

Kühlen mit PV

Optionale Haustechnik für das Minergie-Gebäude

Inhalt

Wenn das Klima wärmer wird	3
Erst das Haus, dann die Technik	4
Stromversorgung	6
Übersicht zu den Fallstudien	7
Einfamilienhaus in Rancate	9
Einfamilienhaus in Cugnasco	10
Einfamilienhaus in Cureggia	11
Mehrfamilienhaus in Arbedo	12
Wohnen und arbeiten in Claro	13
Weitere Infos	14

Impressum

Herausgeber

Minergie Schweiz

Produktion

Text und Konzept: Associazione
TicinoEnergia und SUPSI/ISAAC

Redaktion: Othmar Humm,
Faktor Journalisten AG, Zürich

Grafik: Christine Sidler,
Faktor Journalisten AG, Zürich

Fotos: Ascona-Locarno Turismo,
Foto: Alessio Pizzicannella (Seite 7),
Anna Nizzola (Seite 10), Thomas
Lasikowski (Seite 11), Alessandro Fermo
(Seite 12)

Druck: Birkhäuser+GBC AG, Reinach



Wenn das Klima wärmer wird

Der Sommer 2018 brachte für viele Bewohnerinnen und Bewohner zu viel des Guten. Entsprechend laut war die Forderung nach einer Kühlung von Wohn- und Arbeitsräumen. In Bauten, die über einen guten sommerlichen Wärmeschutz verfügen, sind Klimaanlageanlagen nicht nötig. Ist dies nicht der Fall und kommen aktive Kühlsysteme zum Einsatz, liefern Photovoltaikanlagen sinnvollerweise den Strom für die Kälteproduktion. Die vorliegende Broschüre zeigt Wege zum behaglichen Wohnen – und erläutert die Unterschiede zwischen dem Tessin, der Romandie und der Deutschschweiz.

Erst das Haus, dann die Technik

Wärme und Strom aus erneuerbaren Energien sind unverzichtbar, um die Effizienzziele des Bundes und der Kantone zu erreichen. Für Neubauten schreiben die Mustervorschriften der Kantone photovoltaische Systeme vor. Auch Minergie ist ohne erneuerbare Energiebeiträge nicht realisierbar.

Die Sonne erzeugt Strom und Wärme, trägt aber auch zur Überhitzung von Wohnhäusern und Arbeitsplätzen bei. Im Tessin sind die Risiken für unbehaglich hohe Temperaturen noch grösser als in der übrigen Schweiz. Falls eine Kühlung mit maschineller Unterstützung erfolgt, steigt der Stromverbrauch deutlich an.

Ideale Kombination

Photovoltaikanlagen und aktive Kühlsysteme passen bezüglich Angebot und Lastgang sehr gut zusammen: Mit der Intensität der Solarstrahlung steigt parallel zum Überhitzungsrisiko auch der PV-Ertrag. Trotz dieser Übereinstimmung kann die Belastung des Elektrizitätsnetzes durch die aktive Kühlung von Häusern zunehmen.

«Ein behagliches Raumklima muss in erster Linie mit verschiedenen konstruktiven Massnahmen sichergestellt werden.» Mit dem Satz aus der Norm SIA 180 «Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden» grenzt der SIA die baulich-konstruktiven Massnahmen zum sommerlichen Wärmeschutz von technischen Installationen zur Kühlung ab. Die SIA 180 stellt Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz und definiert dessen Nachweis. Die geforderte Qualität von Bauten entspricht dem Stand der Technik und der Rechtsprechung. Traditionell werden Wohnbauten nicht maschinell gekühlt. Mit guten architektonischen Lösungen ist dies auch heute nicht nötig. Allerdings laufen der steigende Glasanteil in der Fassade, der höhere Technisierungsgrad der Wohnungen und der Klimawandel diesem Ziel entgegen.

Komfort und Energieeffizienz

1. Sommerlicher Wärmeschutz

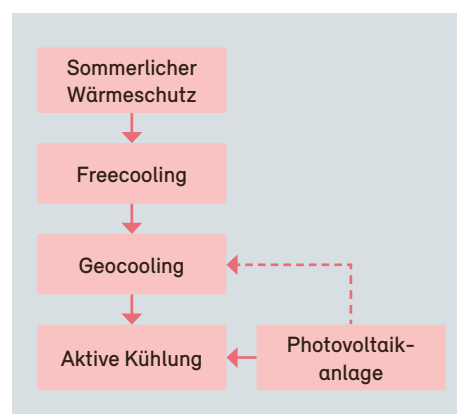
- Speichermasse in der Bausubstanz des Gebäudes erhöhen
- Glasanteil in der Fassade reduzieren
- Fixe Elemente des Sonnenschutzes einplanen: Loggien und Balkone
- Aussenliegender, beweglicher Sonnenschutz einsetzen, gesteuert nach der Strahlungsintensität

2. Freecooling

Unter dem Begriff «Freecooling» werden alle Massnahmen subsummiert, die zu einer Kühlung der Wohn- und Arbeitsräume beitragen, ohne Einsatz einer Kältemaschine. Beispielsweise Nachtauskühlung der Räume durch offene Fenster, allenfalls angetrieben durch gesteuerten Motor.

3. Geocooling

Geocooling nutzt Grundwasser oder Erdwärme (10 °C bis 12 °C) zur Kühlung von Räumen. In der Regel werden dazu bereits vorhandene Installationen wie Erdsonden eingesetzt. Dabei kommt die Wärmepumpe nicht zum Einsatz, lediglich eine Umwälzpumpe. Der Wärmeentzug erfolgt über die Fussbodenheizregister (Risiko für Kondensatbildung). Geocooling dient auch der Regeneration des Erdreichs im Umfeld einer Erdsonde.



Massnahmen, die ohne oder nur mit geringem Energieeinsatz wirken, sind einer aktiven Kühlung mit einer Kältemaschine vorzuziehen.

4. Aktive Kühlung

Kältemaschinen und Wärmepumpen, die als Kältemaschinen arbeiten, bilden Varianten einer aktiven Kühlung. In deren Kälte-Wärme-Kreislauf ist ein elektrisch angetriebener Verdichter eingebaut, der den Entzug von Wärme aus dem Raum erst ermöglicht. Der Stromverbrauch dieser Lösungen ist sehr viel höher als bei allen erwähnten Alternativen.

5. Photovoltaikanlage

Die in einer PV-Anlage erzeugte Elektrizität sollte soweit als möglich im direkten Eigenverbrauch genutzt werden. Dadurch lassen sich Gebühren für die Netznutzung einsparen, was für Hauseigentümer finanziell sehr attraktiv sein kann. Zudem sind die Erträge aus der Einspeisung von Solarstrom im Sommer sehr gering. Die Grösse der PV-Anlage richtet sich nach

der Fläche des besonnten Dachabschnittes und des Strombedarfs.

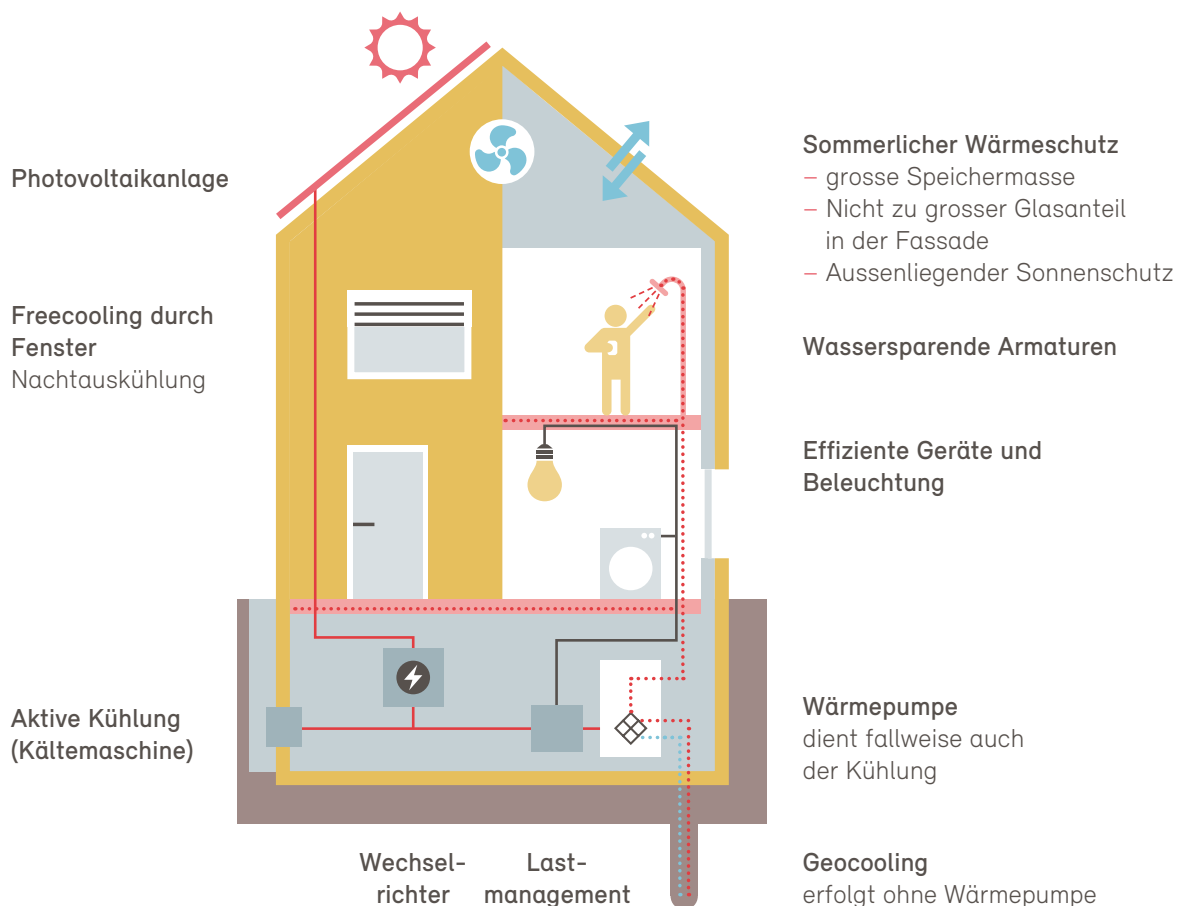
6. Lastmanagement

Zur Erhöhung des Eigenverbrauchs erweist sich ein Lastmanagementsystem (LMS) als sehr leistungsfähig. Durch Differenzierung der Verbraucher in schaltbare Geräte und Fahrzeuge sowie in Verbraucher ohne diese Wahlmöglichkeit lassen sich über ein LMS die Lasten am hausinternen Stromnetz reduzieren respektive erhöhen – je nach Verfügbarkeit von Solarstrom.

7. Batterien

Elektrische Speicher wie Batterien erhöhen ebenfalls den Eigenverbrauch. Aufgrund der Kosten sind sie noch nicht in jedem Fall wirtschaftlich. Franken je kWh Speicherkapazität quantifizieren die spezifischen Kosten einer Batterie.

Kühlen mit Photovoltaik im Minergie-Gebäude



Stromversorgung

Eine Kältemaschine oder eine reversible Wärmepumpe sollte als schaltbarer Verbraucher installiert sein. Dadurch lässt sich ihr Betrieb mit der PV-Anlage und anderen Verbrauchern koordinieren. In der Regel ist das aus zwei Gründen sinnvoll: Ein Kältespeicher kann Kälte übernehmen und zu einem späteren Zeitpunkt an die Räume abgeben. Als Kältespeicher kann aber auch die Bausubstanz dienen, so dass sich ein Spielraum für den Betrieb einer Kältemaschine ergibt.

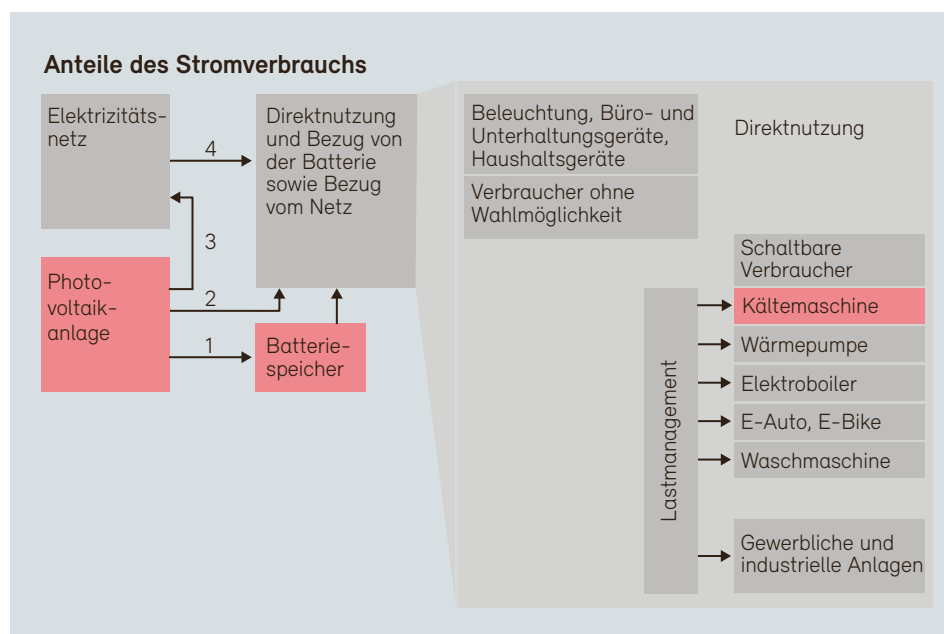
Als **Eigenverbrauch** wird jener Anteil an der Solarstromproduktion bezeichnet, der direkt genutzt wird, also ohne Einspeisung ins Elektrizitätsnetz. Die Speicherung in einer Batterie gilt als Teil des Eigenverbrauchs. Zum Eigenverbrauch gehören die Anteile 1 und 2 im Verhältnis zur gesamten Solarstromproduktion mit den Anteilen 1, 2 und 3.

Der **Autarkiegrad** eines Gebäudes ergibt sich aus dem Verhältnis von Eigenverbrauch und dem gesamten Stromverbrauch: Die Anteile 1 und 2 in Bezug zum Gesamtverbrauch mit den Anteilen 1, 2 und 4.

Der **solare Deckungsgrad** setzt die gesamte Solarstromproduktion ins Verhältnis zum Gesamtverbrauch: Die Anteile 1, 2 und 3 in Bezug zu den Anteilen 1, 2 und 4.

Zusammenspiel ist wichtig

Bereits 2008 hat das Bundesamt für Energie in einer Studie prognostiziert, dass bis 2030 in Zürich ein ähnliches Klima zu erwarten ist wie heute in Turin («Bauen, wenn das Klima wärmer wird», Zürich 2008). Die Jahre 2003 und 2018 setzen diesbezüglich neue Höchstmarken. Die Kühlung von Bauten, auch von Wohnbauten, könnte sich aufgrund dieser Entwicklung stark verbreiten. Und entsprechend wichtig sind die verschärften Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz. Falls Kältemaschinen notwendig sind, weil die anderen Massnahmen nicht zum Ziel führen, sollte die notwendige Elektrizität aus erneuerbaren Quellen stammen. In dieser Broschüre wird vor allem das Zusammenspiel von Photovoltaikanlage, maschineller Kühlung, Lastmanagement und Batterie aufgezeigt.



Das Zusammenspiel von PV-Anlage, Kältemaschine, Lastmanagement und Batterie. Die rechte Seite der Grafik bezieht sich auf die Direktnutzung von Solarstrom innerhalb eines Gebäudes.

Übersicht zu den Fallstudien

Die Fallstudien auf den folgenden Seiten zeigen fünf Gebäude mit einer Kombination von aktiver Kühlung und Photovoltaikanlage. Die Bauten haben ihren Standort alle im Kanton Tessin, also in der Klimaregion 12. Sie sind nach den auf den MuKEN 2008 basierenden Minergie-Standards zertifiziert. Das Tessin birgt für Bauten ein höheres Überhitzungsrisiko als die Kantone nördlich der Alpen.

Um Vergleiche zu ziehen, sind zwei Fallstudien mit Berechnungen für zwei weitere Klimaregionen ergänzt: Zürich, Klimaregion 3, mit kälterem Winter und milderem Sommer als im Tessin sowie Montana, Klimaregion 10, mit sehr niedrigen winterlichen Temperaturen und weniger heissen Sommern, aber höherer jährlicher Solareinstrahlung als im Tessin. Die drei Einfamilienhäuser stehen in Rancate, Cugnasco und Cureggia, die beiden Mehrfamilienhäuser in Arbedo und Claro, davon eines mit Büronutzung im Erdgeschoss.

Allen Beispielen ist gemeinsam, dass die aktive Kühlung zu einem Mehrbezug von Elektrizität aus dem Netz führt und gleichzeitig die Rückspeisung von Solarstrom ins Netz reduziert wird. Zwar korrelieren Kühlbedarf und Solarstromproduktion weitgehend, aber häufig bleibt ein von der PV-Anlage nicht gedeckter Restbedarf. Der Eigenverbrauch und der Autarkiegrad wird durch die Kühlung erhöht (aufgrund der erwähnten Korrelation von Stromproduktion und Kühlprofil).

Elektrische Batterien

Mit den Fallbeispielen wurde der Einsatz von elektrischen Batterien als Ergänzung zur haustechnischen Ausrüstung simuliert. Die Kapazität dieser Speicher ist abhängig von den energetischen Vorteilen, die sich daraus ergeben: Höherer Eigenverbrauch, geringere Netzeinspeisung, aber keine grossen Speicher.

Wichtiges Kriterium der Speicherkapazität ist auch deren Wirtschaftlichkeit; die Annahmen dazu sind:

- Investitionskosten für die Batterien im Jahre 2025: 380 Fr. pro kWh Kapazität
- Kosten des Strombezugs: 0.20 Fr. pro kWh
- Vergütung bei Netzeinspeisung: 0.06 Fr. pro kWh
- Betriebsdauer der Batterie: 15 Jahre
- Investitionskosten für die PV-Anlage: 3500 Fr. je kWp
- Betriebsdauer der PV-Anlage: 25 Jahre

Die Liste zeigt anschaulich, welche Kriterien für die Wirtschaftlichkeit einer Batterie relevant sind. Interessant ist auch das Resultat, dass sowohl die energetische als auch die wirtschaftliche Optimierung zur gleichen Batteriegrösse führte, und dies bei allen fünf Beispielen. Auch bei diesen Berechnungen leistete das EDV-Tool «PVopti» gute Dienste.

Wo die Palmen blühen, kann es im Sommer unbehaglich warm werden: Die Piazza Giuseppe Motta in Ascona.



Wichtige Folgerungen

Ein hoher Komfort im Sommer bedingt eine gute Bauweise. Dazu gehört eine sehr gut gedämmte Bauhülle sowie ein konsequenter sommerlicher Wärmeschutz. Auch eine effiziente Haustechnik gehört dazu. Die Frage einer aktiven Kühlung in Verbindung mit einer Photovoltaikanlage und einer elektrischen Batterie ist der Qualität des Gebäudes nachgeordnet. Insofern bildet die aktive Kühlung mittels Geocooling oder gar einer Kältemaschine die letzte Massnahme, um den Komfort zu gewährleisten.

Ein Vergleich der fünf Gebäude zeigt interessante Gemeinsamkeiten und Differenzen:

- Die Installation eines Kühlsystems erhöht den Eigenverbrauch und den Autarkiegrad eines Gebäudes, führt aber dennoch zu einem höheren Energiebezug aus dem Netz.
- Der Energiebedarf für die Kühlung wird zu 39 % bis 74 % durch die zeitgleiche Eigenstromproduktion gedeckt (ohne Batterie). Mit einer Batterie kann diese Eigenverbrauchsquote noch erhöht werden.
- Stromspeicher ermöglichen einen höheren Eigenverbrauchsanteil und einen höheren Autarkiegrad. Gleichzeitig reduzieren sich die Netzeinspeisung und der Energiebezug aus dem Netz.

– Mit einer mittelfristigen Perspektive, das heisst um das Jahr 2025, lassen sich die Installationskosten einer Batterie amortisieren.

– Für die Planung eines Gebäudes mit behaglichen Innenraumtemperaturen auch während Hitzeperioden ist es unumgänglich, dass die PV-Anlage und die Batterie mit Blick auf den Standort und die dort wirkenden Klimabedingungen geplant werden. Wichtig ist auch, dass nicht die Jahresbilanzen im Vordergrund stehen, sondern dass eine Planung auf Basis der saisonalen Differenzierung im PV-Ertrag, in der Speicherung und im Eigenverbrauch erfolgt.

– Minergie erlaubt die aktive Kühlung von Bauten, sofern die Effizienz des Gebäudes mit geeigneten Massnahmen erhöht wird.

– Der Energiebedarf für die Kühlung ist im Nachweis für die Zertifizierung zu dokumentieren und in der Berechnung des gewichteten Gesamtenergiebedarfs zu berücksichtigen.

5 Gebäude im Tessin – Vergleich der Elektrizitätsbilanz

Standort	Rancate	Cugnasco	Cureggia	Arbedo	Claro
Gebäudekategorie	EFH	EFH	EFH	MFH	MFH + Büro
Heizung	100 % Luft-Wasser-Wärmepumpe	100 % Luft-Wasser-Wärmepumpe	100 % Sole-Wärmepumpe	100 % Sole-Wärmepumpe	100 % Sole-Wärmepumpe
Kühltechnik	Reversible Luft-Wasser-WP	Reversible Luft-Wasser-WP	Geocooling	Geocooling	Geocooling
Kühlbedarf	3,5 kWh/(m ² a)	2,8 kWh/(m ² a)	1,3 kWh/(m ² a)	0,65 kWh/(m ² a)	3,9 kWh/(m ² a)
PV-Ertrag (m ² EBF)*	26,9 kWh/(m ² a)	33,5 kWh/(m ² a)	57,0 kWh/(m ² a)	26,8 kWh/(m ² a)	32,6 kWh/(m ² a)
Kapazität Batterie	10 kWh	10 kWh	5 kWh	30 kWh	20 kWh
Deckungsgrad Kühlbedarf durch PV-Ertrag**	39 %	72 %	74 %	71 %	67 %

* EBF: Energiebezugsfläche

** Berechnung auf Stundenbasis mit PVopti

Einfamilienhaus in Rancate

Das neue Einfamilienhaus verfügt als Massivbau über eine grosse Speichermasse. Der aussenliegende Lamellenstoren mit einem g-Wert von weniger als 0,1 ist über einen Strahlungssensor automatisch gesteuert. Das Gebäude lässt sich über Fenster während der Nacht auskühlen. Die Luft-Wasser-Wärmepumpe dient auch als Kältemaschine. Als Ergänzung zur Photovoltaikanlage würde sich eine elektrische Batterie mit 10 kWh Speicherkapazität lohnen.



Variantenvergleich

Im Vergleich zu demselben Gebäude ohne aktive Kühlung sind die Eigenverbrauchsquote um 6 Prozentpunkte und der Autarkiegrad um 2 Prozentpunkte höher. Durch die Kühlung reduziert sich die Stromspeisung um 410 kWh. Der Elektrizitätsbezug aus dem Netz ist jedoch um 650 kWh höher. 39% des durch das Kühlsystem verursachten Verbrauchs ist durch Strom im Eigenverbrauch gedeckt (ohne Batterie). Die Batterie wirkt sich positiv aus:

- Erhöhung der Eigenverbrauchsquote von 29% auf 60%
- Erhöhung des Autarkiegrades von 21% auf 44%
- Reduktion Energieeinspeisung um 48%
- Reduktion des Netzbezugs um 27%

Standortvergleich

Das Gebäude wurde hypothetisch mit den Standorten Zürich und Montana verglichen. In Zürich hätte das gleiche Gebäude einen höheren Verbrauch (obwohl es einen geringeren Kühlbedarf hat) und einen geringeren PV-Ertrag. Der gestiegene Gesamtverbrauch führt zu einem höheren Eigenverbrauch und einer tieferen Autarkie im Vergleich zum Standort Rancate. Ein Stromspeicher, der aus energetischer und ökonomischer Sicht sinnvoll wäre, hat in Zürich eine kleinere Kapazität als in Rancate (5 kWh statt 10 kWh). Der Gesamtverbrauch desselben Gebäudes in Montana ist höher als in Rancate, Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad sind aber vergleichbar. Dies kann durch den

Gebäude TI-048-A (vor 2017 zertifiziert)	
Energiebezugsfläche	304,3 m ²
Heizung	100 % Luft-Wasser-Wärmepumpe
Warmwasser	33 % Luft-Wasser-Wärmepumpe 67 % Thermische Sonnenkollektoren
Kühlung	100 % Luft-Wasser-Wärmepumpe
PV-Anlage	7,85 kWp Installierte Leistung

Energiedaten	Standort		
	Rancate	Zürich	Montana
Heizwärmebedarf Q_h	31,5 kWh/(m ² a)	44,8 kWh/(m ² a)	38,7 kWh/(m ² a)
Wärmebedarf für Warmwasser Q_{ww}^*	13,9 kWh/(m ² a)		
Energiebedarf für Lüftung $Q_{e,v}$	2,8 kWh/(m ² a)		
Kühlbedarf $Q_{e,c}$	3,5 kWh/(m ² a)	2,4 kWh/(m ² a)	1,7 kWh/(m ² a)
PV-Ertrag total	8190 kWh	6720 kWh	8423 kWh
PV-Ertrag pro m ² EBF	26,9 kWh/(m ² a)	22,1 kWh/(m ² a)	27,7 kWh/(m ² a)
Gebäudetechnik allg.	1,44 kWh/(m ² a)		
Geräte*	12,5 kWh/(m ² a)		
Beleuchtung*	5,5 kWh/(m ² a)		

* Standardwert

Standortvergleich	Rancate		Zürich		Montana	
	Kühlung	Mit Batterie 10 kWh	Kühlung	Mit Batterie 5 kWh	Kühlung	Mit Batterie 10 kWh
Eigenverbrauchsquote	29%	60%	31%	48%	28%	57%
Deckungsgrad Kühlbedarf durch PV-Ertrag	39%	-	39%	-	38%	-
Autarkiegrad	21%	44%	19%	30%	22%	47%
Energiebezug pro Jahr	8138 kWh	5880 kWh	9023 kWh	7898 kWh	8356 kWh	5876 kWh

höheren Ertrag der PV-Anlage in Montana erklärt werden. Eine Batterie mit 10 kWh kann in Montana sinnvoll sein.

Einfamilienhaus in Cugnasco

Auf den ersten Blick nicht erkennbar: Das neue Einfamilienhaus ist ein Holzbau und entspricht deshalb einer mittleren Speichermasse. Die Speicherkapazität in der Bausubstanz konnte durch den Einbau von Zementunterlagsböden verbessert werden. Im Übrigen verfügt das Haus über einen vorbildlichen sommerlichen Wärmeschutz: aussenliegende Lamellenstoren mit einem g-Wert von weniger als 0,1 und mit einer automatischen Steuerung über einen Strahlungssensor. Auch eine Nachtauskühlung über die Fenster ist möglich. Die Heizung und Kühlung erfolgt über eine Luft-Wasser-Wärmepumpe. Die Installation einer Batterie zur Speicherung von Solarstrom aus der PV-Anlage ist mit einer Kapazität von 10 kWh sinnvoll.

Variantenvergleich

Im Vergleich zu demselben Gebäude ohne aktive Kühlung sind die Eigenverbrauchsquote um 6 Prozentpunkte und der Autarkiegrad um 4 Prozentpunkte höher. Durch die Kühlung reduziert sich auch die Stromeinspeisung um 400 kWh, der Elektrizitätsbezug aus dem Netz ist jedoch um 150 kWh höher.

72% des durch das Kühlsystem verursachten erhöhten Verbrauchs ist durch Strom im Eigenverbrauch gedeckt (ohne Batterie). In Zukunft wird sich die Installation eines Stromspeichers lohnen. Die Installation einer Batterie hat folgende positive Auswirkungen:

- Erhöhung der Eigenverbrauchsquote von 28% auf 63%
- Erhöhung des Autarkiegrads von 27% auf 62%
- Reduktion der Energieeinspeisung in das Netz um 53%
- Reduktion des Energiebezugs aus dem Netz um 46%

Kommentar

Eine Reduktion des Verbrauchs dank einer sehr guten Gebäudehülle (nach Minergie-P zertifiziertes Gebäude) und eine effiziente Gebäudetechnik ermöglicht es, den Energiebezug aus dem Netz



Gebäude TI-111-P (vor 2017 zertifiziert)

Energiebezugsfläche	197 m ²
Heizung	100% Luft-Wasser-Wärmepumpe
Warmwasser	100% Luft-Wasser-Wärmepumpe
Kühlung	100% Luft-Wasser-Wärmepumpe
PV-Anlage	6 kWp Installierte Leistung

Energiedaten

Heizwärmebedarf Q_h	17,5 kWh/(m ² a)
Wärmebedarf für Warmwasser Q_{ww} *	13,9 kWh/(m ² a)
Energiebedarf für Lüftung $Q_{e,v}$	4,6 kWh/(m ² a)
Kühlbedarf $Q_{e,c}$	2,8 kWh/(m ² a)
PV-Ertrag	6600 kWh oder 33,5 kWh/(m ² a)
Gebäudetechnik allgemein	1,6 kWh/(m ² a)
Geräte*	12,5 kWh/(m ² a)
Beleuchtung*	5,5 kWh/(m ² a)

* Standardwert

Variantenvergleich: mit oder ohne Batterie

	Ohne Batterie	Mit Batterie 10 kWh
Kühlung		
Eigenverbrauchsquote	28 %	63 %
Deckungsgrad Kühlbedarf durch PV-Ertrag	72 %	–
Autarkiegrad	27 %	62 %
Energiebezug pro Jahr	4959 kWh	657 kWh

zu minimieren und dadurch einen hohen Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad mit einer durchschnittlich grossen Batterie für ein Wohngebäude zu erreichen. Die Installation einer Batterie mit 10 kWh für ein Einfamilienhaus, die eine Eigenverbrauchsquote und einen Autarkiegrad von über 60% ermöglicht, ist wirtschaftlich vorteilhaft.

Einfamilienhaus in Cureggia

Das vollständig erneuerte Einfamilienhaus verfügt aufgrund der Massivbauweise über eine grosse Speichermasse. Der aussenliegende Rafflamellenstoren mit einem g-Wert von weniger als 0,1 wird über einen Strahlungssensor automatisch gesteuert. Die Nachtauskühlung ist über Fenster möglich. Die der Heizung dienende Erdsonde wird auch für die Kühlung genutzt (Geocooling über Bodenheizung).

Variantenvergleich

Im Vergleich zu demselben Haus ohne Kühlung sind der Eigenverbrauchsanteil und der Autarkiegrad um jeweils 2 Prozentpunkte höher. Durch die Kühlung reduziert sich die Stromeinspeisung um 150 kWh, der Elektrizitätsbezug aus dem Netz ist jedoch um 50 kWh leicht erhöht. 74 % des durch das Kühlsystem verursachten erhöhten Verbrauchs ist durch Strom im Eigenverbrauch gedeckt (ohne Batterie). In Zukunft wird sich die Installation eines 5-kWh-Stromspeichers lohnen.

Standortvergleich

Das Gebäude wurde hypothetisch mit den Standorten Zürich und Montana verglichen. In Zürich weist das Gebäude einen erhöhten Gesamtverbrauch auf, obwohl es einen geringeren Kühlbedarf und PV-Ertrag gibt. Der höhere Gesamtverbrauch rechtfertigt eine Erhöhung des Eigenverbrauchs und die Reduktion des Autarkiegrads im Vergleich zu Cureggia.

Die Betrachtung des gleichen Gebäudes in Montana ergibt: der Gesamtverbrauch ist höher im Vergleich zu den Standorten Cureggia und Zürich, Eigenverbrauchsquote und Autarkiegrad sind jedoch höher, wodurch sich der Elektrizitätsbezug aus dem Netz verringert. Dies kann durch den höheren Ertrag der PV-Anlage erklärt werden. Es ist sinnvoll, die PV-Anlage zu vergrössern, um die Gebäudeautarkie zusätzlich zu verbessern. Zudem ist die Installation einer Batterie mit einer höheren Kapazität als in Cureggia oder Zürich (10 kWh) wirtschaftlich tragbar.



Gebäude TI-045-A (vor 2017 zertifiziert)

Energiebezugsfläche	156 m ²
Heizung	100 % Sole-Wärmepumpe
Warmwasser	31 % Sole-Wärmepumpe 69 % Thermische Sonnenkollektoren
Kühlung	100 % Geocooling
PV-Anlage	8,7 kWp Installierte Leistung

Energiedaten	Standort		
	Cureggia	Zürich	Montana
Heizwärmebedarf Q_h	66,9 kWh/(m ² a)	101 kWh/(m ² a)	109,9 kWh/(m ² a)
Wärmebedarf für Warmwasser Q_{ww}^*	13,9 kWh/(m ² a)		
Energiebedarf für Lüftung $Q_{e,v}$	5,87 kWh/(m ² a)		
Kühlbedarf $Q_{e,c}$	1,3 kWh/(m ² a)	0,9 kWh/(m ² a)	0,6 kWh/(m ² a)
PV-Ertrag total	8893 kWh	7496 kWh	9622 kWh
PV-Ertrag pro m ² EBF	57,0 kWh/(m ² a)	48,1 kWh/(m ² a)	61,7 kWh/(m ² a)
Gebäudetechnik allg.	2,11 kWh/(m ² a)		
Geräte*	12,5 kWh/(m ² a)		
Beleuchtung*	5,5 kWh/(m ² a)		

* Standardwert

Standortvergleich	Cureggia		Zürich		Montana	
	Kühlung	Mit Batterie 5 kWh	Kühlung	Mit Batterie 5 kWh	Kühlung	Mit Batterie 10 kWh
Eigenverbrauchsquote	17 %	31 %	19 %	34 %	17 %	44 %
Deckungsgrad Kühlbedarf durch PV-Ertrag	74 %	–	42 %	–	42 %	–
Autarkiegrad	23 %	44 %	20 %	38 %	23 %	60 %
Energiebezug pro Jahr	5236 kWh	3871 kWh	5830 kWh	4605 kWh	5729 kWh	3109 kWh

Mehrfamilienhaus in Arbedo

Das neue Mehrfamilienhaus in Arbedo ist ein Massivbau, verfügt also über eine grosse Speichermasse. Der Rafflamellenstoren mit einem g-Wert von weniger als 0,1 ist elektronisch, nach Mass der Solarstrahlung, automatisch gesteuert (Sensor). Eine Nachtauskühlung über Fenster ist möglich. Das Wohngebäude wird über eine Wärmepumpe mittels Erdsonden beheizt und mit Geocooling gekühlt (ohne Wärmepumpe). Die Installation einer Batterie mit einer Kapazität von 30 kWh lohnt sich.



Variantenvergleich

Im Vergleich zu demselben Haus ohne Kühlung sind der Eigenverbrauchsanteil aufgrund der Kühlung um 2 Prozentpunkte und die Gebäudeautarkie um 1 Prozentpunkt erhöht.

Durch die Kühlung reduziert sich die Stromeinspeisung um 500 kWh, der Elektrizitätsbezug aus dem Netz ist jedoch um 200 kWh leicht erhöht.

71% des durch das Kühlsystem verursachten erhöhten Verbrauchs ist durch Strom im Eigenverbrauch gedeckt (ohne Batterie).

Die Installation einer Batterie hat folgende positive Auswirkungen:

- Erhöhung der Eigenverbrauchsquote von 35% auf 57%
- Erhöhung des Autarkiegrads von 25% auf 41%
- Reduzierung der Energieeinspeisung ins Netz um 54%
- Reduzierung des Energiebezugs aus dem Netz um 31%

Kommentar

Bei einer relativ grossen Dachfläche im Verhältnis zum Volumen des Gebäudes ist das Potenzial zur Nutzung der Photovoltaikanlage interessant. Mehrfamilienhäuser, die zudem mit effizienten Heiz- und Kühlsystemen ausgestattet sind, bieten angesichts des Verbrauchs aufgrund der Grösse des Gebäudes die Möglichkeit, grössere Stromspeicher (30 kWh) zu installieren.

Gebäude TI-047-A (vor 2017 zertifiziert)

Energiebezugsfläche	1102 m ²
Heizung	100% Sole-Wärmepumpe
Warmwasser	100% Sole-Wärmepumpe
Kühlung	Geocooling
PV-Anlage	29,25 kWp Installierte Leistung

Energiedaten	
Heizwärmebedarf Q_h	21,4 kWh/(m ² a)
Wärmebedarf Warmwasser Q_{ww}^*	20,8 kWh/(m ² a)
Energiebedarf Lüftung $Q_{e,v}$	4,9 kWh/(m ² a)
Kühlbedarf $Q_{e,c}$	0,65 kWh/(m ² a)
PV-Ertrag	29 513 kWh oder 26,8 kWh/(m ² a)
Gebäudetechnik allgemein	4,1 kWh/(m ² a)
Geräte*	15,5 kWh/(m ² a)
Beleuchtung*	5,5 kWh/(m ² a)

* Standardwert

Variantenvergleich: mit oder ohne Batterie		
	Ohne Batterie	Mit Batterie (30 kWh)
Kühlung		
Eigenverbrauchsquote	35%	57%
Deckungsgrad Kühlbedarf durch PV-Ertrag	71%	-
Autarkiegrad	25%	41%
Energiebezug pro Jahr	34 738 kWh	27 643 kWh

Wohnen und arbeiten in Claro

Der neue Massivbau in Claro ist zu etwa zwei Dritteln mit Wohnungen belegt, zu einem Drittel mit Büroräumen. Die Wohnungen lassen sich während der Nacht über Fenster kühlen. Lediglich die Büroräume werden über die Luft-Wasser-Wärmepumpe gekühlt. Dieses Aggregat dient auch der Heizung des ganzen Hauses. Alle Räume sind mit aussenliegenden Lamellenstoren mit einem g-Wert von weniger als 0,1 ausgerüstet, die über Sensoren automatisch gesteuert sind. Die PV-Anlage wurde für die Simulation mit einer Batterie von 20 kWh Kapazität ergänzt.

Variantenvergleich

Im Vergleich zu einem Gebäude ohne Kühlung sind der Eigenverbrauchsanteil dank der Kühlung um 8 Prozentpunkte und die Gebäudeautarkie um 3 Prozentpunkte erhöht. Durch die Kühlung reduziert sich die Stromeinspeisung um 2000 kWh, der Elektrizitätsbezug aus dem Netz ist um 4786 kWh höher. 67% des durch das Kühlsystem verursachten erhöhten Verbrauchs ist durch Strom im Eigenverbrauch gedeckt (ohne Batterie). In Zukunft wird sich die Installation eines Stromspeichers mit 20 kWh lohnen. Dies hat folgende positive Auswirkungen:

- Erhöhung der Eigenverbrauchsquote von 45% auf 65%
- Erhöhung des Autarkiegrads von 34% auf 50%
- Reduzierung der Energieeinspeisung ins Netz um 40%
- Reduzierung des Energiebezugs aus dem Netz um 23%

Kommentar

Das Gebäude zeichnet sich durch die gemischte Nutzung aus. Der Verwaltungsteil und die dazu gehörende Klimatisierung erhöhen den Energiebezug aus dem Netz. Da die Räumlichkeiten überwiegend tagsüber genutzt werden, ist der vom Gebäude eigenverbrauchte Energieanteil auch ohne den Einbau einer Batterie hoch. Eine Batterie erhöht jedoch deutlich den Eigenverbrauch sowie die Autarkie.



Gebäude TI-132-A (vor 2017 zertifiziert)	
Energiebezugsfläche	747 m ² (Wohnen: 511 m ² , Verwaltung: 236 m ²)
Heizung	100% Sole-Wärmepumpe
Warmwasser	100% Sole-Wärmepumpe
Kühlung	Geocooling
PV-Anlage	23 kWp Installierte Leistung

Energiedaten	
Heizwärmebedarf Q_h	20,4 kWh/(m ² a)
Wärmebedarf für Warmwasser Q_{ww} *	16,4 kWh/(m ² a)
Energiebedarf für Lüftung Q_{eV}	0,64 kWh/(m ² a)
Kühlbedarf $Q_{e,C}$	3,9 kWh/(m ² a)
PV-Ertrag	24 380 kWh oder 32,6 kWh/(m ² a)
Gebäudetechnik allgemein	1,7 kWh/(m ² a)
Geräte*	20,8 kWh/(m ² a)
Beleuchtung*	6,6 kWh/(m ² a)

* Standardwert

Variantenvergleich: mit oder ohne Batterie		
	Ohne Batterie	Mit Batterie (20 kWh)
Kühlung		
Eigenverbrauchsquote	45%	65%
Deckungsgrad Kühlbedarf durch PV-Ertrag	67%	-
Autarkiegrad	34%	50%
Energiebezug pro Jahr	20927 kWh	16 141 kWh

Weitere Infos

Minergie Schweiz

Minergie ist seit 1998 der Schweizer Standard für Komfort, Effizienz und Werterhalt. Auf www.minergie.ch finden Sie weiterführende Informationen und Broschüren zu den Baustandards und Zusatzprodukten von Minergie.

Minergie Schweiz
Bäumleingasse 22
4051 Basel
061 205 25 50
info@minergie.ch
www.minergie.ch

Auf Kompetenz bauen

Minergie-Fachpartner unterstützen Bauherrschaften und Investoren bei der Realisierung von Minergie-Projekten. Es sind Unternehmen oder Fachleute, die im Bereich der Bauplanung oder Ausführung tätig sind und einen Minergie-Grundkurs mit Fallstudie erfolgreich abgeschlossen haben oder ihre Berufspraxis mit mindestens zwei nach Minergie-Standard gebauten oder erneuerten Gebäuden nachweisen können. Der Verein Minergie bietet für seine Fachpartner diverse Weiterbildungskurse an. Diese Kurse und alle Fachpartner sind auf www.minergie.ch aufgeführt.

Fachpublikationen

Sonnenenergie – Solaranlagen im Minergie-Gebäude. Download unter www.minergie.ch → Publikationen

Sommerlicher Wärmeschutz für Wohnbauten. Download unter www.minergie.ch → Publikationen

Kälte effizient erzeugen – Bundesamt für Energie BFE. Download unter www.bfe.admin.ch → News und Medien → Publikationen

Websites

www.ticinoenergia.ch
www.supsi.ch/isaac

Minergie Schweiz
Bäumleingasse 22
4051 Basel

061 205 25 50
info@minergie.ch

www.minergie.ch

Mit Unterstützung von



Die Minergie Leadingpartner

Publikations-Partner



always the
best climate



ticino * energia