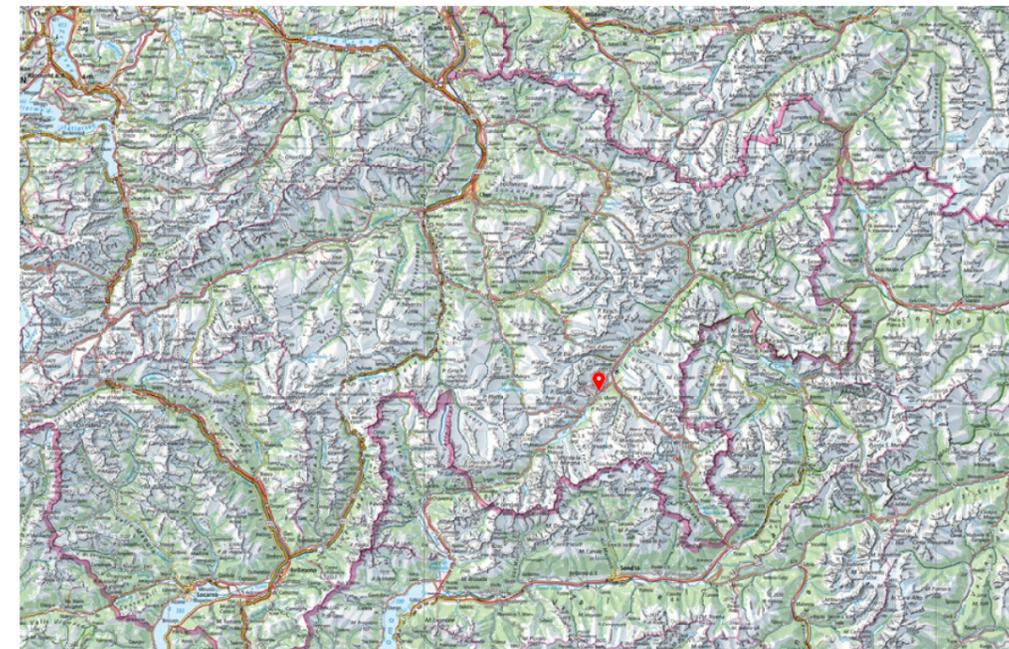
Dazu wird zunächst das Verbesserungspotenzial für die Energieeffizienz des Gebäudes identifiziert und quantifiziert und mit den Möglichkeiten des geografischen Standorts in Beziehung gesetzt. Anschliessend soll eine Sanierungsstrategie zur Erreichung der Energieautonomie während der Betriebsphase entworfen werden. Abschliessend wird eine kritische Analyse der Ergebnisse durchgeführt, die sich auf Fragen wie die zu verwendende graue Energie, den Nutzungsgrad des Ferienhauses und die Wirtschaftlichkeit der Massnahmen konzentriert, mit dem Ziel, die Sanierungsstrategie weiter zu optimieren.

# 2. LAGEANALYSE

## 2.1. Situation

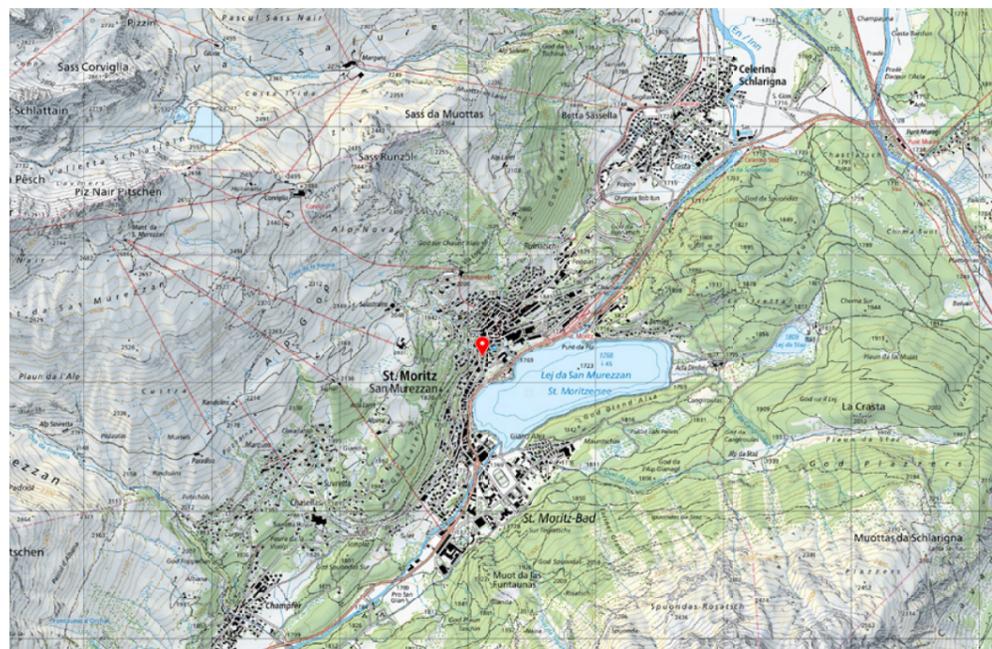
Das Engadin liegt im östlichen Teil des Kantons Graubünden und ist eines der höchstgelegenen bewohnten Täler Europas. Der Oberengadiner Talboden, geprägt durch mehrere Gletscherseen, liegt zwischen 1'800 und 1'600 m ü. M. und geniesst ein trockenes und weitgehend sonniges Klima<sup>3</sup>.

<sup>3</sup> Emmanuel Reynard (Hrsg.), Landscapes and Landforms of Switzerland, Springer, Lausanne: 2019.



Quelle: swisstopo.

Die Gemeinde St. Moritz liegt geografisch im Zentrum des Oberengadins und besteht aus den Ortsteilen St. Moritz-Dorf, St. Moritz-Bad, Suvretta und einer Hälfte des zwei Kilometer entfernten Champfèr. Die Ortschaft St. Moritz selbst ist daher in zwei Teile physisch getrennt: St. Moritz Bad liegt in der Ebene, wo der Fluss Inn in den See mündet, während St. Moritz Dorf liegt nördlich davon, am Hang.



Quelle: (o.) und (u.) swisstopo.

Wenn man die Strasse von Bad zum Dorf hinauffährt, findet man am südlichen Dorfeingang die Chesa Centrela. Das an einem Hang mit ca. 50% Gefälle gelegene Grundstück wird im Westen von der Via dal Bagn und im Osten von der Via Arona umschlossen, während es im Norden an die Überbauung Gallaria Caspar Badrutt und im Süden an ein unbebautes, als Garten der angrenzenden Villa Planta genutztes Grundstück, grenzt. Der Haupteingang zur Chesa Centrela befindet sich an der Via dal Bagn, während die Zufahrt mit dem Auto über die untere Via Arona möglich ist.

Das Grundstück befindet sich in einer zentralen und sehr interessanten Lage. Das Dorfzentrum von St. Moritz beginnt praktisch vor der Haustüre und die Fussgängerzone ist nur weniger Meter weit weg. Von hier aus hat man bequemen Zugang zu einer ganzen Reihe von Geschäften und Dienstleistungen. Dazu ist der Start der Drahtseilbahn, die den Zugang zum Skigebiet Corviglia ermöglicht, in 10 Minuten zu Fuss erreichbar, während das Ende der Talabfahrt, nur 4 Minuten entfernt ist.

Angesichts der relativ geringen Grösse des Dorfes und vor allem der strategischen Lage des Grundstücks verdient also das Haus zu Recht seinen romanischen Namen Chesa Centrela: "Das zentrale Haus".



Quelle: swisstopo.

## 2.2. Makro- und Mikroklimatische Rahmenbedingungen

Die klimatischen Bedingungen, in denen sich die Chesa Centrela befindet, werden durch die imposante Präsenz der Rätischen Alpen bestimmt, in die das Engadin eingebettet ist. Als inneralpines Tal ist es in der Tat vor Störungen geschützt, die sowohl aus dem Norden als auch aus dem Süden kommen. Dies führt zu einem Klima, das das ganze Jahr über trockener ist als das der umliegenden Regionen. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagsmenge im Engadin liegt je nach Lage bei etwa 600 bis 700 mm. Zum Vergleich: In den Regionen südlich der Alpen regnet es etwa 2'000 mm pro Jahr, während es im nördlichen Voralpengebiet etwa 1'000-1'500 mm sind. Im Sommer ist der Niederschlag im Durchschnitt drei- bis viermal so hoch wie in der kalten Jahreszeit. Ausserdem fällt im Winter der Niederschlag vor allem in Form von Schnee: Ab Oktober erreichen die ersten Schneefälle in der Regel das Talboden. Von da an sammelt sich die weisse Decke schnell an, bis sie im Januar/Februar ihre maximale Dicke erreicht, mit dauerhaften Ansammlungen von oft über 50 cm. Der Schnee auf dem Talboden liegt meist bis Ende Mai und weicht dann dem kurzen und gemässigten Sommer<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, "Klima der Schweiz", <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klima-der-schweiz.html>.

Klimanormwerte für Samedan (1981-2010).

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
<b>Niederschlag Summe [mm]</b>	28	20	26	39	78	90	93	99	73	68	61	36	713
<b>Niederschlag 1 mm [Tage]</b>	5.3	4.2	4.8	6.0	9.3	10.3	10.0	10.5	7.8	7.6	7.0	6.0	88.8
<b>Niederschlag 5 mm [Tage]</b>	1.8	1.1	1.5	2.7	4.6	5.5	5.4	5.6	4.1	4.0	2.8	2.0	41.1
<b>Niederschlag 10 mm [Tage]</b>	0.6	0.4	0.7	1.1	2.2	3.0	3.1	3.2	2.5	2.0	1.7	0.9	21.4
<b>Niederschlag 50 mm [Tage]</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	0.7
<b>Niederschlag 100 mm [Tage]</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>Niederschlag 0%-Q [mm]</b>	0	2	1	0	24	28	21	8	12	0	1	3	507
<b>Niederschlag 20%-Q [mm]</b>	10	6	12	14	42	45	65	59	30	18	16	15	616
<b>Niederschlag 40%-Q [mm]</b>	16	10	18	25	62	67	85	90	50	47	29	26	671
<b>Niederschlag 60%-Q [mm]</b>	32	20	23	35	70	90	95	108	68	71	45	37	727
<b>Niederschlag 80%-Q [mm]</b>	41	33	39	61	89	128	105	145	128	102	91	47	813
<b>Niederschlag 100%-Q [mm]</b>	104	67	89	122	339	193	202	170	182	225	330	123	973
<b>Neuschnee [cm]</b>	52	39	32	24	6	1	0	0	1	8	41	50	254
<b>Neuschnee [Tage]</b>	9.1	7.4	7.6	5.8	1.5	0.3	0.1	0.1	0.6	2.0	6.8	9.1	50.4
<b>Schneedecke &gt; 0 cm [Tage]</b>	30.9	28.1	30.3	17.8	2.3	0.3	0.1	0.1	0.6	3.2	16.6	29.0	159.3
<b>Schneedecke &gt; 1 cm [Tage]</b>	30.3	28.1	30.2	16.2	1.5	0.2	0.1	0.1	0.4	2.0	15.1	28.7	152.9
<b>Schneedecke &gt; 10 cm [Tage]</b>	28.3	26.9	26.4	9.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	7.2	20.8	120.3
<b>Schneedecke &gt; 50 cm [Tage]</b>	11.3	11.8	10.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	4.0	39.8

Quelle: Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, climsheet Samedan 2.1.3, Stand: 2020.

Die Durchschnittstemperaturen in den Wintermonaten liegen bei etwa -7° C, wobei die Tiefstwerte in Samedan bis auf -30° C fallen können. Diese Extreme werden normalerweise im Januar gemessen, der im Durchschnitt der kälteste Monat ist. Statistisch gesehen gibt es etwa 70 Tage im Jahr, an denen die Höchsttemperatur nie 0° C überschreitet (Eistage).

Im Frühjahr steigt die saisonale Temperatur auf ca. 1 - 1,5° C an. Ab Mai werden die Tage spürbar milder und erreichen in den Sommermonaten eine Durchschnittstemperatur von etwa 11° C. Der wärmste Monat im Engadin ist typischerweise der Juli, wobei es in den letzten Jahren einige Tage gab, an denen die Temperaturen sogar über 25° C lagen (Sommerstage). Diese Tage beschränken sich - glücklicherweise - im Durchschnitt auf ein paar Tage zwischen Juli und August. Können die Tage im September noch angenehm mild sein, sinken die Temperaturen im Oktober schnell auf herbstliche Durchschnittswerte von etwa 3° C, bevor sie weiter fallen und dem Winter wieder weichen.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
<b>Temperatur [°C]</b>	-8.6	-7.5	-2.9	1.2	6.3	9.8	12.1	11.4	7.9	3.7	-2.8	-7.3	1.9
<b>Maximumtemp [°C]</b>	-1.6	0.5	3.7	7.4	12.9	16.4	19.3	18.7	14.9	10.9	3.7	-1.2	8.8
<b>Minimumtemp [°C]</b>	-16.3	-16.4	-10.4	-4.7	-0.1	2.5	4.3	4.0	1.0	-2.9	-8.9	-13.8	-5.1
<b>Eistage [Tage]</b>	19.4	12.4	5.7	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	7.2	17.9	63.9
<b>Frosttage [Tage]</b>	30.8	28.1	30.0	26.6	15.2	6.5	2.5	3.1	11.6	21.7	27.8	30.3	234.2
<b>Sommertage [Tage]</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	2.4
<b>Hitzetage [Tage]</b>	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Klimanormwerte für Samedan (1981-2010), (o.) und (u.).

Quelle (o.) und (u.): Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, climsheet Samedan 2.1.3, Stand: 2020.

Die Alpen sorgen im Engadin nicht nur für ein trockenes Klima, sondern auch für viel Sonnenschein<sup>5</sup>, was viele andere Regionen beneiden. Die Wetterstation Samedan misst durchschnittlich 1'733 Sonnenstunden pro Jahr, am nahen Piz Corvatsch (3'297 MüM) sind es sogar 2'063 Stunden. Diese Werte sind besonders hoch, wenn man sie mit dem nicht weit gelegenen Poschiavo (1'450 h/a) oder Zürich Kloten (1'566 h/a) vergleicht. Während der relative Sonnenschein das ganze Jahr über ziemlich konstant ist (53%), sind es natürlich die Sommermonate mit den längsten Tagen, in denen die Sonnenscheinspitzen zu verzeichnen sind: Der Juli mit rund 200 Stunden und der August mit 180 Stunden sind die Monate, die am meisten Sonne geniessen.

<sup>5</sup> Emmanuel Reynard (Hrsg.), Landscapes and Landforms of Switzerland, Springer, Lausanne: 2019.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
<b>Sonne [h]</b>	117	121	140	138	158	176	200	180	154	140	106	103	1733
<b>Sonne [%]</b>	58	58	53	47	46	49	57	57	58	58	52	53	53
<b>Heitere Tage [Tage]</b>	13.9	12.9	11.6	8.9	7.4	7.7	9.5	10.9	11.9	13.6	12.0	12.4	132.7
<b>Trübe Tage [Tage]</b>	8.5	8.1	9.5	10.1	9.1	7.7	5.6	6.4	7.5	8.3	10.4	10.1	101.3

Das Engadin ist kein extrem windiges Tal. Die Hauptwinde folgen jedoch der Talrichtung und wehen hauptsächlich aus Süd-Südwest, d. h. vom Malojapass in Richtung Unterengadin. Sie sind im Allgemeinen im Winter stärker und regelmässiger als in der gemässigten Jahreszeit.

Klimanormwerte für Samedan (1981-2010), (o.) und (u.).

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Windgeschw. [m/s]	1.5	1.8	2.2	2.5	2.6	2.6	2.7	2.5	2.4	2.2	1.7	1.5	2.2
Wind 10 m/s [Tage]	0.6	0.6	0.9	0.4	1.2	1.4	2.1	2.0	1.0	0.8	0.5	0.7	12.2
Wind 20 m/s [Tage]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Wind 30 m/s [Tage]	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Die relative Luftfeuchtigkeit liegt bei ca. 73 %, wobei die feuchtesten Perioden im Winter und die trockensten im Frühjahr liegen.

Quelle (o.) und (u.): Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, climsheet Samedan 2.1.3, Stand: 2020.

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
Relative Feuchte [%]	77	73	70	69	69	69	70	73	74	75	77	79	73
Dampfdruck [hPa]	2.6	2.7	3.6	4.7	6.6	8.3	9.5	9.6	7.8	6.0	4.0	3.0	5.7
Luftdruck Station [hPa]	826.5	824.8	824.8	824.0	827.5	829.9	831.5	831.2	830.2	829.0	826.2	825.6	827.6
Luftdruck red. 850 [m]	1492	1475	1471	1460	1490	1511	1526	1523	1515	1507	1484	1482	1494

Die meteorologische Messstation in Samedan liegt 4,7 km von der Chesa Centrela entfernt und ist eine wichtige Messstelle für MeteoSchweiz. Aufgrund der geografischen Nähe zu St. Moritz und der Menge und Genauigkeit der aufgezeichneten Daten werden im Folgenden die Klima-Normwerte (d. h. das 30-jährige Mittel über die Periode 1981-2010) der Messstation Samedan als lokale Referenzwerte verwendet, sofern keine spezifischeren Messungen für die betreffende Parzelle vorliegen.

### 2.3. Potential für nachhaltige Energiequellen

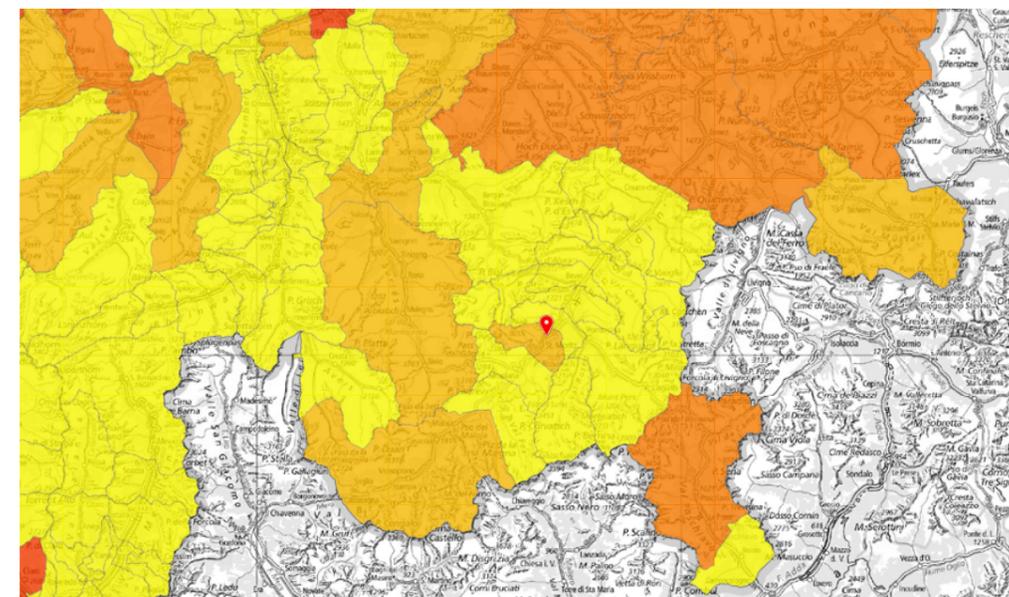
#### Biomassepotential

Biomasse bezieht sich auf verschiedene Arten von organischen Abfällen und lokalen Rohstoffen wie zum Beispiel Holz. Es wird zwischen holzartiger und wenig verholzter Biomasse unterschieden. Zur ersten Kategorie gehören z.B. Holz aus Wäldern und Abfälle aus Sägewerken, Industrie oder Handwerk. Diese Materialien werden in der Regel durch thermische Prozesse in Energie umgewandelt, zum Beispiel bei Heizsystemen betrieben mit Pellets, Stückholz oder Holzschnitteln<sup>6</sup>. Holz ist der Grundstoff, aus dem diese Brennstoffe gewonnen werden und gilt als erneuerbarer Rohstoff. Seine Auswirkung auf die CO<sub>2</sub>-Bilanz ist neutral, da Holz, wenn es verbrannt wird, die gleiche Menge an CO<sub>2</sub> freisetzt, die es während seines Wachstums absorbiert hat. Damit eine Holzheizung als CO<sub>2</sub>-neutral gelten kann, ist es wichtig, dass der Brennstoff aus regionalen Quellen stammt.

In die Kategorie der wenig verholzten Biomasse fallen landwirtschaftliche Abfälle wie Gülle oder Mist und nasse Lebensmittelabfälle. Diese Produkte werden normalerweise fermentiert, um brennbares Biogas zu erzeugen. Diese Kategorie von Biomasse ist ebenfalls erneuerbar, gilt als CO<sub>2</sub>-neutral und kann in verschiedenen Formen in Energie umgewandelt werden: Wärme, Strom, Biogas oder flüssige Brennstoffe<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> EnergieSchweiz, Erneuerbar Heizen, "Erneuerbar Heizen mit Holz", <https://erneuerbarheizen.ch/erneuerbare-heizsysteme/heizen-mit-holz/>.

<sup>7</sup> Siehe Anm. 6.



Verholzte Biomassen  
 0 - 25 TJ  
 26 - 50 TJ  
 51 - 100 TJ  
 101 - 500 TJ  
 501 - 1000 TJ

Quelle: swisstopo.

Die Karten zeigen das nachhaltige Potenzial von Biomasse für die Bioenergieproduktion. Für nicht-holzige Biomasse hat das gesamte Obere Engadin ein eher begrenztes Potenzial, das für die Gemeinde St. Moritz auf etwa 20 TJ geschätzt wird. Auf regionaler Ebene produziert die Biogasanlage Zuoz Strom und Wärme aus Abfällen aus der Landwirtschaft und der Lebensmittel- und Tourismusindustrie. Der jährlich produzierte Strom beträgt ca. 300'000 kWh und wird direkt ins Netz eingespeist, während die Wärme an die Nachbarhäuser verteilt wird<sup>8</sup>.

8 ForzAgricola, "Biogasanlage", <https://www.forzagricola.ch/biogasanlage-forzagricola.html>.

Weitere kleinere Anlagen stehen z.B. in Celerina und Bever und speisen Strom aus der Verbrennung von Biogas in das Netz ein<sup>9</sup>.

9 Clean Energy St. Moritz Graubünden, "Biomasse", <http://www.clean-energy.ch/>.

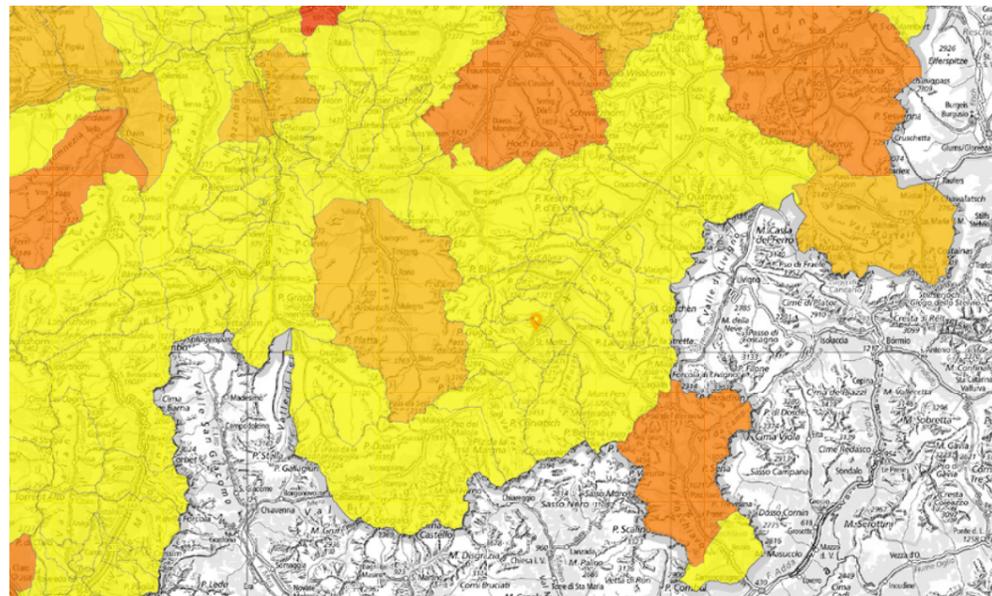
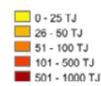
Rund 2% des Stroms, den St. Moritz Energie an die Chesa Centrela liefert, wird aus Biomasse erzeugt<sup>10</sup>.

10 St. Moritz Energie, Stromkennzeichnung 2019, auf Basis der persönlichen Stromrechnung.

Das verfügbare Potenzial für holzige Biomasse in St. Moritz ist dagegen mit rund 28 TJ relativ gut. Allerdings gibt es im Obere Engadin, wie auch im restlichen Kanton, keine Hersteller von Pellets, sondern nur Lieferdienste für diese Brennstoffe. Die nächstgelegenen Schweizer Produzenten befinden sich auf dem Mittelland, etwa 200-300 km von St. Moritz entfernt. Aufgrund der relativ kurzen Transportstrecken in der Schweiz kann diese Art von Energie jedoch noch als nachhaltig angesehen werden. Tatsächlich, verglichen mit der Energie, die Pellets beim Heizen erzeugen, beträgt der Energieaufwand pro 100 Km Transportstrecke nur 1%<sup>11</sup>.

11 proPellets.ch, "Vorteile des Heizens mit Holzpellets", <https://www.propellets.ch/heizen-mit-pellets/vorteile-der-pellets.html>.

Nicht-verholzte Biomassen



Quelle: swisstopo.

## Erdwärmepotential

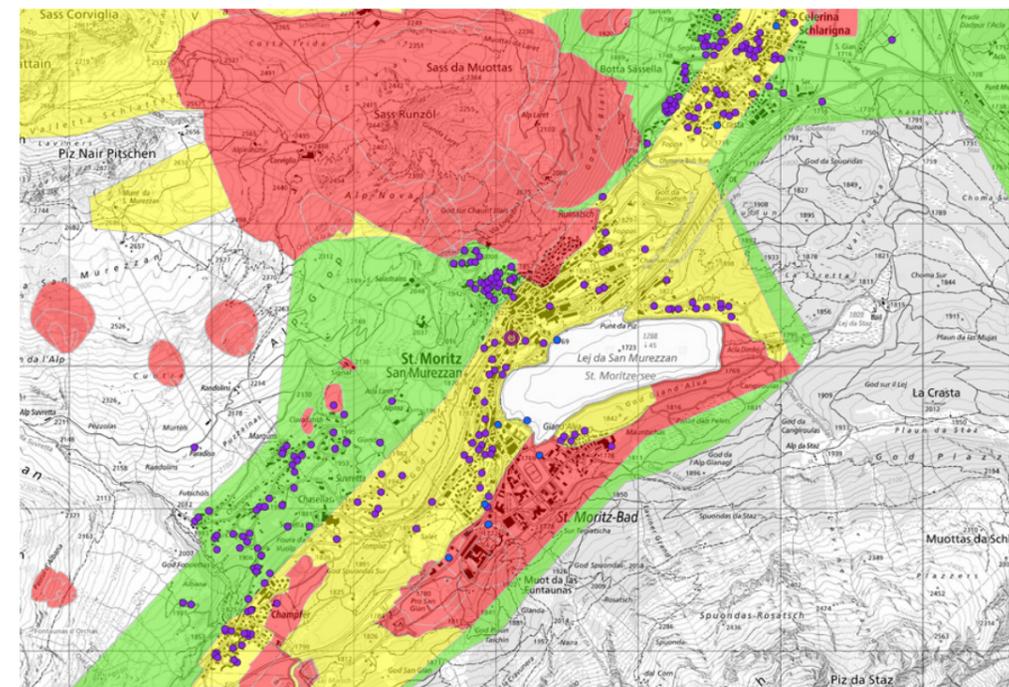
Bezüglich der Nutzung von Erdwärme ist dies in dem Gebiet der Chesa Centrela erlaubt, auch wenn von der Gemeinde festgelegte höhere (technische/spezialistische) Vorschriften zu beachten sind.

Obwohl keine Studien veröffentlicht wurden, die die Untergrundtemperaturen für diese Region der Schweiz angeben, lässt das Vorhandensein zahlreicher Erdwärmesondenanlagen in unmittelbarer Nähe darauf schliessen, dass das Gebiet dafür geeignet ist. Die Bohrtiefen dieser Anlagen reichen von 120 bis 260 m, für Gebäude mit vergleichbarer Volumetrie mit der Chesa Centrela<sup>12</sup>. Angesichts der klimatischen Bedingungen, die eine fast ganzjährige Heizung der Räume erfordern, ist die Geothermie eine nachhaltige Lösung, die vor allem aus wirtschaftlicher Sicht attraktiv ist. Durch den Anschluss einer Wärmepumpe an die Erdsonden konnten die Heizkosten fast vollständig gedeckt werden, da die Wärmequelle konstant ist<sup>13</sup>.

12 Kanton Graubünden, Amt für Natur und Umwelt, Interaktive Karte "Erdwärmennutzung", [https://map.geo.gr.ch/gr\\_webmaps/wsgi/theme/Erdwaermenutzung](https://map.geo.gr.ch/gr_webmaps/wsgi/theme/Erdwaermenutzung).

Da jedoch keine genauen Untergrunddaten vorliegen, ist es ratsam, das spezifische geothermische Potenzial von Fachleuten beurteilen zu lassen.

13 Clean Energy St. Moritz Graubünden, "Erdwärme", <http://www.clean-energy.ch/>.



Anlagen (Wärmepumpen)

- Boden
- Wasser
- Anergie oder Ringschluss

Zulässigkeit

- nicht zulässig
- bedingt zulässig
- zulässig

Quelle: Kanton Graubünden, Amt für Natur und Umwelt.

## Wasser

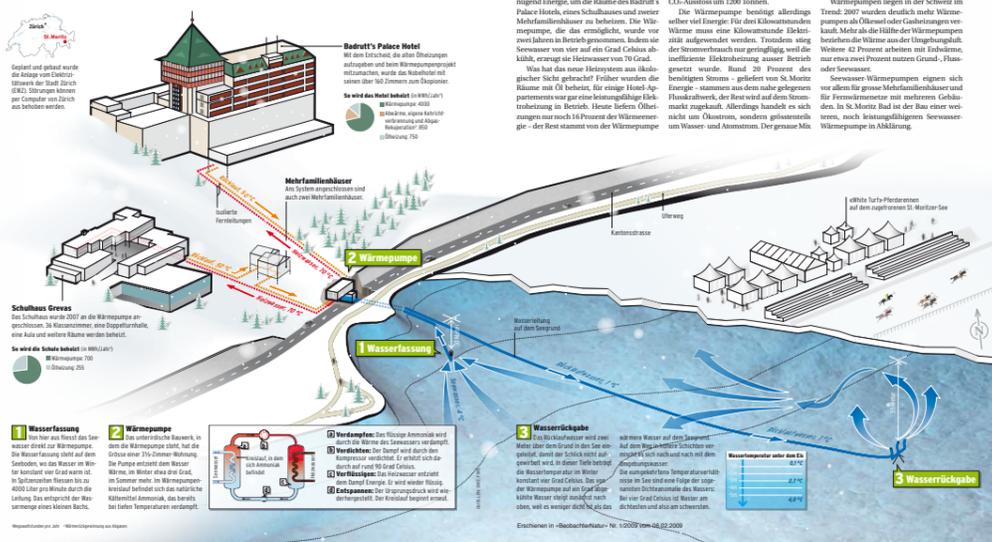
Nicht weit entfernt befindet sich auch eine Wärmepumpenanlage, die das 4° C warme Wasser des Sees für Heizzwecke und zur Wassererwärmung nutzt. Die Anlage wurde von ewz gebaut und versorgt das Schulhaus Grevas und das Hotel Badrutt's Palace mit 70% und resp. 80% der jährlich benötigten Wärmeenergie<sup>14</sup>.

Solche Anlagen sind für Liegenschaften sehr interessant, die direkt auf den See ausgerichtet sind, da das Wasser so einfach aufgefangen werden kann. Sobald jedoch die Entfernungen zunehmen, machen die technischen Schwierigkeiten und die relativ hohen Kosten die Investition für Privaten schwer realisierbar. Die Chesa Centrela ist etwa 250 m Luftlinie entfernt und liegt 30 m höher als der St. Moritzer See. Das Wasser daraus zu fassen, indem man Strassen und Parzellen mit den Rohren überquert, ist technisch anspruchsvoll und die Kosten wären unerschwinglich. Das theoretische Potenzial kollidiert in diesem Fall also mit dem technischen und wirtschaftlichen Potenzial.

14 "Badrutt's Palace Hotel und Schulhaus Grevas in St. Moritz. Wärme aus dem St. Moritzersee", aus: planer+installateur 1-2008, S. 63-65.

## Wärme aus dem kalten See

In St. Moritz werden ein Nobelpalast, ein Schulhaus sowie zwei Mehrfamilienhäuser mit Energie aus dem See beheizt. Das spart fast 500 000 Liter Erdöl pro Jahr. Möglich macht es eine Wärmepumpe, die auch funktioniert, wenn der See gefroren ist. VON DANIEL RÖTTELE (GRAFIK) UND STEFAN BACHMANN (TEXT)



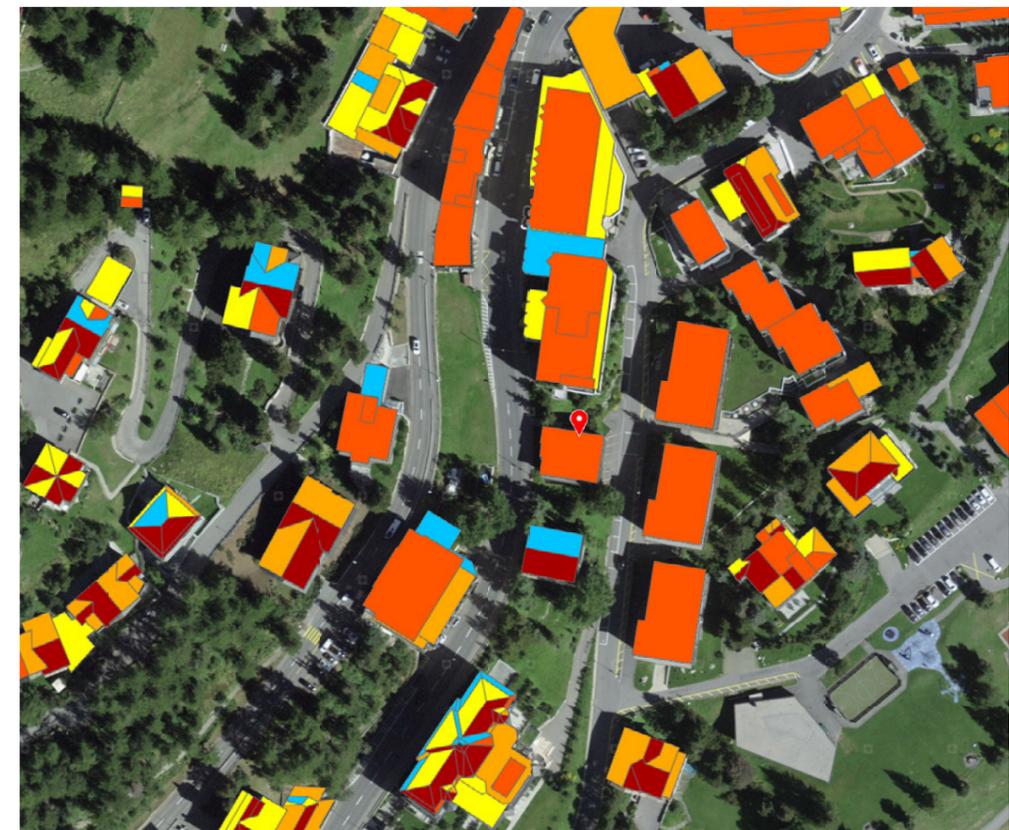
Quelle: BeobachterNatur, Nr. 1/2009, 06.02.09.

## Solarpotenzial

Wie bereits erwähnt, genießt das Engadin eine sehr gute durchschnittliche Sonneneinstrahlung, was die Solarenergie zu einer interessanten Alternative macht.

Das Bundesamt für Energie stellt zusammen mit MeteoSchweiz und swisstopo ein Tool zur Verfügung, mit dem es möglich ist, die Eignung eines Dachs oder einer Fassade für eine Photovoltaik- oder Solarthermie-Anlage zu beurteilen<sup>15</sup>. Der Berechner hat für das Dach der Chesa Centrela einen Eignungsgrad "sehr gut" ermittelt. Durch die Hanglage, die optimale Ausrichtung und das Fehlen höherer Gebäude oder anderer Verschattungselemente ist die flache Dachfläche tatsächlich optimal positioniert, um die Energie der Engadiner Sonne bestmöglich zu nutzen. Das System schätzt die durchschnittliche Globalstrahlung (inkl. Verschattung!) auf ca. 1'350 kWh/m<sup>2</sup> pro Jahr, die sowohl zur Strom- als auch zur Wärmeerzeugung genutzt werden könnte. Die freie und damit nutzbare Dachfläche beträgt ca. 268 m<sup>2</sup>.

15 Siehe sonnen-dach.ch



Sehr gute Sonneneinstrahlung der Dachfläche.

Quelle: swisstopo.

## Wärme der Aussenluft

Mit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe kann der Umgebung Wärme entzogen und zur Erwärmung von Wasser für das Heizungs- und/oder Sanitärsystem genutzt werden. Eine kurze Marktübersicht hat gezeigt, dass moderne Geräte dieser Art in der Lage sind, Vorlauftemperaturen von bis zu 55° C - 65° C auch bei Aussentemperaturen von -25° C zu erreichen. Selbst in den kalten Engadiner Wintern würde also eine Luft-Wasser-Wärmepumpe bei richtiger Dimensionierung den Wärmebedarf des Hauses decken können. Angesichts der relativ hohen Temperaturen, mit denen Wasser erhitzt werden kann, könnte ein solches System sowohl die Heizung als auch die Warmwasserbereitung übernehmen.

Für den Betrieb einer Wärmepumpe wird jedoch Strom benötigt. Aus diesem Grund wird eine Photovoltaikanlage empfohlen, um hohe Energiekosten zu vermeiden.

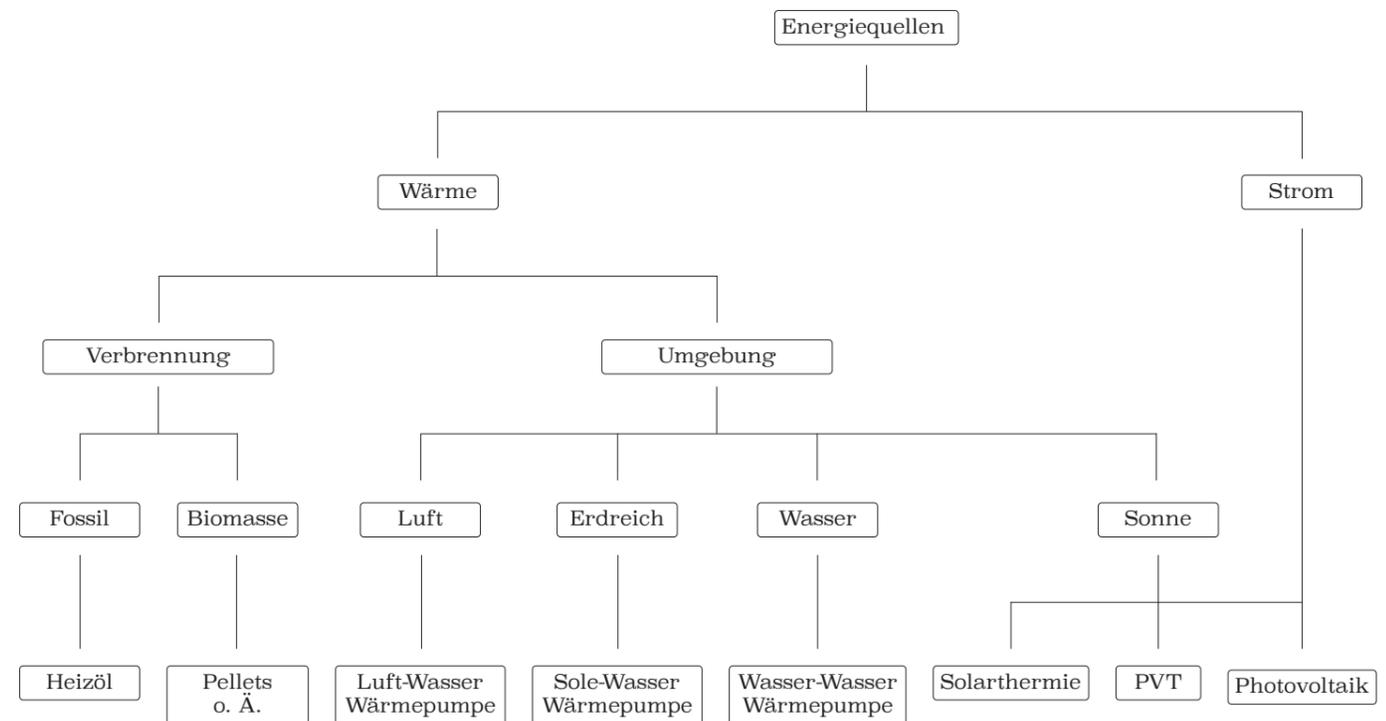
Eine Wärmepumpe kann nur dann als CO<sub>2</sub>-neutral betrachtet werden, wenn die Herkunft der im Prozess eingesetzten elektrischen Energie berücksichtigt wird. Auch in diesem Fall würde also eine Kombination mit einer Photovoltaikanlage das System unter dem Gesichtspunkt der Treibhausgasemissionen nachhaltig machen.

## Distrikt-Wärme

In unmittelbarer Nähe der Chesa Centrella sind keine Distrikt-Wärmeanlagen oder Anlagen vorhanden, die die anderswo produzierte Abwärme nutzen.

## 2.4. Fazit: mögliche Energieerzeugungsarten

Nach der Analyse der makro- und mikroklimatischen Bedingungen, in denen sich das Haus befindet, lassen sich die folgenden möglichen Energiequellen feststellen.



## Verbrennung: Öl

- + Geringe Investitionskosten
- + Hohe Temperaturen möglich
- Hohe CO<sub>2</sub> Emissionen
- Nicht Exergieeffizient
- Keine Energetische Autonomie
- Rechtsunsicherheit: Die Neuinstallation von Ölanlagen könnte in der Zukunft verboten werden.

## Verbrennung: Biomasse zB Pellets

- + Hohe Temperaturen möglich -> Erhalten des aktuellen Verteilungssystem
- + Eher CO<sub>2</sub>-neutral
- + Automatische Anlage
- + Speicherbare Energie -> Schnelle Anpassungsfähigkeit an Belastungsspitzen und Leerstände
- + Leicht kombinierbar mit thermischer Solaranlage
- Platzbedarf: Tank erforderlich
- Keine Energetische Autonomie
- Regelmässiges Nachfüllen erforderlich
- Gesamtbetrachtung entscheidend für die Nachhaltigkeit (Logistik!)
- Feinstaubemissionen, wenn auch gering
- Nicht exergieeffizient (hohe °T)

## Wärmepumpe: Luft-Wasser

- + Niedrige Betriebskosten
- + Kann auch kühlen
- + Geringe Investitionskosten
- + Geringer Platzbedarf
- Schlechterer Wirkungsgrad
- Erneuerbar nur, wenn der verwendete Strom erneuerbar ist
- Geringere Vorlauftemperaturen
- Monovalenter Betrieb nur geeignet, wenn konstante Wärmequelle vorhanden ist

## Wärmepumpe: Sole-Wasser

- + Niedrige Betriebskosten
- + Kann auch kühlen
- + Konstante Wärmequelle
- + Hoher Wirkungsgrad
- Höhere Investitionskosten
- Erneuerbar nur, wenn der verwendete Strom erneuerbar ist
- Geringere Vorlauftemperaturen

## Thermische Solaranlage

- + Einfacher Anschluss an einer Wärmepumpe
- Bivalentes System notwendig, da nach längeren Schlechtwetterperioden ein Zusatzsystem zur Erwärmung des Wassers benötigt wird
- Geringerer Wirkungsgrad im Vergleich zur Photovoltaik
- Sorgfältige Planung wegen Schneedeckung

## Photovoltaisch-thermische Kollektoren (PVT)

- + Erzeugung von Strom und Wärme
- + Kühlung der Photovoltaik bewirkt höheren Wirkungsgrad
- Erzeugt niedrigere Temperaturen als ein reiner solar-thermischer Kollektor
- Sorgfältige Planung wegen Schneedeckung
- Schneelastschäden

## Photovoltaik

- + Ideale Ausrichtung und Exposition
- + Einfacher Anschluss an eine Wärmepumpe
- + Überproduktion wird ins Netz eingespeist (gegen Vergütung).
- + Selbsterzeugte Energie
- + Ökonomisch Konkurrenzfähig
- Sorgfältige Planung wegen Schneeabdeckung
- Schneelastschäden

## 3. OBJEKTANALYSE

### 3.1. Baubeschrieb

Das Haus wurde 1963 gebaut und besteht aus vier Wohngeschossen, einem halb eingegrabenen Kellergeschoss und einer Etage mit der Garage. Insgesamt gibt es acht Ferienwohnungen und eine Hausmeisterwohnung. An Gemeinschaftsräumen verfügt die Chesa Centrela über einen Skiraum, eine Waschküche, mehrere Kellerabteile (Schutzräume), einen Spielraum und eine Einstellhalle mit acht gedeckten Parkplätzen. Ausserhalb des Hauses gibt es fünf zusätzliche Gemeinschaftsparkplätze.

Während seines Bestehens wurde das Haus regelmässig mit überwiegend routinemässigen Arbeiten instand gehalten, die sich oft auf die Innenbereiche oder auf die rechtzeitige Beseitigung von Mängeln/Schäden konzentrierten. Es fehlte jedoch ein langfristiger Sanierungsplan, der in der Lage war, einen Verfall zu verhindern und ausserordentliche Eingriffe zu planen. Das Ergebnis ist, dass trotz einiger ausserordentlicher Wartungsarbeiten im Laufe der Jahre, einige Bauteile das Ende ihrer Lebensdauer erreicht haben und zum Teil einen erheblichen Zerfallsgrad aufweisen.

Der aktuelle Stand der wichtigsten Bestandteile ist unten aufgeführt.

Tragstruktur

Die tragende Struktur befindet sich in einem guten Zustand und besteht aus einem betonierten, zentralen Erschliessungskern zusammen mit den Perimeterwänden aus Kalksandstein. Die Decken, die Perimeterwände des Kellergeschosses und die eingegrabenen Bereiche des ersten Obergeschosses, sowie die ganze Einstellhalle wurden ebenfalls vor Ort betoniert.

Die Fassade ist in einem schlechten Zustand und braucht eine dringende Sanierung. Sie kann in zwei Bestandteile unterteilt werden. Das tragende Teil ist äusserlich an der gemauerten Schutzschicht in Sichtmauerwerk im Läuferverband zu erkennen, während das nicht tragende Teil die Fensteröffnungen aufnimmt und aus einer Schicht aus verputzten Kalksandstein besteht. Die Wärmedämmung der Fassaden ist nahezu nicht vorhanden und besteht aus 2 cm Kork, der sich zwischen den beiden Mauerwerksschalen befindet (bzw. im Inneren des nicht tragenden Teils). Die Perimeterwände des Kellergeschosses sind betoniert, ungedämmt und verputzt an der Fassade.

Fassade

Die verputzte Fassadenbereiche sind stark verfallen, sowie die Rollläden. Die Fenster sind Grossteils noch die aus 1963 und bestehen aus zwei miteinander verschraubten, einfachen Glasscheiben. Der Zwischenraum ist mit Luft gefüllt und die Holzrahmen sind weit undicht.

Aus thermischer Sicht ist die Fassade daher der schwächste und ineffizienteste Bereich des gesamten Gebäudes.

Das Dach wurde 1988 totalsaniert und ist noch in einem guten Zustand, obwohl es langsam am Ende seines Lebenszyklus kommen wird. Die Wärmedämmung besteht aus 100 mm Foamglas, was seinen Wärmedurchgangskoeffizienten im Vergleich zu dem der Fassade relativ gut macht, aber immer noch ungenügend in Bezug auf die heutigen klimatischen Bedingungen und Gesetze.

Dach

Wärmebrücken scheinen fast überall vorhanden zu sein: von den Geschossdecken bis zum Dachanschluss, vom Liftschacht bis zur ungedämmten Decke der Einstellhalle.

Die elektrische Anlage ist funktionsfähig. Aufgrund des Alters wäre aber im Fall einer Sanierung ein Ersatz denkbar.

Elektroanlage

Die Wärmeerzeugungsanlage wird mit fossilen Brennstoffen durch Verbrennung von Heizöl betrieben. Die erzeugte Wärme wird sowohl für die Warmwasseraufbereitung als auch für den Betrieb der Heizungsanlage genutzt, deren Verteilung auf die Wohnungen über Heizkörper erfolgt. Der Kessel wurde 1991 und der Brenner 2019 ersetzt. Das System arbeitet mit hohen Temperaturen und ist daher Exergie-ineffizient.

Heizung

**Sanitäranlage** Die Abwasserleitungen wurden 1997 komplett saniert und die Wasserleitungen (inkl. Heizungsverteilungsleitungen) wurden im folgenden Jahr ebenfalls komplett renoviert. Die Sanitäranlage ist darum gut funktionierend.

**Lüftungsanlage** Eine Reihe von Lüftungsschächten zieht die Luft aus den fensterlosen WCs ab. Das System ist nicht mechanisiert und funktioniert über den Kamineffekt, der durch das individuelle Öffnen von einem oder beiden Klappen entsteht, die in jeder Innentoilette vorhanden sind. Die warme Luft entweicht durch das Dach und wird durch frische Luft ersetzt, die von ausserhalb der Einstellhalle eingezogen wird. Das nicht-mechanisierte System sieht keine Wärmerückgewinnung vor und die Lüftungsklappen sind oft noch original, aus einfachem, ungedämmtem Metall. Obwohl noch gut funktionsfähig, ist das Lüftungssystem Ursache von beachtlichen Wärmeverlusten.

**Aufzug** Der Aufzug ist aus dem Jahr 1963 und ist aber in einem guten Zustand, da er jährlich gewartet wird. Der Liftschacht ist thermisch ungedämmt und geht von der (kalten) Einstellhalle bis zur vierten Obergeschoss, mit Liftaufstieg auf dem Dach.

**Innenausbau** Die Innere Trennwände sind aus dünnen Zellton und akustisch ineffizient. Weitere Bauteile wie z. B. die Fensterbrüstungen (Ostseite), die Wohnungstüren oder die Treppenhausbrüstungen entsprechen dem heutigen Sicherheitsstandards nicht.

**Ausbaustandard** Der Innenausbaustandard variiert stark von den einzelnen Wohnungen. Einige wurden im Laufe der Jahre renoviert, während andere noch weitgehend im Originalzustand sind. Daraus lässt sich ableiten, dass die Qualität, das Alter und vor allem die Effizienz der Haushaltsgeräte von Wohnung zu Wohnung sehr unterschiedlich sind, ebenso wie die installierten Lichtquellen.

### 3.2. Energiebedarf des Bestandsgebäudes

#### Strom

Lage	Wohnung	Verbrauch kWh/a	HNF m <sup>2</sup>	HNF %	Gewicht %
1. OG	Rechts	195	69	74.4%	30.0%
	Links	163	84.95	91.6%	25.0%
2. OG	Links	488	92.95	100.3%	75.0%
	Rechts	228	38.7	41.7%	35.0%
	Hauswart	650	47.2	50.9%	100.0%
3. OG	Rechts	65	98.45	106.2%	10.0%
	Links	650	92.7	100.0%	100.0%
4. OG	Rechts	423	98.15	105.9%	65.0%
	Links	423	92.65	99.9%	65.0%
Gemeinschaftsräume		5543	187.55	-	-
<b>Stromverbrauch</b>		<b>8'826</b>			
Strom/m <sup>2</sup> a		9.78			

#### Wasser

01.07.2016 - 30.06.2017	204 m <sup>3</sup>
01.07.2017 - 30.06.2018	169 m <sup>3</sup>
01.07.2018 - 30.06.2019	158 m <sup>3</sup>
01.07.2019 - 30.06.2020	212 m <sup>3</sup>
<b>Durchschnitt Wasserverbrauch</b>	<b>185.75 m<sup>3</sup></b>
	185'750 l
Wasserverbrauch pro m <sup>2</sup> jährlich	205.86 l/m <sup>2</sup> a

## Heizöl

Jahr	Ölverbrauch
2015/2016	16'187 l
2016/2017	15'000 l
2017/2018	15'314 l
2018/2019	13'500 l
2019/2020	14'757 l
<b>Durchschnitt Vol Ölverbrauch</b>	<b>14'952 l</b>

## Wärmebedarf

Heizleistung, jährlich = Volumen x Brennwert x Effizienz

Brennwert Öl (GCV)	10.8 kWh/l
Effizienz Brenner	90.0 %
<b>Wärmebedarf, jährlich</b>	<b>145'329.6 kWh/a</b>

Wärmebedarf pro m <sup>2</sup> jährlich	161.07 W/m <sup>2</sup> a
Ölverbrauch pro m <sup>2</sup> jährlich	16.57 l/m <sup>2</sup> a

Der Stromverbrauch ist eine Extrapolation, die sich aus dem tatsächlichen Verbrauch der Wohnung im dritten Obergeschoss Links ergibt. Unter Verwendung des Verbrauchs dieser Wohnung als Referenzwert wurden die Werte der anderen Wohnungen auf der Grundlage ihrer relativen Wohnfläche und durchschnittlichen Belegung geschätzt. Der Stromverbrauch der Gemeinschaftsräume basiert auf der Rechnung der letzten Rechnungsperiode.

Die Jahresverbrauchswerte für Wasser und Heizöl basieren auf dem tatsächlichen Verbrauch der letzten 4 bzw. 5 Jahre.

## 3.3. Emissionen des Bestandsgebäudes

### Strom

Stromkennzeichnung	Anteil %	Verbrauch kWh/a	Auflast Kg.CO <sub>2</sub> /kWh	Menge Kg CO <sub>2</sub> /a
Wasserkraft	25.526%	2253	0.012	27.034
Sonnenenergie	0.436%	38	0.096	3.694
Biomasse	0.017%	2	0.177	0.266
Weitere erneuerbarer Strom (gefördert)	6.300%	556	0.015	8.340
Kernenergie	67.721%	5977	0.023	137.464
<b>Total Strom</b>	<b>100%</b>	<b>8'826</b>		<b>176.798</b>

### Heizöl

	Verbrauch kWh/a	Auflast Kg CO <sub>2</sub> / kWh	Menge Kg CO <sub>2</sub> /a
Heizöl	145'329.6	0.301	43'744.2
<b>Total Öl</b>			<b>43'744.2</b>

### TOTAL

Emissionen Strom	+	176.798 Kg CO <sub>2</sub> /a
Emissionen Heizöl	=	43'744.2 Kg CO <sub>2</sub> /a
<b>Total Emissionen</b>		<b>43'921 Kg CO<sub>2</sub> /a</b>

Quelle der Angaben zum CO<sub>2</sub>-Gehalt: Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB, "Ökobilanzdaten im Baubereich".

### 3.4. Wandaufbau und U-Wert

Bauteil	Fläche m <sup>2</sup>	Schnitt	U-Wert W/m <sup>2</sup> K	
Fassade / Perimeter	Sichtbackstein	296.5		1.104
	Kalksandstein verputzt	214.5		1.358
	Beton verputzt (1. OG, gegen Wohnung)	16.5		1.074
	Beton (1. OG, Erdreich - Schutzräume)	43.5		3.984
	Beton - Zellton (1. OG, Erdreich - Wohnung)	8.55		0.899
	Beton verputzt (KG)	15.3		3.004

Bauteil	Fläche m <sup>2</sup>	Schnitt	U-Wert W/m <sup>2</sup> K
Bodenplatte 1. OG	234		1.064
Dach (Kiesfläche)	268		0.438
<b>TOT opak</b>	<b>1096.9</b>		<b>1.121</b>
Fenster	161.3	2x Einfachverglasung verschraubt, auf Holzrahmen.	2.64
<b>TOT transparent</b>	<b>161.3</b>		<b>2.64</b>

Quelle: Berechnung der U-Werte aus ubakus.com.

### 3.5. Belastungsspitze und Leerstände

Die Chesa Centrela ist ein Mehrfamilien-Ferienhaus und nur eine der neun Wohnungen wird permanent vom Hauswart bewohnt. Als Zweitwohnsitz unterliegt es daher einer sehr variablen Belegung über das Jahr hinweg.

Die folgende Grafik zeigt eine Schätzung der durchschnittlichen Gesamtbelegung über ein Jahr. Die beiden Zeiträume, in denen das Haus am meisten ausgelastet ist, sind die Zeiten der Weihnachtsferien und die Sommerwochen von Ende Juli bis August. Für den Rest des Jahres lassen sich zwei Trends unterscheiden: Während der Skisaison ist das Haus in Wellen ausgelastet, die oft den Zeiten von Karneval und Ostern folgen. In den wärmeren Monaten hingegen gibt es eine grössere "Grund"-Belegung zwischen Juni und August und dann die Spitze, die bereits erwähnt wurde. Im Grunde genommen ist das Haus den Rest des Jahres kaum bewohnt, besonders in den Zwischensaisons, also im April-Mai und im Oktober-November.

Insgesamt ist das Haus etwa dreissig Wochen im Jahr (ca. 58% der Gesamtzeit) kaum bewohnt. In 27% der Wochen liegt eine durchschnittliche Belegung vor, während nur in den restlichen 15% der Wochen das Haus zu mehr als drei Vierteln belegt ist. Die Auslastung der Chesa Centrela wird also im Jahresdurchschnitt auf rund 35% geschätzt.

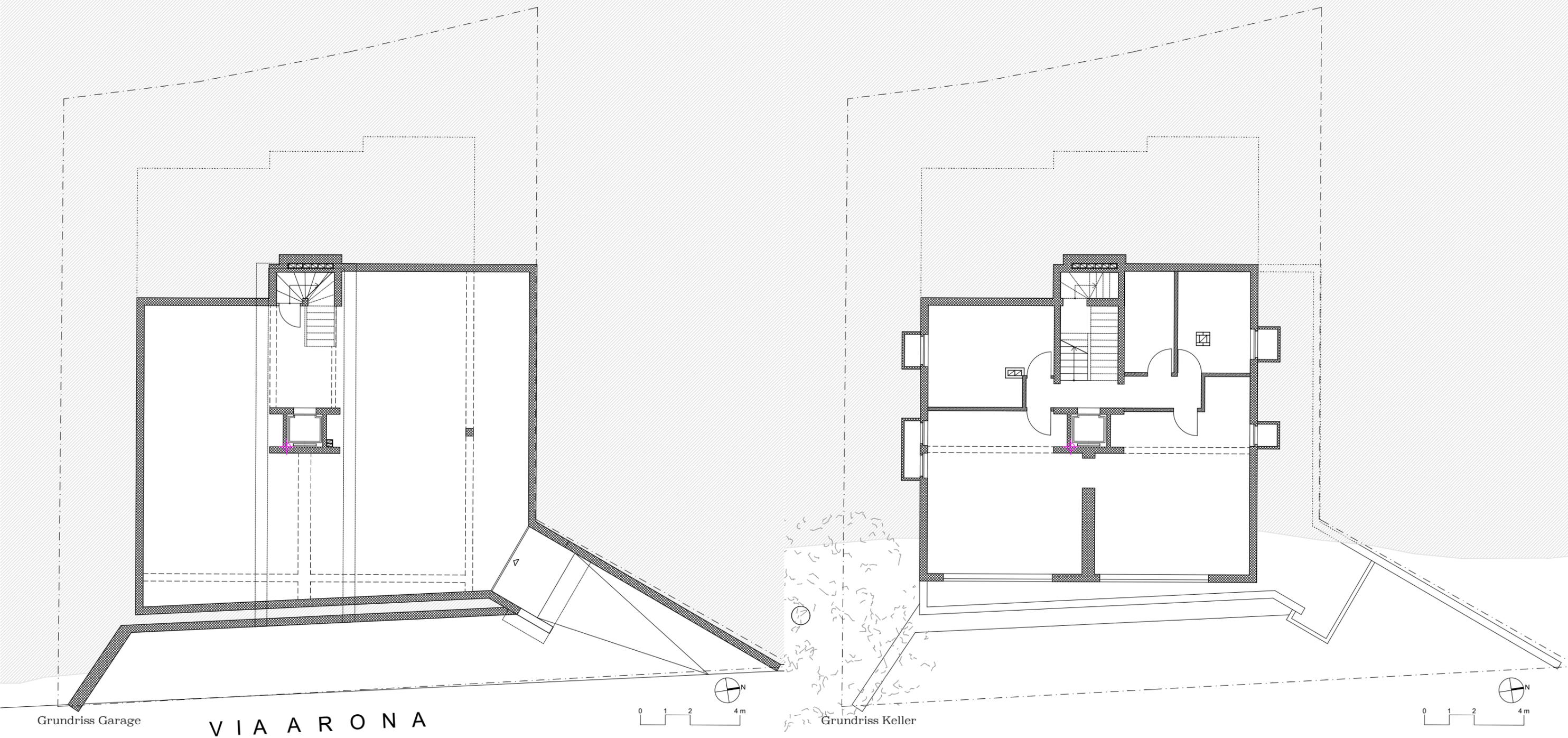
Durchschnittliche Belegung der Chesa Centrela über ein Jahr.



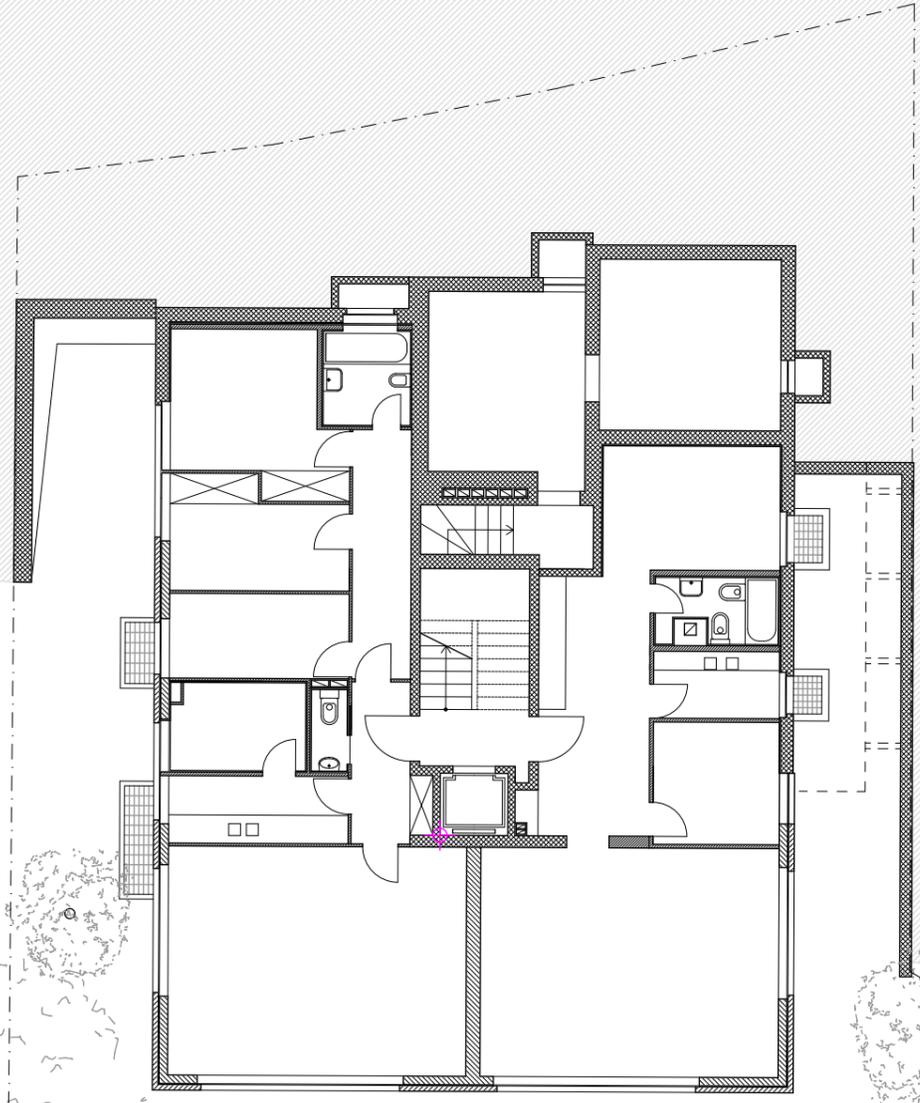
### 3.6. Gebäudegrunddaten

Position	Wert	Einheit
Grundstücksfläche	520.0	m <sup>2</sup>
Gebäudegrundfläche	234.7	m <sup>2</sup>
Anrech. Geschossfläche (SIA 416)	970.7	m <sup>2</sup>
Netto-Geschossfläche (SIA 416)	1118.0	m <sup>2</sup>
Gebäudevolumen (SIA 416)	4108.4	m <sup>3</sup>
Energiebezugsfläche	902.3	m <sup>2</sup>
Fassadenfläche (netto)	560.2	m <sup>2</sup>
Fassadenperimeter	63.2	m
Fensterfläche mit Sonnenschutz	161.3	m <sup>2</sup>
Verglaste Fläche	161.3	m <sup>2</sup>
Heizungsstärke	128.0	kW

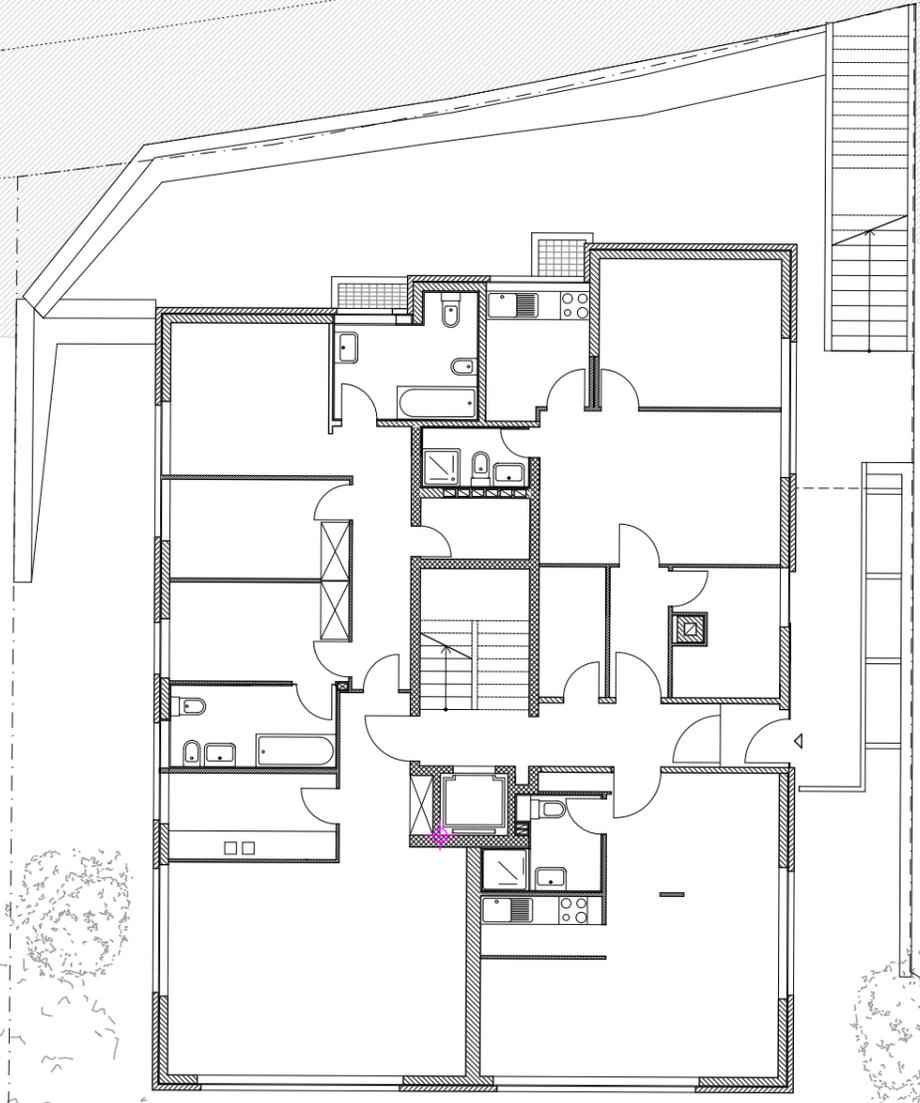
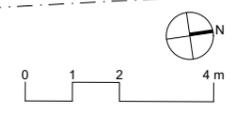
### 3.7. Plandokumentation



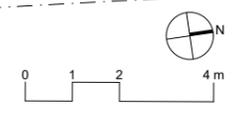
VIA DAL BAGN



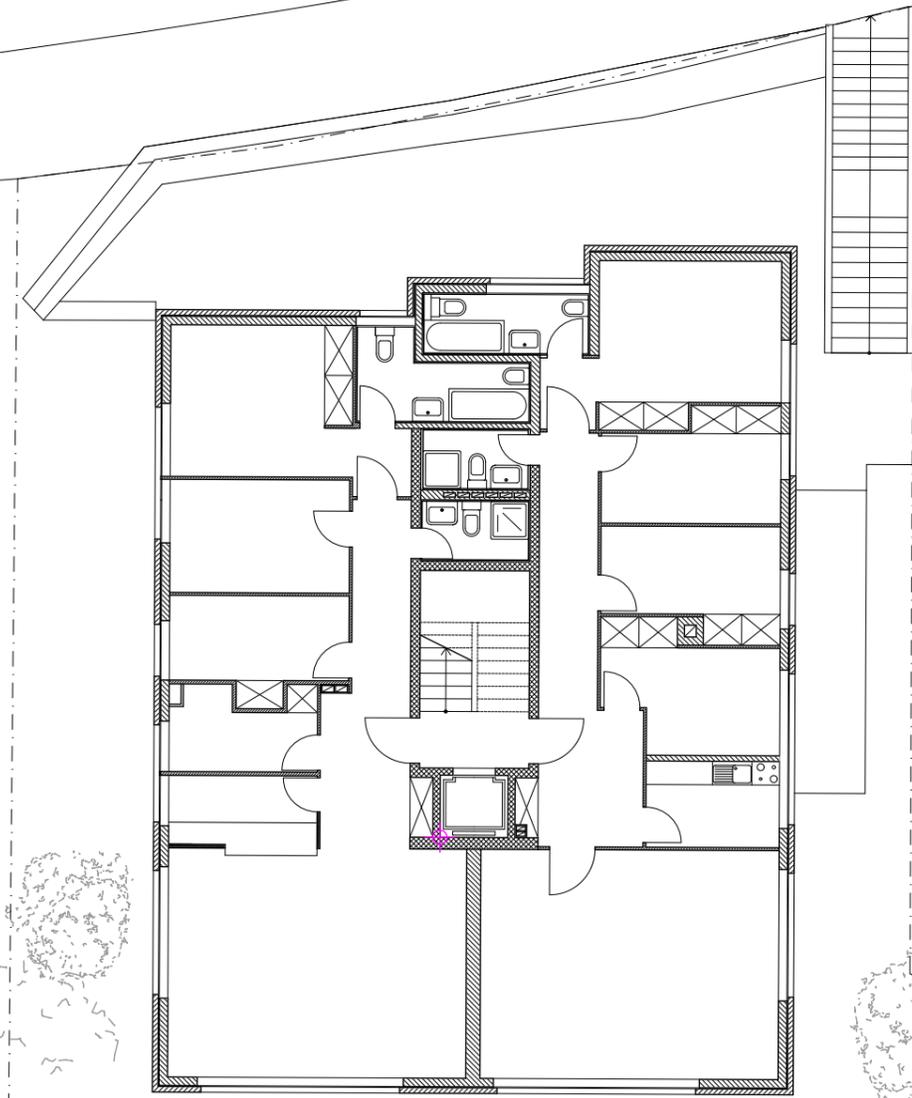
Grundriss 1. OG



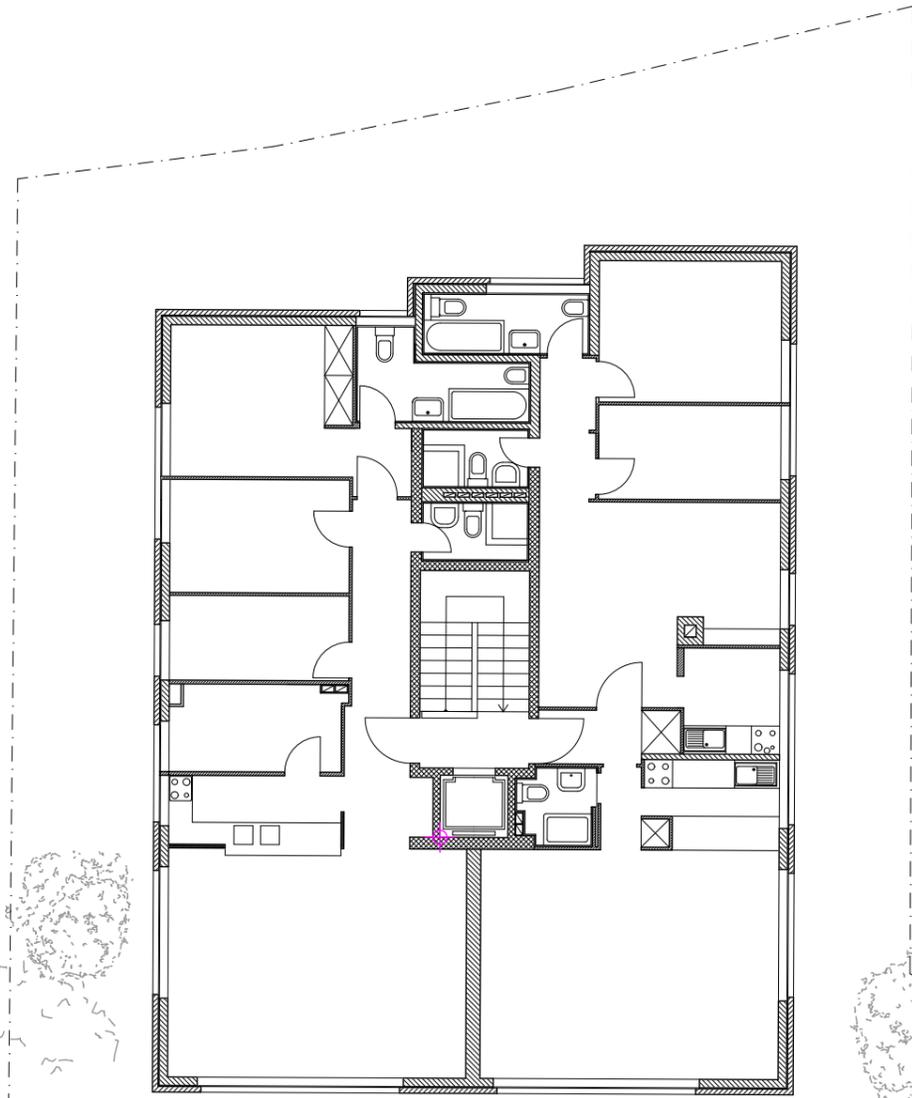
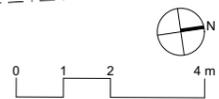
Grundriss 2. OG



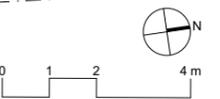
VIA DAL BAGN

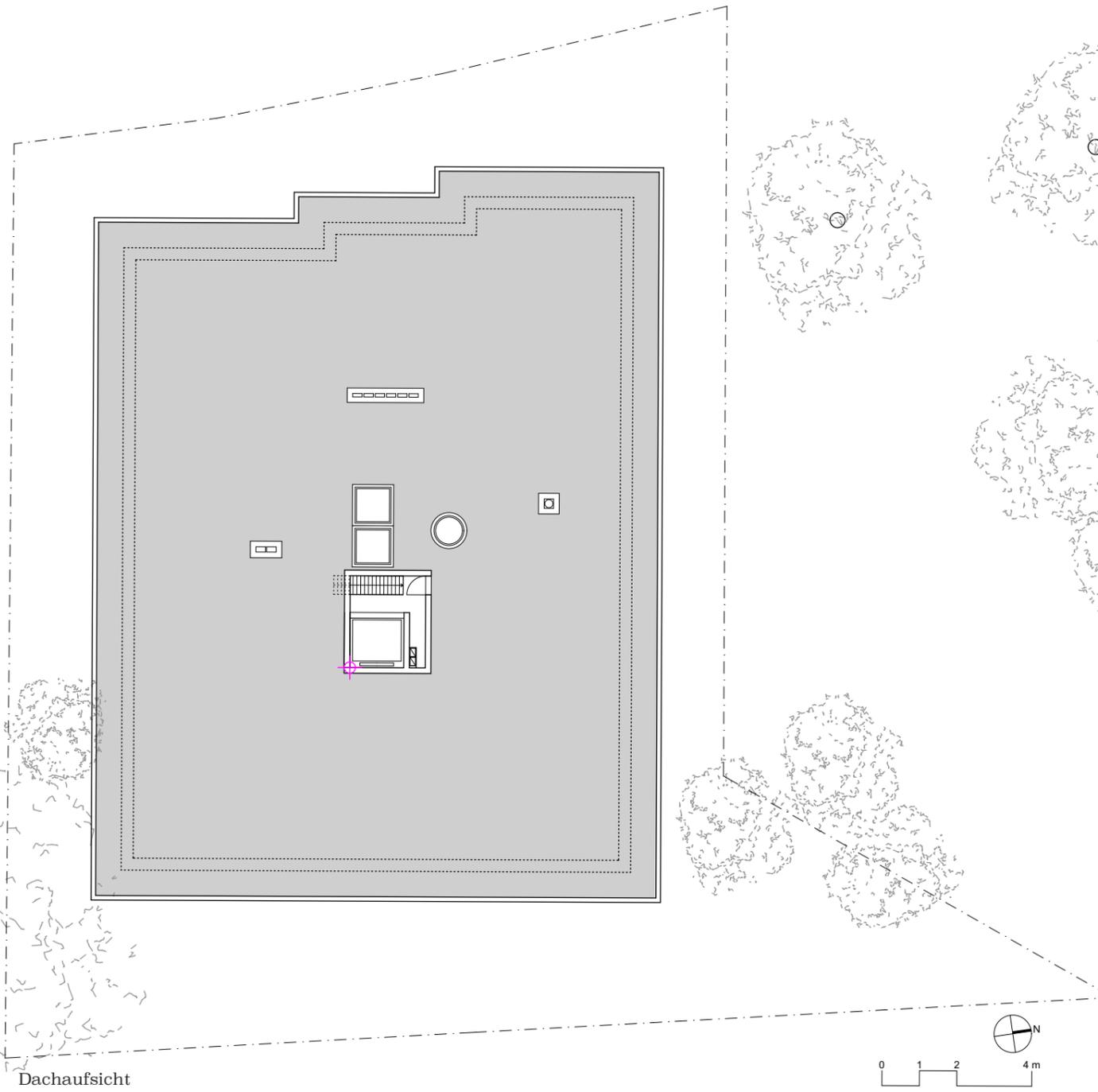


Grundriss 3. OG



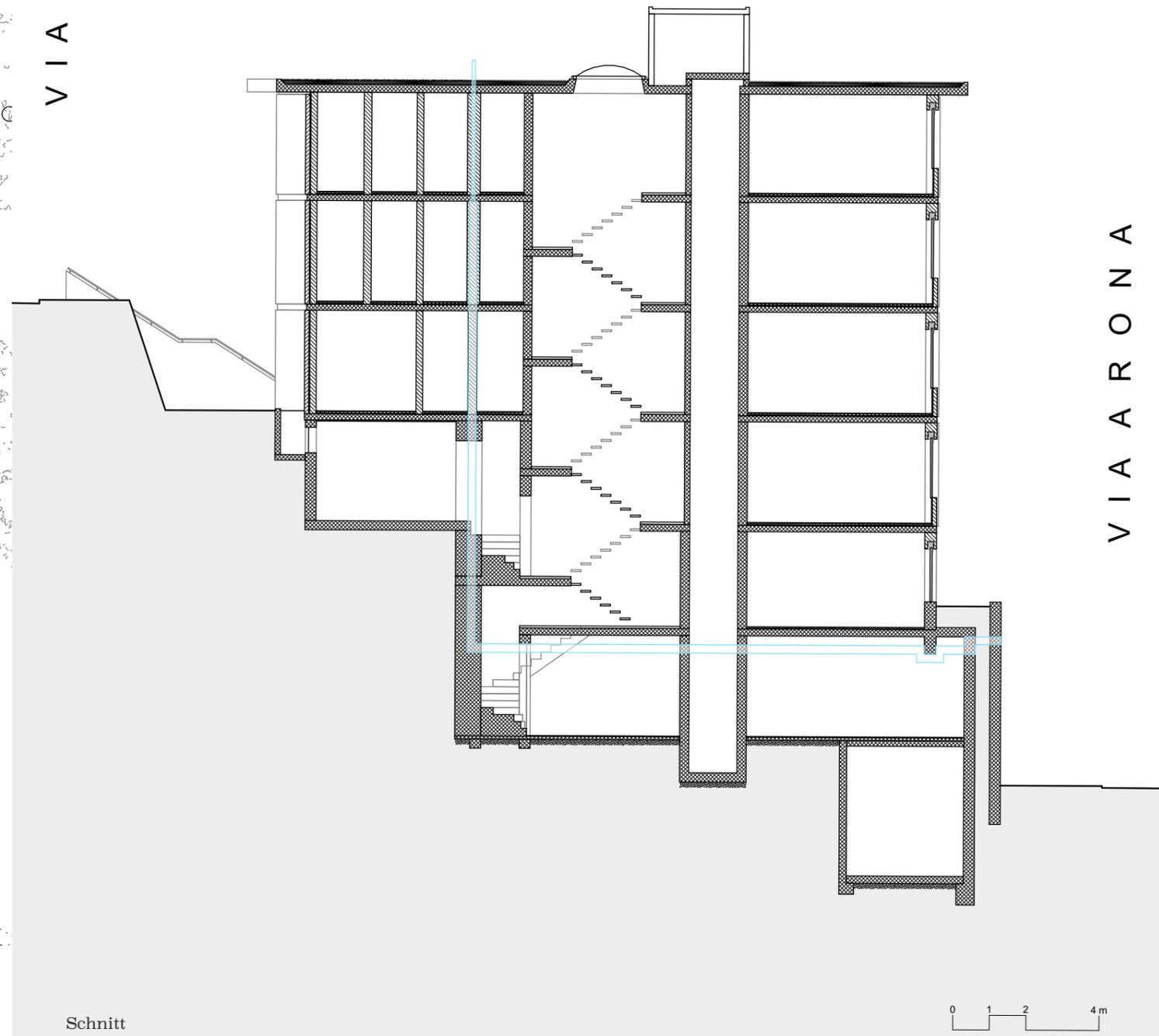
Grundriss 4. OG





Dachaufsicht

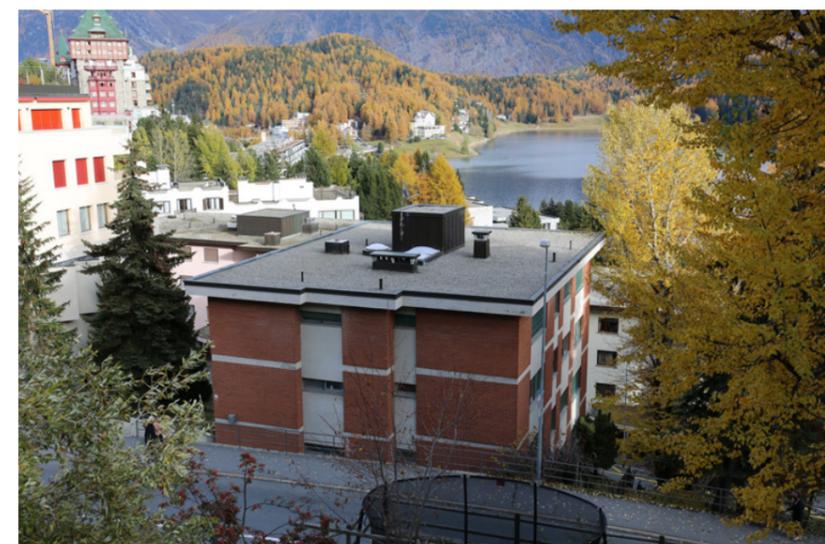
V I A D A L B A G N



Schnitt

V I A A R O N A

### 3.8. Fotografische Dokumentation





## 4. SANIERUNGSKONZEPT

### 4.1. Ausgangslage und Ziel

Wie im Baubeschrieb erläutert sind mehrere Bauteile des Hauses sanierungs- oder ersatzbedürftig. Die Gleichzeitigkeit der verschiedenen Eingriffe sowie die Tatsache, dass einige davon ziemlich bedeutsam und eingreifend sind, bedeuten, dass die Sanierung von ausserordentlicher Natur sein muss. Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Totalsanierung des Hauses zu nutzen, um das Bewusstsein der Eigentümer für Umweltfragen zu schärfen und somit das Projekt in Richtung Nachhaltigkeit zu beeinflussen, indem eine konkrete und durchdachte Sanierungsstrategie entwickelt wird.

Da der aktuelle Gebäudebestand für ca. 24% der Treibhausgasemissionen in unserem Land verantwortlich ist<sup>16</sup>, ist es zwingend notwendig, konkrete Massnahmen zu ergreifen, um seinen negativen Auswirkungen auf das Klima zu begrenzen. Wenn bei Neubauten die Normen und Gesetze eine Kehrtwende der Branche in diesem Sinne (zumindest teilweise) bereits ermöglichen, ist das Thema bei bestehenden Gebäuden heikler. Da es nicht möglich ist, Millionen von Gebäudeeigentümern von heute auf morgen zur energetischen Sanierung ihrer Gebäude zu zwingen, bedarf es einer Synergie zwischen öffentlichen Anreizen und einer zunehmenden Sensibilisierung privater Akteure, in dieser Richtung zu handeln.

Der Umfang der Sanierung an der Chesa Centrella ist wie gesagt recht gross. Ähnliche Arbeiten kommen normalerweise erst nach sehr lange Zyklen wieder vor. Vor diesem Hintergrund und auch unter Berücksichtigung der Energiestrategie 2050 des Bundes ist es wichtig, **jetzt** gewissenhaft

<sup>16</sup> Bundesamt für Umwelt (Hrsg.). Abteilung Klima, "Kenngrössen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz 1990-2018", Bern: 2018 (Aktualisiert 2020), S. 12-15.

zu handeln, denn es besteht heute eine echte Chance dazu. Eine Sanierung des Hauses ohne Berücksichtigung von Umweltaspekten wäre zweifellos eine verpasste Chance, da die Chesa Centrela bis zur nächsten Totalsanierung, d. h. im Durchschnitt für die nächsten 30 bis 50 Jahre, ansonsten eine Umweltbelastung bleiben würde!

Um diesem Szenario entgegenzuwirken, wird ein integrierter Sanierungsplan vorgeschlagen, mit dem Ziel, das Haus zu einem energieautarken Gebäude zu machen. Das bedeutet, dass die Chesa Centrela in Zukunft in der Lage sein wird, die für den eigenen Betrieb benötigte thermische und elektrische Energie selbst zu produzieren (Netto-Null-Architektur).

Auch die Umweltauswirkungen der neuen Materialien, die bei der Renovierung zum Einsatz kommen, werden berücksichtigt. Die enthaltene graue Energie wird daher quantifiziert und wird ein wichtiger Indikator für die Auswahl der zu verwendenden Materialien sein.

Die Entwicklung des Sanierungskonzeptes erfolgt in drei Schritten. Zunächst wird das Potenzial zur Verbesserung der Energieeffizienz des Gebäudes ermittelt und quantifiziert. Anschliessend werden anhand von kantonalen und eidgenössischen Normen die notwendigen Sanierungsmassnahmen zu deren Einhaltung festgelegt. Schliesslich wird der Energiebedarf des renovierten (gedämmten) Gebäudes ermittelt und die günstigste Methode zur Beschaffung der benötigten Energie ermittelt.

#### 4.2. Bestand: Berechnung des Heizwärmebedarfs

Mit der folgenden Tabelle<sup>17</sup> werden die monatlich anfallenden Wärmeverluste und -Einträge auf theoretischer Basis berechnet. Dann wird der Heizwärmebedarf berechnet, der als die Wärmemenge definiert ist, die benötigt wird, um die Verluste zu decken, wobei die internen Gewinne und ihr relativer Ausnutzungsgrad berücksichtigt werden.

Die Berechnung des Heizwärmebedarfs ergibt, dass das Haus  $3.03 \times 10^8$  Wh Wärme pro Jahr benötigt, was 303'000 kWh/a entspricht. Zu beachten ist, dass diese Berechnung von einer Vollbelegung des Hauses ausgeht. Wenn man bedenkt, dass die Chesa Centrela, wie gesehen, im Durchschnitt zu 35% bewohnt ist, reduziert sich der jährliche Wärmebedarf proportional dazu:

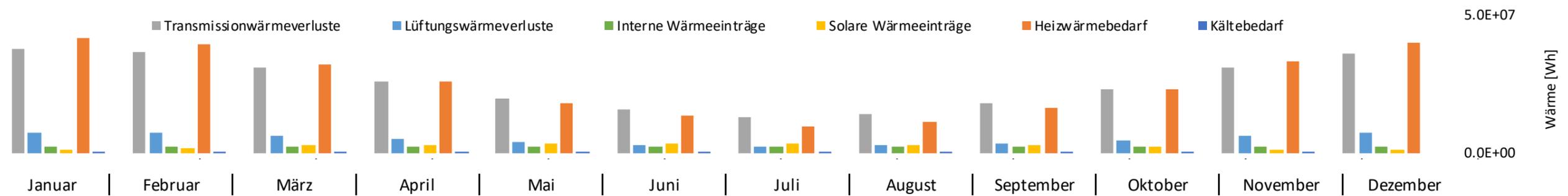
$$303'000 \text{ kWh/a} \times 0,35 = 106'050 \text{ kWh/a}$$

Es ist wichtig zu betonen, dass dieser Wert nur ein Orientierungswert ist, da er von einer Vielzahl von Faktoren abhängt, wie die Berechnungen auf den folgenden Seiten zeigen. Obwohl man versucht hat, jeden dieser Faktoren so genau wie möglich abzuschätzen bzw. zu bestimmen, muss man sich bei vielen von ihnen auf Richtwerte und Annahmen verlassen. Schon kleine Änderungen dieser Werte können erhebliche Unterschiede im numerischen Ergebnis erzeugen. Es muss daher berücksichtigt werden, dass diese Berechnung eine grobe Annäherung an die Komplexität der Faktoren darstellt, die den Heizwärmebedarf eines Gebäudes bestimmen.

<sup>17</sup> Chair of Architecture and Building Systems, Prof. A. Schlüter, ETH Zürich.

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Total Wh
<b>Transmissionswärmeverluste</b>													
Transmissionswärmeverluste	$Q_T = H_T \cdot (T_i - T_e) \cdot t$												
Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	$[Q_T] = \text{Wh}$												
Raumlufttemperatur	$[H_T] = \text{W/K}$												
Aussenlufttemperatur	$[T_i] = \text{K oder } ^\circ\text{C}$												
Länge der Berechnungsperiode	$[T_e] = \text{K oder } ^\circ\text{C}$												
	$[t] = \text{h}$												
	3.8E+07	3.6E+07	3.1E+07	2.6E+07	2.0E+07	1.6E+07	1.3E+07	1.4E+07	1.8E+07	2.3E+07	3.1E+07	3.6E+07	3.0E+08
	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655
	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	-8.6	-7.5	-2.9	1.2	6.3	9.8	12.1	11.4	7.9	3.7	-2.8	-7.3	
	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720
<b>Transmissions-Wärmetransferkoeffizient</b>													
Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	$H_T = A_{op} \cdot U_{op} + A_w \cdot U_w$												
Aussenwandfläche (opak)	$[H_T] = \text{W/K}$												
Aussenwandfläche (transparent) = Fenster	$[A_{op}] = \text{m}^2$												
Wärmedurchgangskoeffizient Aussenwand (opak)	$[A_w] = \text{m}^2$												
Wärmedurchgangskoeffizient Fenster	$[U_{op}] = \text{W}/(\text{m}^2\text{K})$												
	$[U_w] = \text{W}/(\text{m}^2\text{K})$												
	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655
	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097
	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161
	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12
	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64	2.64
<b>Lüftungswärmeverluste</b>													
Lüftungswärmeverluste	$Q_V = H_V \cdot (T_i - T_e) \cdot t$												
Lüftungs- Wärmetransferkoeffizient	$[Q_V] = \text{Wh}$												
Raumlufttemperatur	$[H_V] = \text{W/K}$												
Aussenlufttemperatur	$[T_i] = \text{K oder } ^\circ\text{C}$												
Länge der Berechnungsperiode	$[T_e] = \text{K oder } ^\circ\text{C}$												
	$[t] = \text{h}$												
	7.7E+06	7.4E+06	6.3E+06	5.3E+06	4.1E+06	3.2E+06	2.6E+06	2.8E+06	3.7E+06	4.7E+06	6.3E+06	7.4E+06	6.1E+07
	337	337	337	337	337	337	337	337	337	337	337	337	337
	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
	-8.6	-7.5	-2.9	1.2	6.3	9.8	12.1	11.4	7.9	3.7	-2.8	-7.3	
	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720
<b>Lüftungs-Wärmetransferkoeffizient</b>													
Lüftungs- Wärmetransferkoeffizient	$H_V = \dot{V}_{th} \cdot \rho \cdot c_p$												
Thermisch wirksamer Aussenluft-Volumenstrom	$[H_V] = \text{W/K}$												
Dichte Luft	$[\dot{V}_{th}] = \text{m}^3/\text{s}$												
Spezifische Wärmekapazität Luft	$[\rho] = \text{kg}/\text{m}^3$												
	$[c_p] = \text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$												
	337	337	337	337	337	337	337	337	337	337	337	337	337
	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005
<b>Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom</b>													
Thermisch wirksamer Aussenluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{th} = \dot{V}_e \cdot (1 - \eta_{rec}) + \dot{V}_{inf}$												
Aussenluft-Volumenstrom durch Lüftung	$[\dot{V}_{th}] = \text{m}^3/\text{h oder m}^3/\text{s}$												
Aussenluft-Volumenstrom durch Infiltration	$[\dot{V}_e] = \text{m}^3/\text{h oder m}^3/\text{s}$												
Nutzungsgrad der Wärmerückgewinnung	$[\dot{V}_{inf}] = \text{m}^3/\text{h oder m}^3/\text{s}$												
	$[\eta_{rec}] = -$												
	1006.2	1006.2	1006.2	1006.2	1006.2	1006.2	1006.2	1006.2	1006.2	1006.2	1006.2	1006.2	1006.2
	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8
	335.4	335.4	335.4	335.4	335.4	335.4	335.4	335.4	335.4	335.4	335.4	335.4	335.4
	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Interne Wärmeinträge</b>													
Interne Wärmeinträge	$Q_i = \Phi_P \cdot t_P + \Phi_B \cdot t_B + \Phi_G \cdot t_G$												
Wärmeabgabe Personen	$[Q_i] = \text{Wh}$												
Wärmeabgabe Beleuchtung	$[\Phi_P] = \text{W}$												
Wärmeabgabe Geräte	$[\Phi_B] = \text{W}$												
Vollaststunden Personen	$[\Phi_G] = \text{W}$												
Vollaststunden Beleuchtung	$[t_P] = \text{h}$												
Vollaststunden Geräte	$[t_B] = \text{h}$												
	$[t_G] = \text{h}$												
	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.8E+07
	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2
	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6
	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944
	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420
	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Solare Wärmeinträge</b>													
Solare Wärmeinträge	$Q_s = G \cdot F_F \cdot A_w \cdot g \cdot f_v$												
Globalstrahlung auf horizontale Fläche	$[Q_s] = \text{kWh}$												
Faktor für Ausrichtung der Einstrahlungsebene	$[G] = \text{kWh}/\text{m}^2$												
Aussenwandfläche (transparent) = Glasfläche	$[F_F] = -$												
Energiedurchlassgrad Verglasung (g-Wert)	$[A_w] = \text{m}^2$												
Reduktionsfaktor durch externe Verschattung (Sonnenschutz, Überhang, Seitenblende)	$[g] = -$												
	$[f_v] = -$												
	1.4E+03	2.1E+03	3.0E+03	3.2E+03	3.4E+03	3.3E+03	3.5E+03	3.2E+03	2.8E+03	2.3E+03	1.5E+03	1.3E+03	3.1E+04
	54.4	74.7	125.0	149.2	172.5	175.0	182.2	156.1	116.7	83.3	52.5	43.9	
	0.67	0.72	0.63	0.55	0.51	0.49	0.5	0.53	0.61	0.7	0.74	0.76	
	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161
	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Total Wh
<b>Heizwärmebedarf</b>	$Q_H = Q_T + Q_V - \eta_g \cdot (Q_i + Q_s)$												
Heizwärmebedarf	4.2E+07	3.9E+07	3.2E+07	2.6E+07	1.8E+07	1.3E+07	9.9E+06	1.1E+07	1.7E+07	2.3E+07	3.3E+07	4.0E+07	3.0E+08
Transmissionswärmeverluste	3.8E+07	3.6E+07	3.1E+07	2.6E+07	2.0E+07	1.6E+07	1.3E+07	1.4E+07	1.8E+07	2.3E+07	3.1E+07	3.6E+07	3.0E+08
Lüftungswärmeverluste	7.7E+06	7.4E+06	6.3E+06	5.3E+06	4.1E+06	3.2E+06	2.6E+06	2.8E+06	3.7E+06	4.7E+06	6.3E+06	7.4E+06	6.1E+07
Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Interne Wärmeeinträge	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.8E+07
Solare Wärmeeinträge	1.4E+06	2.1E+06	3.0E+06	3.2E+06	3.4E+06	3.3E+06	3.5E+06	3.2E+06	2.8E+06	2.3E+06	1.5E+06	1.3E+06	3.1E+07
<b>Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne/verluste</b>	Im Heizfall: $\eta_g = \frac{(1-\gamma^a)}{(1-\gamma^{a+1})}$ Im Kühlfall: $\eta_g = \frac{(1-\gamma^{-a})}{(1-\gamma^{-(a+1)})}$ $a = 1 + \frac{\tau}{15}, \eta_g = 1$ wenn $\gamma < 0$												
Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.98	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis	0.08	0.10	0.15	0.18	0.24	0.30	0.38	0.33	0.24	0.17	0.10	0.08	0.08
Zeitkonstante des Gebäudes	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86
<b>Kältebedarf</b>	$Q_K = Q_i + Q_s - \eta_g \cdot (Q_T + Q_V)$												
Kältebedarf	5.4E+02	1.3E+03	5.2E+03	1.0E+04	2.9E+04	5.7E+04	1.2E+05	7.8E+04	2.4E+04	7.0E+03	1.2E+03	0.0E+00	3.3E+05
Transmissionswärmeverluste	3.8E+07	3.6E+07	3.1E+07	2.6E+07	2.0E+07	1.6E+07	1.3E+07	1.4E+07	1.8E+07	2.3E+07	3.1E+07	3.6E+07	3.0E+08
Lüftungswärmeverluste	7.7E+06	7.4E+06	6.3E+06	5.3E+06	4.1E+06	3.2E+06	2.6E+06	2.8E+06	3.7E+06	4.7E+06	6.3E+06	7.4E+06	6.1E+07
Ausnutzungsgrad für Wärmeverluste	0.08	0.10	0.15	0.18	0.24	0.30	0.37	0.33	0.23	0.17	0.10	0.08	0.08
Interne Wärmeeinträge	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.8E+07
Solare Wärmeeinträge	1.4E+06	2.1E+06	3.0E+06	3.2E+06	3.4E+06	3.3E+06	3.5E+06	3.2E+06	2.8E+06	2.3E+06	1.5E+06	1.3E+06	3.1E+07
<b>Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne/verluste</b>	Im Heizfall: $\eta_g = \frac{(1-\gamma^a)}{(1-\gamma^{a+1})}$ Im Kühlfall: $\eta_g = \frac{(1-\gamma^{-a})}{(1-\gamma^{-(a+1)})}$ $a = 1 + \frac{\tau}{15}, \eta_g = 1$ wenn $\gamma < 0$												
Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne	0.08	0.10	0.15	0.18	0.24	0.30	0.37	0.33	0.23	0.17	0.10	0.08	0.08
Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis	0.08	0.10	0.15	0.18	0.24	0.30	0.38	0.33	0.24	0.17	0.10	0.08	0.08
Zeitkonstante des Gebäudes	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86
<b>Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis</b>	$\gamma = \frac{Q_i + Q_s}{Q_T + Q_V}$												
Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis	0.08	0.10	0.15	0.18	0.24	0.30	0.38	0.33	0.24	0.17	0.10	0.08	0.08
Transmissionswärmeverluste	3.8E+07	3.6E+07	3.1E+07	2.6E+07	2.0E+07	1.6E+07	1.3E+07	1.4E+07	1.8E+07	2.3E+07	3.1E+07	3.6E+07	3.0E+08
Lüftungswärmeverluste	7.7E+06	7.4E+06	6.3E+06	5.3E+06	4.1E+06	3.2E+06	2.6E+06	2.8E+06	3.7E+06	4.7E+06	6.3E+06	7.4E+06	6.1E+07
Interne Wärmeeinträge	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.8E+07
Solare Wärmeeinträge	1.4E+06	2.1E+06	3.0E+06	3.2E+06	3.4E+06	3.3E+06	3.5E+06	3.2E+06	2.8E+06	2.3E+06	1.5E+06	1.3E+06	3.1E+07
<b>Zeitkonstante</b>	$\tau = \frac{C \cdot A}{H_T + H_V}$												
Zeitkonstante des Gebäudes	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86	37.86
Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74	68.74
Wärmespeichernde Flächen	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097
Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655	1655
Lüftungs- Wärmetransferkoeffizient	337	337	337	337	337	337	337	337	337	337	337	337	337



Einschätzung Trotz des indikativen Charakters der erhaltenen Werte lassen die endgültigen Grafiken dennoch wichtige Rückschlüsse auf die Verteilung des Verbrauchs in der Chesa Centrella zu. In der Tat ist zu erkennen, dass das Gebäude grosse Wärmeverluste durch Transmission an die äussere Umgebung aufweist. Grund dafür ist die schlechte Wärmedämmung der Gebäudehülle, die für 83% der jährlichen Wärmeverluste verantwortlich ist. Die restlichen 17 % sind Lüftungswärmeverluste, die durch undichte Stellen in der Gebäudehülle oder durch die Lüftung der WCs entstehen. Diese Verluste während der kältesten Monaten addieren sich zu den Gesamtwärmeverlusten, während sie in den Zwischensaisons oft durch die Interne- und Solarewärmeeinträge abgedeckt werden. In den Sommermonaten reduzieren die Gewinne den Heizwärmebedarf, da sie ein Teil der Transmissionswärmeverluste ausgleichen. Da die Temperaturen im Engadin aber so sind, dass fast das ganze Jahr über geheizt werden muss, bleibt der Einfluss der Transmissionswärmeverluste auf den Heizwärmebedarf sehr markant. Aus diesem Grund ist das das Hauptelement, an dem man ansetzen muss, um die Energieeffizienz des Gebäudes zu verbessern.

### 4.3. Energieeffizienz: die Sanierungsmassnahmen

Um die Transmissionswärmeverluste zu reduzieren, muss die Gebäudehülle, d. h. die Fassaden, das Dach und die Decke zur Kellergeschoss, gedämmt werden. Gleichzeitig müssen auch alle Fenster ausgetauscht werden.

Die Energieverordnung des Kantons Graubünden setzt folgende Grenzwerte für Umbauten vor (Art 6, Anhang 2, BEV).

Bauteil	Grenzwerte U, W/(m <sup>2</sup> .K)	
	Gegen Aussenklima oder < 2 m im Erdreich	Unbeheizte Räume oder > 2 m im Erdreich
Dach	0.25	0.28
Decke	0.25	0.28
Wand	0.25	0.28
Boden	0.25	0.28
Fenster, Fenstertüren	1.00	1.30
Türen	1.20	1.50
Tore	1.70	2.00
Storenkasten	0.50	0.50

Um die entsprechenden Grenzwerte zu erreichen, müssen die Fassaden mit einer Schicht von ca. 14 cm Schafswolle (Fisolan Dämmplatten<sup>17</sup>) bedeckt werden und das Dach muss mit einem Warmdach mit 18cm Steinwolle als Wärmedämmung saniert werden.

Die Fenster werden durch leistungsstarke, standard 3-fach Verglasungen mit Holzrahmen ersetzt.

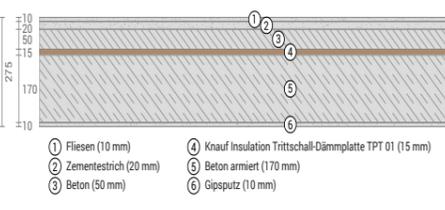
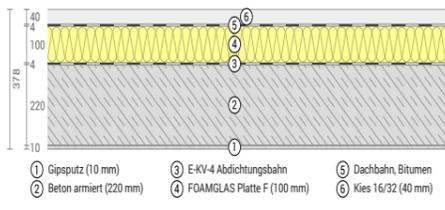
Die folgende Tabelle vergleicht die Wärmedurchgangskoeffizienten sowie die Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten vor und nach den Sanierungsmassnahmen.

<sup>18</sup> Siehe: fisolan.ch/.

		Bestand		
Bauteil	Fläche m <sup>2</sup>	Schnitt	U-Wert W/m <sup>2</sup> K	Wärmespei- herfähigkeit Wh/m <sup>2</sup> K
Fassade / Perimeter	Sichtbackstein	296.5 	1.104	77.28
	Kalksandstein verputzt	214.5 	1.358	13.34
	Beton verputzt (1. OG, gegen Wohnung)	16.5 	1.074	25.58
	Beton (1. OG, Erdreich - Schutzräume)	43.5 	3.984	44.76
	Beton - Zellton (1. OG, Erdreich - Wohnung)	8.55 	0.899	43.65
	Beton verputzt (KG)	15.3 	3.004	65.33

		Saniert	
Schnitt	U-Wert W/m <sup>2</sup> K	Wärmespei- herfähigkeit Wh/m <sup>2</sup> K	
	0.208	308.86	
	0.216	60.33	
	0.207	150.40	
	0.268	15.01	
	0.265	13.07	
	0.236	174.31	

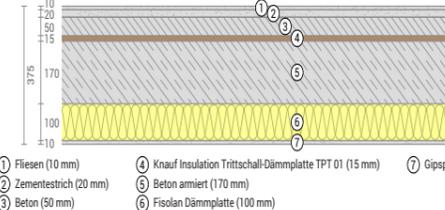
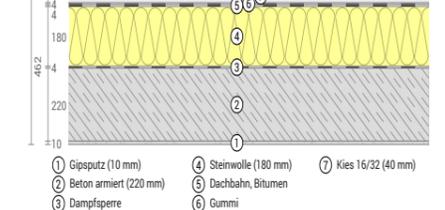
Quelle: Berechnung der U-Werte aus ubakus.com.

Bestand				
Bauteil	Fläche m <sup>2</sup>	Schnitt	U-Wert W/m <sup>2</sup> K	Wärmespeic- herfähigkeit Wh/m <sup>2</sup> K
Bodenplatte 1. OG	234		1.064	50.87
Dach Dach (Kie- sfläche)	268		0.438	126.77

<b>TOT opak</b>	<b>1096.9</b>		<b>1.121</b>	<b>68.74</b>
-----------------	---------------	--	--------------	--------------

Fenster	161.3	2x Einfachverglasung ver- schraubt, auf Holzrahmen.	2.64	
---------	-------	--	------	--

<b>TOT transparent</b>	<b>161.3</b>		<b>2.64</b>	
------------------------	--------------	--	-------------	--

Saniert			
Schnitt	U-Wert W/m <sup>2</sup> K	Wärmespeic- herfähigkeit Wh/m <sup>2</sup> K	
	0.269	160.23	
	0.206	132.05	

	<b>0.213</b>	<b>160.23</b>	
--	--------------	---------------	--

Dreifachverglasung mit Holzrahmen.	1.000		
---------------------------------------	-------	--	--

	<b>1.000</b>		
--	--------------	--	--

Einschätzung Die Verbesserung der Dämmung der Gebäudehülle reduziert automatisch auch die Lüftungswärmeverluste durch Infiltration, da das Gebäude dichter wird.

Ein weiteres Potenzial zur Verbesserung der Energieeffizienz liegt in der Lüftungsanlage. Besonders ineffizient sind derzeit die ungedämmten Lüftungsklappen bei den WCs. Durch den Einbau neuer isolierter Klappen mit Ventilatoren wird der unkontrollierte Wärmeaustritt effizient unterbrochen und es können bereits gute Ergebnisse erzielt werden. Wenn das System nicht in Betrieb ist (Ventilatoren aus), sind die Klappen geschlossen und die Wärmeverluste minimal. Beim Einschalten des Ventilators wird die von den Toiletten angesaugte Luft nach aussen abgegeben und die darin enthaltene Wärme wird jedoch verloren. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, an die geringe Belegung des Hauses zu denken. Daraus folgt, dass die Anzahl der Stunden pro Jahr, in denen die Ventilatoren in Betrieb sein würden, sehr begrenzt ist. Berücksichtigt man zudem, dass die Lüftung nur für die Sekundär-WCs und nicht für die Hauptbäder (über Fenster belüftet) dient, wird das Problem der Lüftungswärmeverluste über das Abluftsystem als vernachlässigbar angesehen, da es relativ gering ist.

Wollte man aber auch in diesem Sinne eingreifen, könnte man Ventilatoren mit Wärmerückgewinnung installieren, die Wärme von der Abluft zur Zuluft austauschen. Die Diskussion wird in diesem Fall zu einer rein wirtschaftlichen Berechnung.

#### 4.4. Sanierung: Berechnung des Heizwärmebedarfs

Im Folgenden wird zur Berechnung des Heizwärmebedarfs wieder dieselbe Tabelle<sup>19</sup> aus Kapitel 4.2 vorgeschlagen, wobei diesmal die neuen Werte in Bezug auf die vorgeschlagenen Sanierungsmassnahmen eingefügt wurden. Insbesondere die Dämmung der Gebäudehülle führt zu besseren Wärmedurchgangs- und Wärmespeicherkapazitätswerten, sowie zu geringere Lüftungswärmeverluste.

Das Ergebnis zeigt eine deutliche Reduzierung des theoretischen Wärmebedarfs, der bei einer Vollbelegung des Hauses auf ca. 77'690 kWh/a geschätzt wird und sich bei einer Auslastung des Ferienhauses von 35% weiter wie folgt reduziert wird:

$$77'690 \text{ kWh/a} \times 0.35 = 27'190 \text{ kWh/a}$$

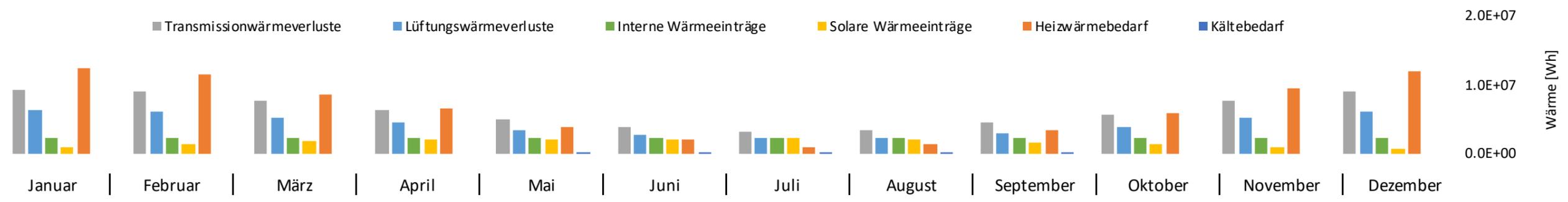
Durch die Umsetzung der oben genannten Sanierungsmassnahmen konnte der Heizwärmebedarf der Chesa Centrella um 74% reduziert werden!

Bestand: 106'050 kWh/a  
Saniert: 27'190 kWh/a  
--> Reduktion: -74%

<sup>19</sup> Chair of Architecture and Building Systems, Prof. A. Schlüter, ETH Zürich.

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Total Wh
<b>Transmissionswärmeverluste</b>													
Transmissionswärmeverluste	$Q_T = H_T \cdot (T_i - T_e) \cdot t$												
Transmissionswärmeverluste	9.3E+06	9.0E+06	7.6E+06	6.4E+06	4.9E+06	3.9E+06	3.2E+06	3.4E+06	4.4E+06	5.7E+06	7.6E+06	8.9E+06	7.4E+07
Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	$[Q_T] = \text{Wh}$												
Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408
Raumlufttemperatur	$[H_T] = \text{W/K}$												
Raumlufttemperatur	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Aussenlufttemperatur	$[T_i] = \text{K oder } ^\circ\text{C}$												
Aussenlufttemperatur	-8.6	-7.5	-2.9	1.2	6.3	9.8	12.1	11.4	7.9	3.7	-2.8	-7.3	
Länge der Berechnungsperiode	$[T_e] = \text{K oder } ^\circ\text{C}$												
Länge der Berechnungsperiode	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720
<b>Transmissions-Wärmetransferkoeffizient</b>													
$H_T = A_{op} \cdot U_{op} + A_w \cdot U_w$													
Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	$[H_T] = \text{W/K}$												
Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408
Aussenwandfläche (opak)	$[A_{op}] = \text{m}^2$												
Aussenwandfläche (opak)	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097
Aussenwandfläche (transparent) = Fenster	$[A_w] = \text{m}^2$												
Aussenwandfläche (transparent) = Fenster	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161
Wärmedurchgangskoeffizient Aussenwand (opak)	$[U_{op}] = \text{W}/(\text{m}^2\text{K})$												
Wärmedurchgangskoeffizient Aussenwand (opak)	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Wärmedurchgangskoeffizient Fenster	$[U_w] = \text{W}/(\text{m}^2\text{K})$												
Wärmedurchgangskoeffizient Fenster	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
<b>Lüftungswärmeverluste</b>													
Lüftungswärmeverluste	$Q_v = H_v \cdot (T_i - T_e) \cdot t$												
Lüftungswärmeverluste	6.4E+06	6.2E+06	5.2E+06	4.4E+06	3.4E+06	2.7E+06	2.2E+06	2.3E+06	3.1E+06	3.9E+06	5.2E+06	6.1E+06	5.1E+07
Lüftungs- Wärmetransferkoeffizient	$[Q_v] = \text{Wh}$												
Lüftungs- Wärmetransferkoeffizient	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281
Raumlufttemperatur	$[H_v] = \text{W/K}$												
Raumlufttemperatur	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23	23
Aussenlufttemperatur	$[T_i] = \text{K oder } ^\circ\text{C}$												
Aussenlufttemperatur	-8.6	-7.5	-2.9	1.2	6.3	9.8	12.1	11.4	7.9	3.7	-2.8	-7.3	
Länge der Berechnungsperiode	$[T_e] = \text{K oder } ^\circ\text{C}$												
Länge der Berechnungsperiode	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720	720
<b>Lüftungs-Wärmetransferkoeffizient</b>													
$H_v = \dot{V}_{th} \cdot \rho \cdot c_p$													
Lüftungs- Wärmetransferkoeffizient	$[H_v] = \text{W/K}$												
Lüftungs- Wärmetransferkoeffizient	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281
Thermisch wirksamer Aussenluft-Volumenstrom	$[\dot{V}_{th}] = \text{m}^3/\text{s}$												
Thermisch wirksamer Aussenluft-Volumenstrom	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23	0.23
Dichte Luft	$[\dot{V}] = \text{m}^3/\text{h oder m}^3/\text{s}$												
Dichte Luft	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
Spezifische Wärmekapazität Luft	$[\rho] = \text{kg}/\text{m}^3$												
Spezifische Wärmekapazität Luft	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005	1005
<b>Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom</b>													
$\dot{V}_{th} = \dot{V}_e \cdot (1 - \eta_{rec}) + \dot{V}_{inf}$													
Thermisch wirksamer Aussenluft-Volumenstrom	$[\dot{V}_{th}] = \text{m}^3/\text{h oder m}^3/\text{s}$												
Thermisch wirksamer Aussenluft-Volumenstrom	838.5	838.5	838.5	838.5	838.5	838.5	838.5	838.5	838.5	838.5	838.5	838.5	838.5
Aussenluft-Volumenstrom durch Lüftung	$[\dot{V}_e] = \text{m}^3/\text{h oder m}^3/\text{s}$												
Aussenluft-Volumenstrom durch Lüftung	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8	670.8
Aussenluft-Volumenstrom durch Infiltration	$[\dot{V}_{inf}] = \text{m}^3/\text{h oder m}^3/\text{s}$												
Aussenluft-Volumenstrom durch Infiltration	167.7	167.7	167.7	167.7	167.7	167.7	167.7	167.7	167.7	167.7	167.7	167.7	167.7
Nutzungsgrad der Wärmerückgewinnung	$[\eta_{rec}] = -$												
Nutzungsgrad der Wärmerückgewinnung	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Interne Wärmeinträge</b>													
$Q_i = \Phi_p \cdot t_p + \Phi_B \cdot t_B + \Phi_G \cdot t_G$													
Interne Wärmeinträge	$[Q_i] = \text{Wh}$												
Interne Wärmeinträge	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.8E+07
Wärmeabgabe Personen	$[\Phi_p] = \text{W}$												
Wärmeabgabe Personen	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2	1565.2
Wärmeabgabe Beleuchtung	$[\Phi_B] = \text{W}$												
Wärmeabgabe Beleuchtung	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6	3018.6
Wärmeabgabe Geräte	$[\Phi_G] = \text{W}$												
Wärmeabgabe Geräte	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944	8944
Vollaststunden Personen	$[t_p] = \text{h}$												
Vollaststunden Personen	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420
Vollaststunden Beleuchtung	$[t_B] = \text{h}$												
Vollaststunden Beleuchtung	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120	120
Vollaststunden Geräte	$[t_G] = \text{h}$												
Vollaststunden Geräte	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150	150
<b>Solare Wärmeinträge</b>													
$Q_s = G \cdot F_p \cdot A_w \cdot g \cdot f_v$													
Solare Wärmeinträge	$[Q_s] = \text{kWh}$												
Solare Wärmeinträge	8.8E+02	1.3E+03	1.9E+03	2.0E+03	2.1E+03	2.1E+03	2.2E+03	2.0E+03	1.7E+03	1.4E+03	9.4E+02	8.1E+02	1.9E+04
Globalstrahlung auf horizontale Fläche	$[G] = \text{kWh}/\text{m}^2$												
Globalstrahlung auf horizontale Fläche	54.4	74.7	125.0	149.2	172.5	175.0	182.2	156.1	116.7	83.3	52.5	43.9	
Faktor für Ausrichtung der Einstrahlungsebene	$[F_p] = -$												
Faktor für Ausrichtung der Einstrahlungsebene	0.67	0.72	0.63	0.55	0.51	0.49	0.5	0.53	0.61	0.7	0.74	0.76	
Aussenwandfläche (transparent) = Glasfläche	$[A_w] = \text{m}^2$												
Aussenwandfläche (transparent) = Glasfläche	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161	161
Energiedurchlassgrad Verglasung (g-Wert)	$[g] = -$												
Energiedurchlassgrad Verglasung (g-Wert)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Reduktionsfaktor durch externe Verschattung (Sonnenschutz, Überhang, Seitenblende)	$[f_v] = -$												
Reduktionsfaktor durch externe Verschattung (Sonnenschutz, Überhang, Seitenblende)	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Total Wh
<b>Heizwärmebedarf</b>	$Q_H = Q_T + Q_V - \eta_g \cdot (Q_i + Q_s)$												
Heizwärmebedarf	1.2E+07	1.1E+07	8.6E+06	6.5E+06	3.8E+06	2.1E+06	8.8E+05	1.4E+06	3.4E+06	5.8E+06	9.5E+06	1.2E+07	7.8E+07
Transmissionswärmeverluste	9.3E+06	9.0E+06	7.6E+06	6.4E+06	4.9E+06	3.9E+06	3.2E+06	3.4E+06	4.4E+06	5.7E+06	7.6E+06	8.9E+06	7.4E+07
Lüftungswärmeverluste	6.4E+06	6.2E+06	5.2E+06	4.4E+06	3.4E+06	2.7E+06	2.2E+06	2.3E+06	3.1E+06	3.9E+06	5.2E+06	6.1E+06	5.1E+07
Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Interne Wärmeeinträge	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.8E+07
Solare Wärmeeinträge	8.8E+05	1.3E+06	1.9E+06	2.0E+06	2.1E+06	2.1E+06	2.2E+06	2.0E+06	1.7E+06	1.4E+06	9.4E+05	8.1E+05	1.9E+07
<b>Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne/verluste</b>	Im Heizfall: $\eta_g = \frac{(1-\gamma^a)}{(1-\gamma^{a+1})}$ Im Kühlfall: $\eta_g = \frac{(1-\gamma^{-a})}{(1-\gamma^{-(a+1)})}$ $a = 1 + \frac{\tau}{15}, \eta_g = 1$ wenn $\gamma < 0$												
Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis	0.21	0.24	0.33	0.40	0.54	0.68	0.84	0.76	0.54	0.39	0.26	0.21	
Zeitkonstante des Gebäudes	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	
<b>Kältebedarf</b>	$Q_K = Q_i + Q_s - \eta_g \cdot (Q_T + Q_V)$												
Kältebedarf	1.2E+06	2.2E+05	6.7E+03	1.9E+01	3.3E+01	1.3E+03	3.5E+04	7.2E+03	3.3E+01	1.2E-01	6.1E-05	0.0E+00	4.3E+04
Transmissionswärmeverluste	9.3E+06	9.0E+06	7.6E+06	6.4E+06	4.9E+06	3.9E+06	3.2E+06	3.4E+06	4.4E+06	5.7E+06	7.6E+06	8.9E+06	
Lüftungswärmeverluste	6.4E+06	6.2E+06	5.2E+06	4.4E+06	3.4E+06	2.7E+06	2.2E+06	2.3E+06	3.1E+06	3.9E+06	5.2E+06	6.1E+06	
Ausnutzungsgrad für Wärmeverluste	0.21	0.24	0.33	0.40	0.54	0.68	0.84	0.76	0.54	0.39	0.26	0.21	
Interne Wärmeeinträge	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	
Solare Wärmeeinträge	8.8E+05	1.3E+06	1.9E+06	2.0E+06	2.1E+06	2.1E+06	2.2E+06	2.0E+06	1.7E+06	1.4E+06	9.4E+05	8.1E+05	
<b>Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne/verluste</b>	Im Heizfall: $\eta_g = \frac{(1-\gamma^a)}{(1-\gamma^{a+1})}$ Im Kühlfall: $\eta_g = \frac{(1-\gamma^{-a})}{(1-\gamma^{-(a+1)})}$ $a = 1 + \frac{\tau}{15}, \eta_g = 1$ wenn $\gamma < 0$												
Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne	0.21	0.24	0.33	0.40	0.54	0.68	0.84	0.76	0.54	0.39	0.26	0.21	
Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis	0.21	0.24	0.33	0.40	0.54	0.68	0.84	0.76	0.54	0.39	0.26	0.21	
Zeitkonstante des Gebäudes	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	
<b>Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis</b>	$\gamma = \frac{Q_i + Q_s}{Q_T + Q_V}$												
Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis	0.21	0.24	0.33	0.40	0.54	0.68	0.84	0.76	0.54	0.39	0.26	0.21	
Transmissionswärmeverluste	9.3E+06	9.0E+06	7.6E+06	6.4E+06	4.9E+06	3.9E+06	3.2E+06	3.4E+06	4.4E+06	5.7E+06	7.6E+06	8.9E+06	
Lüftungswärmeverluste	6.4E+06	6.2E+06	5.2E+06	4.4E+06	3.4E+06	2.7E+06	2.2E+06	2.3E+06	3.1E+06	3.9E+06	5.2E+06	6.1E+06	
Interne Wärmeeinträge	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	2.4E+06	
Solare Wärmeeinträge	8.8E+05	1.3E+06	1.9E+06	2.0E+06	2.1E+06	2.1E+06	2.2E+06	2.0E+06	1.7E+06	1.4E+06	9.4E+05	8.1E+05	
<b>Zeitkonstante</b>	$\tau = \frac{C \cdot A}{H_T + H_V}$												
Zeitkonstante des Gebäudes	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	255.21	
Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten	160	160.23	160.23	160.23	160.23	160.23	160.23	160.23	160.23	160.23	160.23	160.23	
Wärmespeichernde Flächen	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	1097	
Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	408	
Lüftungs- Wärmetransferkoeffizient	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	281	



Ein Blick auf die Grafiken zeigt, wo diese Einsparung stattfindet: Es ist zu erkennen, dass in den Monaten Mai bis September der Heizwärmebedarf (orange Säule) deutlich abgenommen hat. In den Monaten Juli und August wird sie zudem praktisch auf Null reduziert, während früher das ganze Jahr über grossflächig geheizt werden musste. In den kälteren Monaten, insbesondere zwischen November und Februar, muss die Heizung die verbleibenden Transmissions- und Lüftungswärmeverluste abdecken, da die Einträge eher gering sind. Vergleicht man jedoch die Skala der aktuellen Grafik mit der vorherigen, so zeigt sich, dass die benötigte Wärmemenge drastisch reduziert ist.

Auch wenn die blaue Säule der Lüftungswärmeverluste auf den ersten Blick ausgesprochen einflussreich erscheint, muss diese Aussage zurückgestuft werden. Wie bereits oben erläutert, wird das Haus kaum genutzt und die Luftmengen, die durch Fensterlüftung oder durch die WC-Lüftung ausgetauscht werden, sind äusserst gering.

Man sieht also anhand von den Diagrammen ebenfalls, wie effektiv die vorgeschlagenen Sanierungsmassnahmen bei der Verbesserung der Energieeffizienz in der Betriebsphase sein würden.

#### 4.5. Energieerzeugung

##### Leistung der Heizzentrale

Mit der Tabelle auf der nächsten Seite wird die Heizleistung berechnet, was die erforderliche Leistung der Heizungsanlage darstellt, um den Wärmebedarf des Hauses zu decken. Das Ergebnis ist eine Leistung von 27,8 kW.

Die folgende Berechnung zeigt hingegen den Warmwasserwärmebedarf aus einer Schätzung der Warmwassermenge, die jährlich produziert werden muss. Obwohl die Richtwerte der SIA<sup>20</sup> definieren, dass im Durchschnitt ¼ des gesamten Wasserverbrauchs erwärmt wird, wurde es in diesem Fall als angemessen erachtet, diesen Wert zu erhöhen. Gründe dafür sind der niedrige Auslastungsgrad des Hauses und die ungünstige klimatische Bedingungen. Man schätzt hier also, dass von den 185'750 l, die jährlich verbraucht werden, ca. 45-50 % davon erwärmt werden, d. h. ca. 90'000 l/a.

Der dafür benötigte Wärmebedarf beträgt  $2,1 \times 10^{10}$  J, oder ca. 5'800 kWh/a. Diese Wärmemenge entspricht einem Wärmestrom (Wärmeleistung) von:

$$\phi = \frac{Q(w)}{t} = \frac{2,1 \times 10^{10} \text{ J}}{365 \times 24 \times 60 \times 60 \text{ s}} = 666 \text{ W} = 0,66 \text{ kW}$$

Wenn man davon ausgeht, dass es sich um ein Monovalentesystem handelt, d. h. um eine Heizzentrale, die Wärme für Heizung und für Warmwasser erzeugt, muss sie also die folgende Mindestgesamtleistung haben:

$$27,8 \text{ kW} + 0,66 \text{ kW} = 28,46 \text{ kW} \rightarrow \sim 29 \text{ kW}$$

<sup>20</sup> Siehe SIA 2024, S. 31.

		Pro Monat	Pro Jahr
<b>Warmwasserwärmebedarf</b>	$Q_w = V \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_1 - T_2)$		
Warmwasserwärmebedarf	$[Q_w] = \text{J}$	6.4E+09	2.1E+10
Warmwasserbedarf	$[V] = \text{m}^3 \text{ oder l}$	27300	90000
Dichte Wasser	$[\rho] = \text{kg/m}^3 \text{ oder kg/l}$	1	1
Spezifische Wärmekapazität Wasser	$[c_p] = \text{J/(kg K)}$	4180	4180
Wassertemperatur nach Zufügen der Wärme	$[T_1] = \text{K oder } ^\circ\text{C}$	60	60
Wassertemperatur vor Zufügen der Wärme	$[T_2] = \text{K oder } ^\circ\text{C}$	4	4

Quelle: Chair of Architecture and Building Systems, Prof. A. Schlüter, ETH Zürich.

		Wintertag	Sommertag
<b>Heizwärmebedarf</b>			
Heizwärmebedarf	$Q_H = Q_T + Q_V - \eta_E \cdot (Q_i + Q_s)$		2.8E+04
Transmissionswärmeverluste	$[Q_T] = Wh$		1.6E+04
Luftungswärmeverluste	$[Q_V] = Wh$		1.1E+04
Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne	$[\eta_E] = -$		0.00
Interne Wärmeeinträge	$[Q_i] = Wh$		0.00
Solare Wärmeeinträge	$[Q_s] = Wh$		0.00
<b>Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne/verluste</b>			
Im Heizfall: $\eta_E = \frac{(1 - \gamma^a)}{(1 - \gamma^{a+1})}$			
Im Kühlfall: $\eta_E = \frac{(1 - \gamma^{-a})}{(1 - \gamma^{-(a+1)})}$			
$a = 1 + \frac{\tau}{16}, \eta_E = 1 \text{ wenn } \gamma < 0$			
Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne	$[\eta_E] = -$		1.00
Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis	$[\gamma] = -$		4.48
Zeitkonstante des Gebäudes	$[\tau] = h$		255.21
<b>Kältebedarf</b>			
Kältebedarf	$Q_K = Q_i + Q_s - \eta_E \cdot (Q_T + Q_V)$		2.2E+04
Transmissionswärmeverluste	$[Q_T] = Wh$		3.7E+03
Luftungswärmeverluste	$[Q_V] = Wh$		2.5E+03
Ausnutzungsgrad für Wärmeverluste	$[\eta_E] = -$		1.00
Interne Wärmeeinträge	$[Q_i] = Wh$		1.4E+04
Solare Wärmeeinträge	$[Q_s] = Wh$		1.4E+04
<b>Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne/verluste</b>			
Im Heizfall: $\eta_E = \frac{(1 - \gamma^a)}{(1 - \gamma^{a+1})}$			
Im Kühlfall: $\eta_E = \frac{(1 - \gamma^{-a})}{(1 - \gamma^{-(a+1)})}$			
$a = 1 + \frac{\tau}{16}, \eta_E = 1 \text{ wenn } \gamma < 0$			
Ausnutzungsgrad für Wärmegewinne	$[\eta_E] = -$		1.00
Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis	$[\gamma] = -$		4.48
Zeitkonstante des Gebäudes	$[\tau] = h$		255.21
<b>Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis</b>			
Wärmeeintrag/-verlust-Verhältnis	$\gamma = \frac{Q_i + Q_s}{Q_T + Q_V}$		4.48
Transmissionswärmeverluste	$[Q_T] = Wh$		3.7E+03
Luftungswärmeverluste	$[Q_V] = Wh$		2.5E+03
Interne Wärmeeinträge	$[Q_i] = Wh$		1.4E+04
Solare Wärmeeinträge	$[Q_s] = Wh$		1.4E+04
<b>Zeitkonstante</b>			
Zeitkonstante des Gebäudes	$\tau = \frac{C \cdot A}{H_T + H_V}$		255.21
Wärmespeicherfähigkeit der inneren Schichten	$[C] = Wh/(m^2 \cdot K)$		160.23
Wärmespeichernde Flächen	$[A] = m^2$		1097
Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	$[H_T] = W/K$		408
Luftungs-Wärmetransferkoeffizient	$[H_V] = W/K$		281
<b>Transmissionswärmeverluste</b>			
Transmissionswärmeverluste	$Q_T = H_T \cdot (T_i - T_e) \cdot t$	1.6E+04	3.7E+03
Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	$[H_T] = W/K$	408	408
Raumlufttemperatur	$[T_i] = K \text{ oder } ^\circ C$	23	23
Aussenlufttemperatur	$[T_e] = K \text{ oder } ^\circ C$	-17	14
Länge der Berechnungsperiode	$[t] = h$	1	1
<b>Transmissions-Wärmetransferkoeffizient</b>			
Transmissions-Wärmetransferkoeffizient	$H_T = A_{op} \cdot U_{op} + A_w \cdot U_w$	408	408
Aussenwandfläche (opak)	$[A_{op}] = m^2$	1097	1097
Aussenwandfläche (transparent) = Fenster	$[A_w] = m^2$	161	161
Wärmedurchgangskoeffizient Aussenwand (opak)	$[U_{op}] = W/(m^2 \cdot K)$	0.23	0.23
Wärmedurchgangskoeffizient Fenster	$[U_w] = W/(m^2 \cdot K)$	1	1
<b>Luftungswärmeverluste</b>			
Luftungswärmeverluste	$Q_V = H_V \cdot (T_i - T_e) \cdot t$	1.1E+04	2.5E+03
Luftungs-Wärmetransferkoeffizient	$[H_V] = W/K$	281	281
Raumlufttemperatur	$[T_i] = K \text{ oder } ^\circ C$	23	23
Aussenlufttemperatur	$[T_e] = K \text{ oder } ^\circ C$	-17.3	14
Länge der Berechnungsperiode	$[t] = h$	1	1
<b>Luftungs-Wärmetransferkoeffizient</b>			
Luftungs-Wärmetransferkoeffizient	$H_V = \dot{V}_{th} \cdot \rho \cdot c_p$	281	281
Thermisch wirksamer Aussenluft-Volumenstrom	$[\dot{V}_{th}] = m^3/s$	0.23	0.23
Dichte Luft	$[\rho] = kg/m^3$	1.2	1.2
Spezifische Wärmekapazität Luft	$[c_p] = J/(kg \cdot K)$	1005	1005
<b>Thermisch wirksamer Aussenluftvolumenstrom</b>			
Thermisch wirksamer Aussenluft-Volumenstrom	$\dot{V}_{th} = \dot{V}_e \cdot (1 - \eta_{rec}) + \dot{V}_{inf}$	838.5	838.5
Aussenluft-Volumenstrom durch Lüftung	$[\dot{V}_e] = m^3/h \text{ oder } m^3/s$	670.8	670.8
Aussenluft-Volumenstrom durch Infiltration	$[\dot{V}_{inf}] = m^3/h \text{ oder } m^3/s$	167.7	167.7
Nutzungsgrad der Wärmerückgewinnung	$[\eta_{rec}] = -$	0	0
<b>Interne Wärmeeinträge</b>			
Interne Wärmeeinträge	$Q_i = \Phi_p \cdot t_p + \Phi_B \cdot t_B + \Phi_G \cdot t_G$		1.4E+04
Wärmeabgabe Personen	$[\Phi_p] = W$		1565.2
Wärmeabgabe Beleuchtung	$[\Phi_B] = W$		3018.6
Wärmeabgabe Geräte	$[\Phi_G] = W$		8944
Vollaststunden Personen	$[t_p] = h$		1
Vollaststunden Beleuchtung	$[t_B] = h$		1
Vollaststunden Geräte	$[t_G] = h$		1
<b>Solare Wärmeeinträge</b>			
Solare Wärmeeinträge	$Q_s = G \cdot F_g \cdot A_w \cdot g \cdot f_v$		1.4E+01
Globalstrahlung auf horizontale Fläche	$[G] = kWh/m^2$		1.0
Faktor für Ausrichtung der Einstrahlungsebene	$[F_g] = -$		0.6175
Aussenwandfläche (transparent) = Glasfläche	$[A_w] = m^2$		161
Energiedurchlassgrad Verglasung (g-Wert)	$[g] = -$		0.5
Reduktionsfaktor durch externe Verschattung (Sonnenschutz, Überhang, Seitenblende)	$[f_v] = -$		0.3

Quelle: Chair of Architecture and Building Systems, Prof. A. Schlüter, ETH Zürich.

## Exergieeffizienz

Eine Energiequelle kann anhand der Qualität der darin enthaltenen Energie bewertet werden. Exergie ist der Teil der Energie, der in andere Energieformen umgewandelt werden kann und somit nutzbar wird. Sie kann zum Beispiel in Arbeit umgewandelt werden. Der verbleibende Teil der Energie wird als Anergie bezeichnet und kann nicht in andere Formen umgewandelt werden, ist also nicht direkt nutzbar. Anergie ist zum Beispiel die in der Umgebung enthaltene innere Energie (Erdreich oder Wasser).

Die hochwertigsten Energieträger haben einen hohen Anteil an Exergie. Strom z. B. besteht ausschliesslich aus Exergie, er kann nämlich unbegrenzt in nutzbare Arbeit umgewandelt werden. Ähnliche Energieträger sind sehr wertvoll, da Exergie mit Aufwand produziert wird und somit Emissionen verursacht werden.

Die Umgebungswärme hingegen hat einen grossen Anteil an Anergie und der nutzbare Anteil (Exergie) ist begrenzt. Sie gilt daher als weniger hochwertige Energiequelle<sup>21</sup>.

Bislang konnte der Energiebedarf des Gebäudes reduziert werden. Zweitens ist es nun notwendig, das System möglichst exergieeffizient zu gestalten, d. h. versuchen, möglichst wenig Energiepotenzial zu vernichten. Dies geschieht durch die Auswahl der am besten geeigneten Energiequelle für den jeweiligen Zweck. Bei einem Gebäude müssen insbesondere die Temperaturdifferenzen in den thermischen Prozessen reduziert werden. Es ist wesentlich exergieeffizienter, Umgebungswärme (15-40 °C) zur Beheizung eines Gebäudes zu nutzen, als fossile Brennstoffe (1200 °C) für den gleichen Zweck zu verbrennen.

Ein Schlüsselement dabei ist die Vorlauftemperatur des Heizungssystems. Je grösser die Abstrahlfläche, desto niedriger muss die Vorlauftemperatur sein. Von hier aus versteht man, wie z.B. dank einer Fussbodenheizung (grosse Heizfläche) die Vorlauftemperaturen sehr niedrig sein können (Bsp. 35 °C) im Vergleich zu einem System mit Radiatoren (kleine Heizfläche), die Vorlauftemperaturen bis zu 80-90 °C haben müssen, um die gleiche Arbeit zu leisten.

<sup>21</sup> Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaft, Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering IEF, "Exergie", 2018.

Fussbodenheizung Im Hinblick auf eine Gesamtanierung der Chesa Centrella sollte überlegt werden, das Wärmeabgabesystem auf eine Fussbodenheizung umzustellen, die mit niedrigen Temperaturen arbeitet. Dies würde es ermöglichen, dem thermischen Prozess Anergiequellen wie die Umgebungswärme zu erschliessen.

Geothermie Die Sole-Wasser-Wärmepumpe basiert auf einer konstanten Wärmequelle (Erwärme) und ist die Lösung, die am wenigsten Strom für ihren Betrieb benötigt (Annahme JAZ = ca. 4,2). Das bedeutet, dass es sich um die Exergie-effizienteste Kombination handelt. Die vorgeschlagene Anlage sieht die Installation von Erdwärmesonden vor, die Wärme aus dem Untergrund entziehen. Dank einer Wärmepumpe wird dann diese Wärme am Heizsystem übertragen.

Photovoltaik Um die Wärmepumpe mit Strom zu versorgen wird eine Photovoltaikanlage (PV) auf dem Dach des Gebäudes vorgeschlagen. Da die Energieautonomie das Ziel ist, wird die PV-Anlage so dimensioniert, dass sie auch den Strombedarf für die übrigen Hausfunktionen decken kann:

### Dimensionierung der PV-Anlage

JAZ ( $\beta$ ): Verhältnis zwischen Jahreswärmebedarf (Q) und gesamt aufgenommenen elektrischen Energie (E).

$$\beta = Q/E = 4.2$$

$$Q = Q_{\text{Heizung}} + Q_{\text{Warmwasser}} = 32'990 \text{ kWh/a}$$

$$\rightarrow E = Q / \beta = 7'855 \text{ kWh/a}$$

Strombedarf Wärmepumpe	7'855 kWh/a +
Strombedarf alles andere	8'825.5 kWh/a =
TOT Strombedarf	16'681 kWh/a

Min. Dimensionierung PV:

$$P_{\text{pv}}: \text{Stromertrag} = A \cdot R \cdot I = 16'681 \text{ kWh/a}$$

A: Fläche (m<sup>2</sup>)

R: Wirkungsgrad PV = 17%

I: Sonneneinstrahlung = 1'357 kWh/m<sup>2</sup>a

$$\rightarrow A = P_{\text{pv}} / (R \cdot I) = \sim 73 \text{ m}^2$$

Quelle für die mittlere Sonneneinstrahlung bei der Liegenschaft: sonnendach.ch.

Dies stellt die Mindestfläche dar, die zur Deckung des Strombedarfs erforderlich ist. Allerdings, falls die Wärmepumpe alleine nicht in der Lage wäre, die gesamte Wassermenge zu erwärmen, könnte die PV-Fläche vergrössert werden (es stehen mehr als 255 m<sup>2</sup> netto-Kiesfläche zur Verfügung!): Auf diese Weise würde das System bivalent arbeiten und das verbleibende Wasser würde dank des elektrischen Widerstands erwärmt. Ausserdem würde eine grössere Fläche an Solarpaneele auch einen regelmässigen Überschuss an Stromproduktion garantieren, der dann gegen Vergütung ins Netz eingespeist werden könnte was einerseits die Amortisation der Investition beschleunigt und andererseits langfristig eine Einnahmequelle darstellt.

Für die schwankende Belegung des Ferienhauses ist die Photovoltaikanlage am besten geeignet, da der ungenutzte Strom bei Leerstände ins Netz eingespeist werden kann. Allerdings muss bei der Planung der Anlage besonders darauf geachtet werden, dass es im Winter nicht zu übermässigem Schneeanlagerungen kommt, die zu Mindererträgen oder sogar Schäden führen können.

Mit dem vorgeschlagenen System wird die Energieautonomie durch die Erzeugung von Wärme aus dem Untergrund und die Erzeugung von Strom mit einer Photovoltaikanlage erreicht.

Energetische Autonomie

# 5. KRITISCHE BETRACHTUNG

## 5.1. Graue Energie

Die bisher vorgeschlagene Sanierungsstrategie ist äusserst effizient, wenn nur die Betriebsphase des Gebäudes betrachtet wird. Eine umfassende Betrachtung der Sanierung eines Gebäudes kann diesen Aspekt jedoch nicht allein berücksichtigen, vor allem dann nicht, wenn man erhöhte Ziele in Bezug auf Nachhaltigkeit hat. Da ein grosser Teil des Gesamtenergiebedarfs auf die graue Energie entfällt, die für den Auf- und Abbau von Gebäuden benötigt wird, spielt dieses Konzept eine wichtige Rolle bei der Beurteilung und Abwägung der Nachhaltigkeit einer bestimmten Massnahme<sup>22</sup>.

“Die graue Energie steht für die gesamte Menge nicht erneuerbarer Primärenergie, die für alle Prozesse erforderlich ist: vom Abbau der Rohstoffe über Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse bis zum Rückbau und zur Weiterverwertung, einschliesslich der dazu notwendigen Transporte und Hilfsmittel<sup>23</sup>.”

Graue Energie ist nicht das einzige Element zur Bewertung einer Ökobilanz. Es gibt auch die Berechnungen der Treibhausgasemissionen und der Umweltbelastungspunkte (UBP), die hierüber Auskunft geben. Da der Vergleich dieser drei Parameter zu nicht immer übereinstimmenden Ergebnissen führen kann, werden wir uns auf die graue Energie konzentrieren und abschliessend die durch die baulichen Massnahmen verursachten CO<sub>2</sub>-Emissionen berechnen.

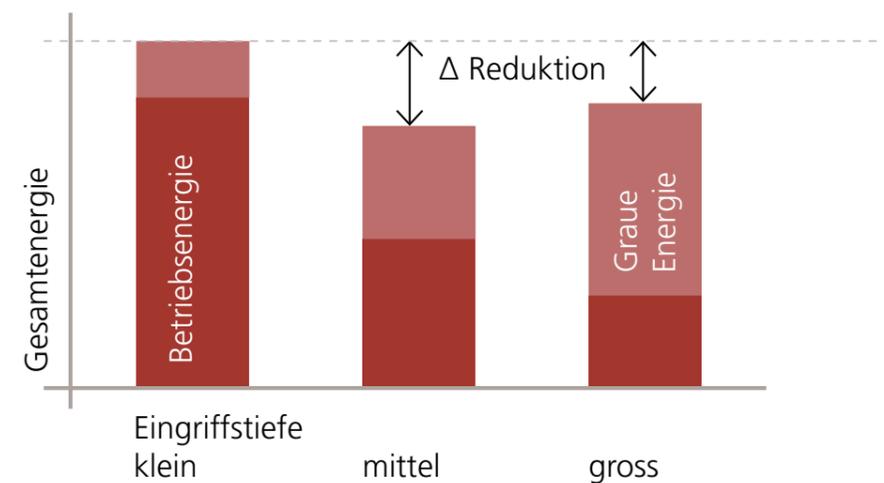
<sup>22</sup> EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, "Graue Energie von Umbauten. Ratgeber für Bau fachleute", Bern: 2017.

<sup>23</sup> EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, "Graue Energie von Umbauten. Merkblatt für Bauherrschaften", S. 1, Bern: 2017.

Eine möglichst nachhaltige Sanierungsstrategie basiert darauf, die Qualitäten des bestehenden Gebäudes und sein Potenzial so lange wie möglich zu nutzen. Die Werterhaltung des Gebäudes durch Massnahmen mit geringem bis mittlerem Eingriffsniveau ist der beste Weg, um eine regelmässige Amortisation der im Bestandsgebäude enthaltenen grauen Energie zu ermöglichen. Dabei sollte jedoch ein gezielter und spezifischer langfristiger Sanierungsplan nicht vernachlässigt werden, da sonst die Gefahr einer Wertminderung des Gebäudes besteht. Andererseits erhöht der Austausch von Anlagen oder Bauteile vor Erreichen des Endes ihrer Lebensdauer (und damit ihrer grauen Energie-Amortisationszeit!) die graue Energiebilanz des Gebäudes, was vermieden werden sollte.

Das folgende Diagramm zeigt, wie sich die Eingriffstiefe auf die Gesamtenergiebilanz eines Gebäudes auswirkt. Da jede zusätzliche Konstruktionsschicht die graue Energie des Gebäudes erhöht, kann diese auch irgendwie als Mass für die Kosten einer Renovierung angesehen werden. Daraus ist ersichtlich, dass es tendenziell zu einem geringen Anstieg der grauen Energie kommt, wenn kostenbewusst renoviert wird<sup>24</sup>.

<sup>24</sup> Siehe Anm. 20.

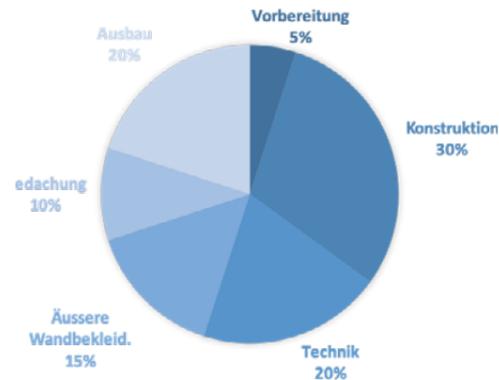


Unterschiedliche Sanierungsstrategien in Bezug auf die Gesamtenergie.

Quelle: EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, "Graue Energie von Umbauten. Ratgeber für Bau fachleute", S. 9, Bern: 2017.

## 5.2. Optimierung der Sanierungsstrategie

Anteil graue Energie per Gebäudegruppe und Amortisationszeiten



Daten: EnergieSchweiz.

Hauptgruppe	Amortisationszeit
Vorbereitung	-
Konstruktion	40-60 J
Technik	20-30 J
Äussere Wandbekleid.	30-40 J
Bedachung	30-40 J
Ausbau	rund 30 J

Etwa ein Drittel der grauen Energie eines Gebäudes steckt in seiner Konstruktion. Deshalb ist es wichtig, sie zu erhalten und ihr Potenzial integrativ zu nutzen. In der Technik des Gebäudes befinden sich ca. 20% der grauen Energie, ebenso im Innenausbau. Die Fassade hat einen Anteil von 15 %, während im Dach "nur" 10 % der grauen Energie des Gebäudes steckt<sup>25</sup>. Kombiniert man diese Daten mit der unten stehenden Tabelle, die den Zustand und das Alter der Bauteile und der Gebäudesysteme zusammenfasst, erhält man einen Überblick über das Potenzial zur Einsparung grauer Energie.

<sup>25</sup> EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, "Graue Energie von Umbauten. Ratgeber für Bau fachleute", Bern: 2017.

Bauteil	Jahr	Lebensdauer	Alter	Amortisationszeit Graue E	Amortisiert?	Zustand / Bemerkungen	Potenzial für Wiederverwendung	Massnahmen	
Gebäudehülle	Struktur	1963	100	58	40-60	JA	Tragende Struktur in guter Zustand.	Vollständig.	Erhalten
	Fassaden	1963	40	58	30-40	JA	Energetisch uneffizient. Putz sehr heruntergekommen, Sichtbacksteine i. O.	Nein	Dämmen & Sanieren
	Fenster	1963	40	58	30-40	JA	2x Einfachverglasungen verschraubt. Holzrahmen. Storenkasten ungedämmt.	Nein	Ersetzen
	Dach	1988	30	33	30-40	TEILW.	Guter Zustand. Dämmung 100mm Foamglas.	Ja, aber kurzfristig.	Ersetzen
Systeme	Heizung	Verteilung: 1998 Kessel: 1991 Brenner: 2019	Unt.	Unt.	20-30	NEIN	Wärmeerzeugung: Öl. Verteilung: Radiatoren. Leistung: 128 kW (97 kW bei 120°C).	Wärmeverteilung und Wärmeabgabe	Erneuerbare E-Quelle. Verteilung erhalten.
	Lüftung	Saniert 1998	30	23	20-30	TEILW.	Schachtenlüftung der WCs mittels Kamineffekt und (ungedämmten) Klappen.	Lüftungschächte	Ventilatoren & isolierende Klappen
	Sanitäranlage	Abwasserl.: 1997 Wasserleit.: 1998 Zentrale: 1963	40	~23	20-30	TEILW.	Zustand Sanitärapparate (WC, Duschen, Lavabos, ...) je nach einzelne Wohnung.	Ab- und Wasserleitungen	Evtl Sanieren
	Elektroanlage	1963	40	58	20-30	JA	Funktionierend. Elektrogeräte je nach einzelne Wohnung.	Einzelne Elektrogeräte.	Evtl. Ersetzen.

Gebäudehülle	Die Tabelle zeigt, wie die Gebäudehülle vollständig amortisiert ist (das Dach ist nur seit kurzem amortisiert, kann aber als amortisiert betrachtet werden), so dass die oben vorgeschlagenen Dämmmassnahmen und der Austausch von Dach und Fenstern nicht zu einem übermässigen Anstieg der grauen Energie führen und als gewichtet betrachtet werden können.
Gebäudesysteme	Auf der Ebene der Gebäudesysteme zeigen das Lüftungs- und Heizsystem Potenzial zur Optimierung der Sanierungsstrategie.
Lüftung	Die Lüftungsschächte, die 1998 renoviert wurden und sich in einem guten Zustand befinden, können auch nach der Renovierung weiter genutzt werden. Die Sanierung sieht nämlich keine mechanische Lüftung oder den Ausbau der aktuellen Schächte vor, was zu aufwendigen Eingriffen in der Struktur führen würden. Die Entscheidung, weiterhin die natürliche Lüftung zu nutzen, aber neue Ventilatoren (bzw. Isolierklappen) zu installieren, ist daher auch in dieser Hinsicht eine gute Strategie.
Heizung	Was das Heizsystem betrifft, so zeigt es sich als nur teilweise amortisiert. Insbesondere der Ölbrenner stammt aus dem Jahr 2019, während das gesamte Wärmeverteilungssystem (1998), obwohl es kurz vor der Amortisation steht, immer noch in einem sehr guten Zustand ist. Ein Wechsel des Energieträgers von Heizöl auf eine erneuerbare Quelle bringt einen Umweltgewinn in Form von reduzierten CO <sub>2</sub> -Emissionen mit sich. Dies reicht also weitgehend aus, um den Anstieg der grauen Energie durch die vorzeitige Ausserbetriebnahme des Ölbrenners zu rechtfertigen.

Wo das grösste Potenzial zur Begrenzung des Anstiegs der grauen Energie zu liegen scheint, ist im Wärmeverteilungssystem. Die bisher vorgeschlagene Sanierungsstrategie basiert auf einem Austausch der Heizkörper zugunsten einer Fussbodenheizung. Der Einbau eines solchen Wärmeabgabesystems in einem bestehenden Gebäude ist jedoch mit erheblichen Eingriffen in die Struktur, insbesondere in die Bodenplatten, verbunden. Da diese in gutem Zustand sind und kein genereller Austausch aller Unterlagsböden und Bodenbeläge erforderlich ist, könnte dies durch Beibehaltung der aktuellen Wärmeabgabe problemlos vermieden werden. Dies würde auch die damit verbundenen Anpassungsmassnahmen an die aktuellen Normen vermeiden, wie z. B. die eventuell notwendige Erhöhung der Fensterbrüstungen infolge einer Änderung der Raumhöhe.

Die Erhaltung des Wärmeabgabesystems mittels Radiatoren vermeidet den Einbau von viel grauer Energie und spart ausserdem eine Menge Geld. Technisch wird dies durch den geringeren Heizwärmebedarf des Hauses aufgrund der besseren Wärmedurchgangskoeffizient der Gebäudehülle ermöglicht. Die geringere erforderliche Wärmemenge ermöglicht eine deutliche Reduzierung der Vorlauftemperatur in den Heizkörpern. Verteilungs- und Wärmeabgabesystem könnten also beibehalten werden und mit einer Heizzentrale kompatibel werden, die mit niedrigen Temperaturen arbeitet, wie die zitierten Sole-Wasser- oder Luft-Wasser-Wärmepumpen. Sollten sich die aktuellen Radiatoren doch als ineffizient erweisen, besteht auch die Möglichkeit, diese durch neuen, mit höherer Leistung zu ersetzen. Die grössere interne Ausstrahlungsfläche wäre damit in der Lage, die Wärmeabgabe zu verstärken unter Beibehaltung des bestehenden Verteilungssystems.

Wärmeverteilung

Wärmeabgabe

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

Wärmebedarf (Q) = Heizwärme + Warmwasserwärme  
 Q = 27'190 kWh/a + 5'800 kWh/a = 33'000 kWh/a

Falls mit Ölbrenner erzeugt:  
 33'000 kWh/a x 0.301 Kg CO<sub>2</sub>/kWh = **9'933 Kg CO<sub>2</sub>/a**

Falls mit Luft-Wasser-WP erzeugt  
 33'000 kWh/a x 0.063 Kg CO<sub>2</sub>/kWh = **2'079 Kg CO<sub>2</sub>/a**

**Einsparung: 7'854 Kg CO<sub>2</sub>/a  
 -80% Emissionen**

Quelle: Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB, "Ökobilanzdaten im Baubereich".

### Berechnung der Vorlauftemperatur (Strahlung)

$$\Phi = \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4$$

$\Phi$  = Wärmestrom Strahlung  
 $\epsilon$  = Emissionsgrad  
 $\sigma$  = Stefan – Boltzmann – Konstante  
 A = Abstrahlungsfläche  
 T = Temperatur Abstrahlungsfläche

$$\left. \begin{aligned} \Phi_{\text{Bestand}} &= \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_{\text{Bestand}}^4 \\ \Phi_{\text{Saniert}} &= \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_{\text{Saniert}}^4 \\ \Phi_{\text{Saniert}} &= x \% \cdot \Phi_{\text{Bestand}} \end{aligned} \right\} \rightarrow \begin{aligned} \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_{\text{Saniert}}^4 &= x \% \cdot \epsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot T_{\text{Bestand}}^4 \\ T_{\text{Saniert}}^4 &= x \% \cdot T_{\text{Bestand}}^4 \\ T_{\text{Saniert}} &= \sqrt[4]{\frac{x}{100}} \cdot T_{\text{Bestand}} \\ T_{\text{Saniert}} &= \sqrt[4]{0,26} \cdot 70^\circ\text{C} \cong 50^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Eine Temperatur von 50°C statt 70°C wäre mit beiden oben genannten Wärmepumpen und auch bei niedrigen Umgebungstemperaturen (bis zu -25°C!) erreichbar.

Wärmeerzeugung

Bei der Wahl des Energieträgers muss eine weitere wirtschaftliche Betrachtung angestellt werden. Bei einer geothermischen Anlage ist die vertikale Bohrung und der Einbau von Erdsonden mit einem sehr grossen und deutlich höheren Aufwand verbunden als bei einer Luft-Wasser-Wärmepumpe. Obwohl der Wirkungsgrad dieser letzten Anlage geringer ist als der einer Sole-Wasser-Wärmepumpe und somit der Strombedarf höher ist, ist die Installation einer Luft-Wasser-Wärmepumpe angesichts der geringen Belegung des Hauses wirtschaftlicher. Die Chesa Centrela ist nur zu ca. 35% belegt, so dass die Betriebsstunden der Wärmepumpe reduziert werden würden. Ausserdem würde die PV-Anlage auf dem Dach den Strombedarf ohnehin decken; es handelt sich also um selbst-erzeugte erneuerbare Energie. Ein geringerer Wirkungsgrad der Luft-Wasser-Wärmepumpe im Vergleich zur Geothermie würde sich daher nicht auf die Stromrechnung auswirken. Durch die Entscheidung für eine Luft-Wasser-Wärmepumpe wäre es also möglich, bei der Wärmeerzeugung Geld zu sparen, was sich auch in einer Einsparung – oder zumindest in einer identischen Menge – an grauer Energie im Vergleich zur Geothermie-Variante ausdrückt.

Stromerzeugung

Obwohl es generell besonders vorteilhaft ist, eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit einer Solarthermieanlage zu kombinieren, soll in diesem Fall der geringe Nutzungsgrad des Hauses berücksichtigt werden: Bei langem Leerstand oder geringer Belegung würde eine Solarthermieanlage mit deutlich reduzierter Leistung arbeiten. Eine Photovoltaikanlage hingegen könnte das ganze Jahr über mit voller Leistung arbeiten und in Zeiten, in denen es Überschüsse in der Produktion gibt, könnte der Strom direkt ins Netz eingespeist werden und Dritten zugute kommen sowie ein wirtschaftliches Einkommen generieren. Die vorgeschlagene PV-Anlage ist daher in diesem Fall tatsächlich einer thermischen Solaranlage vorzuziehen.

### 5.3. Berechnung der grauen Energie und Energiebilanz

Es folgt eine Berechnung der grauen Energie, die in der Chesa Centrela für jedes neue Element der Gebäudehülle und für die Gebäudesysteme eingebaut würde.

Die Amortisationszeit der grauen Energie der Gebäudehülle entspricht etwa 30 Jahren, während die bei den Gebäudesystemen etwa 20 Jahre beträgt. Um verschiedene Bauteile hinsichtlich ihrer grauen Energie vergleichen – und damit letztlich addieren – zu können, wird diese in Abhängigkeit von der jeweiligen Amortisationszeit ausgedrückt<sup>26</sup>.

Das Ergebnis von 12'626 kWh/a ist also ein Mittelwert der grauen Energie aus der Sanierung, die sich jährlich über einen Zeitraum von ca. 25 Jahren amortisieren lässt (Durchschnitt zwischen 30 Jahre für Gebäudehülle und 20 Jahre für Gebäudesysteme).

<sup>26</sup> EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, "Graue Energie von Umbauten. Ratgeber für Bau fachleute", Bern: 2017.

Quelle der Angaben zur grauen Energie: Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB, "Ökobilanzdaten im Baubereich".

## Graue Energie Gebäudehülle

Bauteil	Baustoff	Stärke m	Volumen/ m <sup>2</sup> m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup>	Rohdichte kg/m <sup>3</sup>	Graue Energie kWh/kg	Graue Energie kWh/m <sup>2</sup>	Amortisa- tionszeit a	Graue Ener- gie/m <sup>2</sup> a kWh/m <sup>2</sup> a	Fläche Ele- ment m <sup>2</sup>	Graue Energie/a kWh/a
Fassadendämmung	Schafswolle	0.14	0.14	30	4.6	19.32	30	0.644	542.8	464.4
	Kalkgipsputz	0.01	0.01	925	0.686	6.346	30	0.212		
	Element «Aussendämmung»							0.856		
Innendämmung Keller	Schafswolle	0.14	0.14	30	4.6	19.32	30	0.644	43.5	93.2
	Lattung Fichte	0.05x0.14	0.007	450	0.69	2.174	30	0.072		
	OSB-Platten	0.025	0.025	620	2.76	42.78	30	1.426		
	Element «Innendämmung Keller»							2.142		
Innendämmung Wohnung	Schafswolle	0.14	0.14	30	4.6	19.32	30	0.644	8.55	71.6
	Lattung Fichte	0.05x0.14	0.007	450	0.69	2.174	30	0.072		
	Dampfsperre	0.005	0.005	2700	13.9	187.65	30	6.255		
	3-Schichtplatte Fichte	0.03	0.03	470	2.99	42.159	30	1.405		
	Element «Innendämmung Wohnung»							8.377		
Bodenplatte 1. OG	Schafswolle	0.1	0.1	30	4.6	13.8	30	0.460	234	161.6
	Gipsputz	0.01	0.01	1000	0.692	6.92	30	0.231		
	Element «Bodenplatte 1. OG»							0.691		
Fenster	Fenster: 3x Isolierverglasung mit Holz-Holzrahmen. Annahme							10.000	161.3	1613
Flachdach	Dampfsperre	0.004	0.004	2700	13.9	150.12	30	5.004	268	3'238.4
	Steinwolle	0.18	0.18	60	4	43.2	30	1.440		
	Dachbahn, bitumen	0.004	0.004	1050	10.5	44.1	30	1.470		
	Gummi	0.004	0.004	1200	24.8	119.04	30	3.968		
	Kies	0.04	0.04	1800	0.084	6.048	30	0.202		
	Element «Dach»							12.084		

## Total Wärmedämmung Gebäudehülle

5'642.2

### Graue Energie Gebäudesysteme

Gerät	Graue Energie/ Einheit kWh/Stk	Anzahl Einh. Stk	Amortisa- tionszeit a	Graue Energie kWh/a
Luft-Wasser-WP 8kW	6460	3	20	<b>969</b>
	kWh/kWp	kWp		<b>kWh</b>
PV-Anlage	8020	15	20	<b>6'015</b>
<b>Total Energieerzeugung</b>				<b>6'984</b>

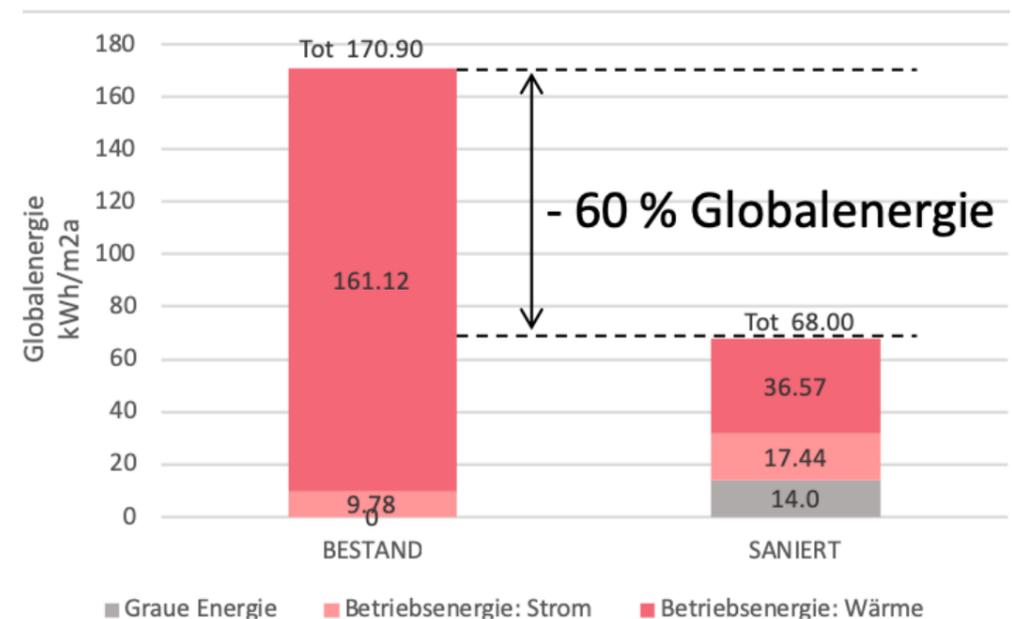
### Total graue Energie Sanierung

Total Wärmedämmung	5'642.2
Total Energieerzeugung	6'984
<b>Total Graue Energie/a (kWh/a)</b>	<b>12'626.2</b>
<b>Graue Energie/EBF (kWh/m²a)</b>	<b>14.0</b>

### Einschätzung der globalen Energiebilanz

	Bestand	Saniert	
Graue Energie pro Energiebezugsfläche	0.00	14.00	kWh/m²a
Betriebsenergie pro Energiebezugsfläche	170.90	54.01	kWh/m²a
davon Strom	9.78	17.44	kWh/m²a
davon Wärme	161.12	36.57	kWh/m²a
<b>GLOBALENERGIE pro Energiebezugsfläche</b>	<b>170.90</b>	<b>68.00</b>	<b>kWh/m²a</b>
<b>Einsparung Global</b>		<b>-60%</b>	

Um einen Vergleich mit anderen Gebäuden zu ermöglichen ist es sinnvoll, die graue Energie im Verhältnis zu einem Quadratmeter Energiebezugsfläche auszudrücken. Dadurch wird auch ein Vergleich des Gebäudes vor und nach der Sanierung möglich. Die unten stehende Grafik zeigt eine Globalenergiebilanz des heutigen Gebäudes im Vergleich zum renovierten Gebäude. Es ist zu erkennen, dass das bestehende Haus seine ursprüngliche graue Energie (praktisch) vollständig amortisiert hat (gleich null gesetzt) und dass seine Energiebilanz stark vom Wärmebedarf beeinflusst wird. Für das sanierte Gebäude hingegen sieht man den in die Sanierung investierten Anteil an grauer Energie zusammen mit dem verbleibenden Anteil an Energie, der zwischen Strom- und Wärmebedarf aufgeteilt wird. Aus dieser Grafik ist ersichtlich, wie gross das Einsparpotenzial für die globale Energie sein könnte.



Bilanz der Gesamtenergie vor und nach der Sanierung.

Die Berechnung der grauen Energie ermöglicht auch eine Abschätzung der durch die Sanierungsarbeiten emittierten Tonnen CO<sub>2</sub>. Wie aus den Berechnungen hervorgeht, amortisieren sich die 93t CO<sub>2</sub>, die durch die Renovierung emittiert werden, bereits in 2,3 Jahren Betrieb des renovierten Gebäudes, dank der viel geringeren Emissionen, die es verursacht.

### Graue Energie der gesamten Sanierung

	Graue Energie kWh/a	Jahre a	Total kWh
Graue E Gebäudehülle	5'642.2	30	169'266.4
Graue E Gebäudesysteme	6'984	20	139'680.0
Total graue E Sanierung			308'946.4

--> Emissionen CO<sub>2</sub> Sanierung:  
 $308'946.4 \text{ kWh} \times 0.301 \text{ Kg CO}_2/\text{kWh} = 92'992.9 \text{ Kg CO}_2$

### Emissionen in der Betriebsphase

Bestand	Wärme und Strom	43'921.0 Kg CO <sub>2</sub> /a
Saniert	Wärme	2'079.0 Kg CO <sub>2</sub> /a
	Strom	1'351.2 Kg CO <sub>2</sub> /a
	Total	3'430.2 Kg CO <sub>2</sub> /a

--> Vermiedene Emissionen durch die Sanierung:  
 $43'921.0 \text{ Kg CO}_2/\text{a} - 3'430.2 \text{ Kg CO}_2/\text{a} = 40'490.8 \text{ Kg CO}_2/\text{a}$

--> Bilanz:  $\frac{92'992.9 \text{ Kg CO}_2}{40'490.8 \text{ Kg CO}_2/\text{a}} = \mathbf{2.3 \text{ Jahre}}$

Quelle der Angaben zum CO<sub>2</sub>-Gehalt: Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB, "Ökobilanzdaten im Baubereich".

## 6. FAZIT

Abschliessend wurde gezeigt, dass es nicht möglich ist, bei der Bewertung einer Sanierungsstrategie nur die Betriebsenergie zu berücksichtigen. Es ist notwendig, die Gesamtenergiebilanz zu betrachten, zu der auch die graue Energie gehört. Nach einer sorgfältigen Bewertung des Potenzials der vorhandenen Substanz konnte die Sanierungsstrategie für den konkreten Fall der Chesa Centrela optimiert werden. Insbesondere wurde festgestellt, dass eine Wärmedämmung der gesamten Gebäudehülle zu einer Reduzierung des Heizwärmebedarfs um 74 % führen würde, ohne die graue Energiebilanz des Hauses übermässig zu belasten, da sich die bestehende Gebäudehülle über die Jahre bereits amortisiert hatte. Die Wahl eines erneuerbaren Dämmstoffes wie Schafwolle ermöglicht zum einen eine gleichwertige Dämmleistung wie andere synthetische Dämmstoffe und zum anderen die Entlastung eines wichtigen Teils der grauen Energie. Tatsächlich enthält Schafwolle insgesamt 4,6 kWh/Kg graue Energie<sup>27</sup>, im Vergleich zu 7,75 kWh/Kg bei Glaswolle und etwa 30 kWh/Kg bei "konventionellen" erdölbasierten Materialien wie EPS, XPS oder PUR<sup>28</sup>.

Geringerer Heizwärmebedarf

Bei den Gebäudesystemen zeigte sich, dass durch die Dämmung des Hauses und den damit verbundenen geringeren Wärmebedarf ein Wechsel des Energieträgers hin zu erneuerbaren und Exergie-effizienteren Quellen möglich ist. Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe wurde der Geothermie aus wirtschaftlichen Gründen vorgezogen, da die Chesa Centrela nur wenig bewohnt ist und die Investition zur Installation einer Erdwärmeanlage sehr teuer ist.

Erneuerbare Energieerzeugung

Die für den Betrieb der Wärmepumpe und die Deckung des Strombedarfs des Hauses notwendige Stromproduktion wird durch eine auf dem Dach installierte Photovoltaikanlage bereitgestellt. Es hat sich auch gezeigt, dass eine gewisse Überdimensionierung der Anlage zu Überschüssen in der Produktion führt, die ins Netz eingespeist werden können und die Installationskosten schnell amortisieren können.

<sup>27</sup> Verein eco-bau, "Eco-Produkte", <https://www.eco-bau.ch/index.cfm?Nav=27>

<sup>28</sup> Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB, "Ökobilanzdaten im Baubereich".

Energetische Autonomie	Die Wärmepumpe ist zusammen mit der PV-Anlage in der Lage, das Haus mit dem gesamten Wärme- und Strombedarf zu versorgen, was die Chesa Centrella zu einem energieautarken Haus macht. Das Ziel der sogenannten "Netto-Null-Architektur" kann also durch die vorgeschlagenen Sanierungsmassnahmen erreicht werden.
Graue Energie	Die Berechnung der grauen Energie, die durch die Sanierung eingebaut wird, zeigt, dass über einen Zeitraum von 20-30 Jahren durchschnittlich 12'626 kWh/a graue Energie "investiert" resp. amortisiert werden. Diese Investition erweist sich bei der Betrachtung der endgültigen globalen Energiebilanz als sehr rentabel. Unter Einbeziehung der Kosten in Form von investierter grauer Energie und unter Berücksichtigung der Rendite durch die geringere Betriebsenergie ergibt sich ein -60% als netto-Gesamtenergiebedarfs pro Quadratmeter und Jahr.
Emissionen	Es hat sich auch gezeigt, dass die durch die Renovierungsarbeiten emittierten Tonnen CO <sub>2</sub> bereits nach etwas mehr als zwei Jahren Betrieb des Gebäudes in Form von vermiedenen Emissionen wieder ausgeglichen werden. Die für die Sanierung notwendige "Investition" von grauer Energie ist also ebenfalls unter diesem Gesichtspunkt durchaus gerechtfertigt und zukunftsorientiert.
Schlussfolge	Daraus lässt sich schliessen, dass das Verhältnis zwischen der investierten grauen Energie und der erbrachten Wertschöpfung ausgewogen, gewissenhaft und vorteilhaft ist. Die entwickelte Strategie würde es ermöglichen, die Chesa Centrella unter Berücksichtigung von Aspekten der ökologischen Nachhaltigkeit zu renovieren und sie mit den Möglichkeiten der Umgebung in Beziehung zu setzen. Das daraus resultierende "Netto-Null-Gebäude" stellt einen klaren Paradigmenwechsel in der Bewirtschaftung der Immobilie dar und verkörpert jene Ideale von sozialer Verantwortung und Eigeninitiative, zu denen weitsichtige und verantwortungsbewusste Immobilienbesitzer heute aufgerufen sind.

## 7. QUELLEN

### 7.1. Quellenverzeichnis

BeobachterNatur, "Wärme aus dem Kalten See", Nr. 1/2009, 06.02.09.

Bundesamt für Energie, Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, Bundesamt für Landestopografie swisstopo, Portal "Sonnendach", <https://www.uvek-gis.admin.ch/BFE/sonnendach/?lang=de>.

Bundesamt für Landestopografie swisstopo.

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, climsheet Samedan 2.1.3, Stand: 2020, und Klima-Normwerte.

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz, "Klima der Schweiz", <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/klima-der-schweiz.html>.

Bundesamt für Umwelt BAFU, "Treibhausgasemissionen der Gebäude", <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/zustand/daten/treibhausgasinventar/gebaeude.html>.

Bundesamt für Umwelt (Hrsg.). Abteilung Klima, "Kenngrößen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz 1990-2018", Bern: 2018 (Aktualisiert 2020).

Chair of Architecture and Building Systems, Prof. A. Schlüter, ETH Zürich.

Clean Energy St. Moritz Graubünden, "Biomasse", <http://www.clean-energy.ch/>.

Clean Energy St. Moritz Graubünden, "Erdwärme", <http://www.clean-energy.ch/>.

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, "Energiestrategie 2050", <https://www.uvek.admin.ch/uvek/de/home/energie/energiestrategie-2050.html>.

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, "Graue Energie von Umbauten. Merkblatt für Bauherrschaften", Bern: 2017.

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE, "Graue Energie von Umbauten. Ratgeber für Baufachleute", Bern: 2017.

EnergieSchweiz, Erneuerbar Heizen, "Erneuerbar Heizen mit Holz", <https://erneuerbarheizen.ch/erneuerbare-heizsysteme/heizen-mit-holz/>.

Energieverordnung des Kantons Graubünden (BEV) vom 19.10.2020.

Ferrari Aurelio, Persönliches Foto-Archiv.

Fisolan AG, "Dämmplatten: natürlich isolieren", <https://www.fisolan.ch/de/isolationsmaterial/daemmplatten>.

ForzAgricola, "Biogasanlage", <https://www.forzagricola.ch/biogasanlage-forzagricola.html>.

Kanton Graubünden, Amt für Natur und Umwelt, Interaktive Karte "Erdwärmennutzung", [https://map.geo.gr.ch/gr\\_webmaps/wsgi/theme/Erdwaermenutzung](https://map.geo.gr.ch/gr_webmaps/wsgi/theme/Erdwaermenutzung).

Koordinationskonferenz der Bau- und Liegenschaftsorgane der öffentlichen Bauherren KBOB, "Ökobilanzdaten im Baubereich".

NeoVac ATA SA, Coteggio delle spese di riscaldamento (Ölrechnungen).

proPellets.ch, "Vorteile des Heizens mit Holzpellets", <https://www.propellets.ch/heizen-mit-pellets/vorteile-der-pellets.html>.

Reynard Emmanuel (Hrsg.), Landscapes and Landforms of Switzerland, Springer, Lausanne: 2019.

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Normen 2024 und 416.

St. Moritz Energie, Stromkennzeichnung 2019, [https://www.stmoritz-energie.ch/fileadmin/user\\_upload/PDF/Stromdeklaration/Stromkennzeichnung\\_2019.pdf](https://www.stmoritz-energie.ch/fileadmin/user_upload/PDF/Stromdeklaration/Stromkennzeichnung_2019.pdf) [https://www.stmoritz-energie.ch/fileadmin/user\\_upload/PDF/Stromdeklaration/Stromkennzeichnung\\_2019.pdf](https://www.stmoritz-energie.ch/fileadmin/user_upload/PDF/Stromdeklaration/Stromkennzeichnung_2019.pdf).

U-Wert Rechner Ubakus, <https://www.ubakus.com/de-ch/uwert-rechner/>.

Verein eco-bau, "Eco-Produkte", <https://www.eco-bau.ch/index.cfm?Nav=27>.

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaft, Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering IEFÉ, "Exergie", 2018.

## 7.2. Literaturverzeichnis

Bundesamt für Energie, "Geothermie", <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/erneuerbare-energien/geothermie.html>.

Bundesamt für Umwelt, "Treibhausgasemissionen der Gebäude", <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/zustand/daten/treibhausgasinventar/gebaeude.html>.

Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen DGNB.

"Energie- und Klimasysteme 1 + 2", Unterlagen der Lerneinheit an der ETH Zürich, HS 2016 - FS 2017, Prof. A. Schlüter.

Energiegesetz des Kantons Graubünden (BEG) vom 20.04.2010.

EnergieSchweiz, Solarrechner, <http://www.energieschweiz.ch/page/de-ch/solarrechner>.

European Commission, "Photovoltaic Geographical Information System", [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/tools.html](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html).

Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz, <https://www.fws.ch>.

Gemeindeverwaltung St. Moritz, Wasser/Abwasser/Kehricht, Jahresrechnungen.

Kanton Graubünden, Amt für Energie und Verkehr, Interaktive Karte "Globalstrahlung".

Minergie, "Modernisieren mit Minergie", <https://www.minergie.ch/de/ueber-minergie/modernisierung/?l>.

Netzwerk Nachhaltiges Bauen Schweiz NNBS, Standards und Labels fürs nachhaltige Bauen.

ÖREB-Kataster, Kataster der öffentlich-rechtlichen Eigentumsbeschränkungen.

Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein SIA, Normen 180/1, 380/1, 382/2, 384/1, 2028, 2040.

Zürich, Februar 2021.

**Andrea Ferrari**  
ferrari-andrea@hotmail.com