

---

# Das Klima von morgen: Leitlinien für das Bauwesen

Die Südschweiz  
als Vorreiterin

Zusammenfassung

---

TicinoEnergia



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Wohnungswesen BWO

Bundesamt für Energie BFE



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Ein Projekt im Rahmen des Pilotprogramms Anpassung an den Klimawandel, unterstützt durch das Bundesamt für Wohnungswesen BWO und das Bundesamt für Energie BFE

## Impressum

### Herausgeber

Bundesamt für Wohnungswesen BWO  
Hallwylstrasse 4, 3003 Bern  
Tel. +41 58 480 91 11  
info@bwo.admin.ch, www.bwo.admin.ch

### Download

www.bwo.admin.ch

### Koordinierende Stelle

Associazione TicinoEnergia  
Cá Bianca, Via San Giovanni 10, 6500 Bellinzona  
www.ticinoenergia.ch

### Autor/innen

Luca Pampuri, Associazione TicinoEnergia  
Fabrizio Noembrini, Associazione TicinoEnergia  
Marta Poretti, IFEC Ingegneria SA  
Giorgio Pansa, IFEC Ingegneria SA  
Erika Saretta, ISAAC-SUPSI  
Davide Zepponi, Veragouth SA

### Begleitgruppe

Michele Fasciana, UACER, Kanton Tessin  
Giacomo Veragouth, Veragouth SA  
Luigi Conforto, Gemeinde Locarno  
Angelo Bernasconi, IFEC Ingegneria SA  
Pierluigi Bonomo, ISAAC-SUPSI  
Marco Thomas, Gemeinde Faido

### Finanzierung

Bundesamt für Wohnungswesen BWO  
Bundesamt für Energie BFE

### Zitierweise

TicinoEnergia (2023). Das Klima von morgen: Leitlinien für das Bauwesen. Die Südschweiz als Vorreiterin. Zusammenfassung. Bundesamt für Wohnungswesen, Bern.

### Anmerkungen

Diese Zusammenfassung ist auch in italienischer und französischer Sprache erhältlich. Der komplette Bericht ist in italienischer Sprache erhältlich.

Der Bericht gibt die Auffassung der Autoren wieder, die nicht notwendigerweise mit derjenigen des Auftraggebers übereinstimmen muss.

### Titelbild

© VBS

## 1 Einleitung

In Anbetracht der besonderen geografischen und klimatischen Lage sowie der zukünftigen klimatischen Entwicklung im Tessin genügen die bestehenden Normen und Bauvorschriften nicht mehr in jedem Fall, um langfristig ein optimales Klima von Innenräumen zu gewährleisten. Um den Energieverbrauch im Jahresverlauf zu begrenzen, den Komfort in den Gebäuden zu gewährleisten und die aktuelle Baupraxis an zukünftige wärmere Klimaverhältnisse anzupassen, sind neue Projektansätze erforderlich.

## 2 Glossar

Die Terminologie im Bauwesen ist nicht immer eindeutig. Die Definitionen variieren je nach dem Kontext, auf den sie sich beziehen. Für das vorliegende Projekt wurden die folgenden Bedeutungen herangezogen:

- Komfort im Innenraum: Gemäss der Norm SIA 180 wird thermischer Komfort anhand der Raumtemperatur und des gleitenden Mittelwerts der Aussentemperatur über 48 Stunden definiert. Die Anforderungen an die Behaglichkeit variieren je nachdem, ob eine Klimatechnik (Kälteproduktion) vorhanden ist. In der vorliegenden Studie wird deshalb die Unbehaglichkeit mit der Anzahl Jahresstunden beschrieben, in denen die Innenraumtemperaturgrenze in klimatisierten Räumen überschritten wird.
- Kühlung: Die Definition beschreibt ein System zur Kälteerzeugung und, falls eine Entfeuchtungsanlage vorhanden ist, zur Regulierung der Luftfeuchtigkeit in einem geschlossenen Raum (im zweiten Fall handelt es sich um eine eigentliche «Klimaanlage»).

## 3 Ziele

Konkretes Ziel des Projekts war es, sämtlichen Akteuren (Planern, Bauherren, öffentlichen Stellen) die erforderlichen Instrumente zu bieten, um vor allem in Anbetracht der weitreichenden Massnahmen zur Sanierung des Gebäudebestands in den nächsten Jahren (ordentliche oder ausserordentliche Instandhaltung) und mit Blick auf neue Bauten die Anpassung der Gebäude an den Klimawandel zu erleichtern. Dazu wurden Leitlinien für die Planung neuer bzw. die Sanierung bestehender Gebäude erarbeitet, die den Klimawandel und die entsprechenden Auswirkungen auf das Bauwesen einkalkulieren.

## 4 Methodik

Zuerst wurden drei Gebäude mit unterschiedlichen Funktionen, Eigenschaften und Rahmenbedingungen ausgewählt. Um die Repräsentativität der Simulationen zu verbessern, wurden zudem Daten von drei verschiedenen, für die Besonderheiten der Südschweiz charakteristischen Klimastationen verwendet (Piotta, Magadino und Stabio). Die drei ausgewählten Gebäude sollen allgemein den regionalen Immobilienbestand in Bezug auf Architektur und Verwendungszweck abbilden. Von diesem Ausgangspunkt aus wurden über 1000 Gebäude mit unterschiedlichen konstruktiven, betrieblichen, ausrüstungsbezogenen und meteorologischen Parametern modelliert.

Mithilfe von Simulationen wurde das Gebäudeverhalten mit Blick auf den Innenraumkomfort und den Wärmebedarf (Nutzenergie für Heizung und Kühlung) analysiert und beschrieben, indem die folgenden Eigenschaften variiert wurden:

- Klimatische Belastungen: Übergang vom aktuellen zum zukünftigen Klima gemäss den auf Bundesebene erstellten Klimaszenarien CH2018 mit besonderer Berücksichtigung des Zeitraums 2045–2074, RCP-Szenario 8.5 (vgl. Absatz 5.4);

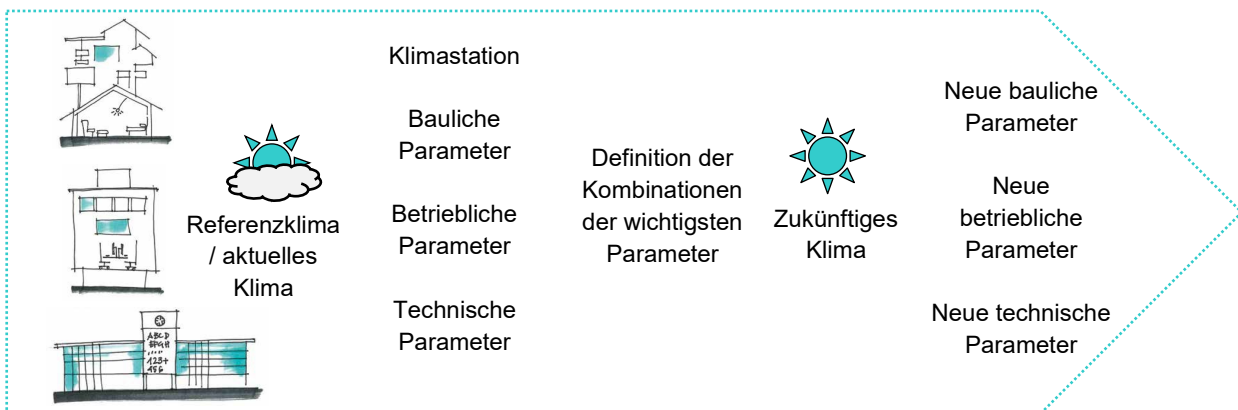
- Lage des Gebäudes: Klimastationen Piotta (aktuelles und zukünftiges Klima), Magadino (aktuelles und zukünftiges Klima) und Stabio (aktuelles Klima);
- Strategien für das Gebäudemanagement: natürliche oder mechanische Lüftung, mit manueller oder automatischer Steuerung des Sonnenschutzes, mit oder ohne Kühlungsanlage für den Sommer;
- Planerische und bauliche Eigenschaften: Verglasungsgrad der Fassaden, Eigenschaften der Wärmedämmung und der Fenster sowie Wärmekapazität der Innenräume.

Zur Evaluation des Innenraumkomforts wurde das in der Norm SIA 180 beschriebene Konzept der thermischen Behaglichkeit herangezogen. Mithilfe dieser spezifischen Methode lässt sich der Innenraumkomfort von klimatisierten und nicht klimatisierten Gebäuden beurteilen. Dabei wird berücksichtigt, dass die Nutzerinnen und Nutzer die thermischen Bedingungen durch Öffnen und/oder Schliessen der Fenster, durch Anpassung ihres Stoffwechsels (ausgeübte bzw. auszuübende Tätigkeiten) und ihrer Kleidung an die Aussen- und Innentemperaturen kontrollieren können.

## 5 Variablen

Um die Reaktion des Gebäudebestands auf den Klimawandel objektiv zu analysieren, muss zunächst das aktuelle Verhalten der Gebäude unter Berücksichtigung von Nutzungskategorie sowie von baulichen und betrieblichen Eigenschaften der Anlagen untersucht werden.

Die untenstehende Grafik veranschaulicht die für die Entwicklung der Simulationen zum aktuellen und zukünftigen Klima angewandte Methode.

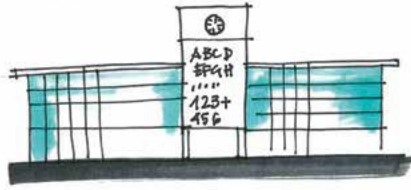


### 5.1 Gebäude

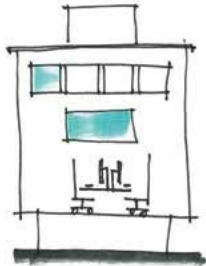
Die Gebäude, die den Ausgangspunkt bildeten, wurden von den Projektpartnern, d. h. den Gemeinden Locarno und Faido, zur Verfügung gestellt und lassen sich wie folgt beschreiben:



**Wohngebäude:** Beim Altersheim San Carlo in Locarno handelt es sich um ein Gebäude aus den 70er-Jahren mit nichttragenden Aussenmauern, Doppelwand, minimaler Hohlraumdämmung und Fassaden mit kleinem Glasanteil (20 %). Dank der Gebäudegeometrie – auskragende Balkone und schachbrettartige Fassaden – wird ein hoher Sonnenschutz erzielt. Dieses Gebäude wurde ausgewählt, weil es für die Mehrheit der in den 60er- und 80er-Jahren im Kanton gebauten Mehrfamilienhäuser typisch ist.



Schulgebäude: Das Primar- und Sekundarschulhaus in Faido stammt aus den frühen 80er-Jahren. Es zeichnet sich durch eine Tragstruktur mit sichtbaren Stahlbetonwänden, eine geringe Wärmedämmung mit Wärmebrücken an den nicht gedämmten Tragelementen und durch Klassenräume mit grosszügigen Glasflächen an der Südfassade aus. Die strikt linearen Fassaden weisen weder besondere Auskragungen noch feste Sonnenschutzvorrichtungen auf.



Verwaltungsgebäude: Das 2019 nach dem Minergie-P-Standard sanierte Verwaltungsgebäude im Zentrum von Locarno verfügt über ein Wärmdämmverbundsystem, modernste Fenster und Türen sowie einen Sonnenschutz mit einem mittleren Glasanteil (50 %).

## 5.2 Ortschaften

Um die Heterogenität des Tessins realistischer abzubilden, wurden die Simulationen zu den Gebäuden unter verschiedenen klimatischen Bedingungen durchgeführt. Piotta, die Referenzklimastation für die Gemeinde Faido, steht für einen Gebirgsort, der trotz der Höhe von 1000 m ü. M. in den Sommermonaten einer starken Sonneneinstrahlung ausgesetzt ist. Die Klimastation von Magadino, die stellvertretend für die Gemeinde Locarno steht, liegt auf etwa 200 m ü. M. und ist in jeder Jahreszeit der Sonne ausgesetzt. Stabio dagegen ist mit einer breiten Temperaturspanne zwischen Sommer und Winter sowie in der Zwischensaison zwischen Tag und Nacht ein repräsentativer Ort für das Klima in der Südschweiz.

## 5.3 Bauliche, technische und betriebliche Eigenschaften

Zur Charakterisierung der Gebäude und zur Bestimmung der wichtigsten Varianten wurden acht verschiedene Parameter kombiniert.



**Mittlere lichtundurchlässige Dämmung:** bezieht sich nur auf lichtundurchlässige Bauteile (Wände, Dächer, Fussböden). Dabei wurden ausgehend vom realen Wert für jedes Gebäude die günstigeren oder ungünstigeren Varianten entsprechend dem initialen U-Wert simuliert.



**Mittlere Fensterfläche:** im Verhältnis zur Fassadenfläche berechnet (lichtundurchlässige und transparente Teile). Die Fensterrahmen sind inbegriffen. Ausgehend vom realen Wert für jedes Gebäude wurden Simulationen bei Varianten mit verschiedenen Parametern (30 %, 50 % und 70 %) durchgeführt.



**Wärmekapazität der Räume:** nach SIA 380:2009 unter Annahme unterschiedlicher (schwerer und mittlerer) Bauweisen berechnet. Die betrachteten Varianten der Wärmekapazität sind für Beispiele mit schweren Bauteilen im Gebäudeinnern und an der Fassade «hoch» und für Gebäude mit leichten Innenelementen (z. B. abgehängte Decken und/oder Trockenwände) «mittel».



**Externer Sonnenschutz:** nicht vorhanden, manuell, automatisch



**Kühlung:** nicht vorhanden, Kühlung, Kühlung + Entfeuchtung



**Lüftung:** natürlich oder mechanisch mit Wärmerückgewinnung



**Lüftungsmanagement:** je nach Auslastung oder kontinuierlich rund um die Uhr



**Thermische Eigenschaften von Fenstern:** U-Wert, g-Wert

## 5.4 Klimaszenario

Ziel des Projekts ist es, das Gebäudeverhalten mit Blick auf den Energiebedarf und den Komfort unter den erwarteten zukünftigen Klimabedingungen zu erklären.

Zur Charakterisierung der Gebäude und zur Bestimmung der wichtigsten Varianten wurden die drei Basisparameter und die fünf baulichen, technischen und betrieblichen Parameter kombiniert. Zudem wurden Variationen des Gebäudestandorts und insbesondere des (aktuellen oder zukünftigen) Klimaszenarios untersucht. So konnte ausgehend von den drei Basisgebäuden ein Bestand von über 1000 Gebäuden simuliert werden.

Referenzklima



Das Referenzklima basiert auf von Meteonorm für den Zeitraum 1961–1990 ausgegebenen Stundenwerten (TMY2-Format).

Bezugsgrösse ist also ein durchschnittliches meteorologisches Jahr, das langfristig für typische (nicht für extreme) Bedingungen repräsentativ ist. Das Referenzklima wurde für die Simulation von über 1000 Gebäuden verwendet.

Aktuelles Klima



Klimadaten für 20 Jahre, 1999–2019. Mithilfe von Meteonorm erstellte Stundenwerte für Klimadaten (TMY2-Format); die Basisdaten stammen aus SwissMetNet, dem automatischen Messnetz von MeteoSchweiz. Sie dienen als Eingabewerte zur Simulation einiger untersuchter Gebäude im Referenzklima, wobei die effektiven Wetterbedingungen in den 20 analysierten Jahren berücksichtigt werden.

Zukünftiges Klima



Klimaprojektion für die Zukunft gemäss den von MeteoSchweiz und der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich entwickelten Klimaszenarien CH2018. **Mittlere Tageswerte.** Berücksichtigte Grössen: mittlere, minimale und maximale Aussentemperatur, gesamte auf die horizontale Fläche auftreffende Aussenstrahlung, relative Luftfeuchtigkeit der Aussenluft.

Die Klimaszenarien CH2018 wurden von MeteoSchweiz und der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich entwickelt. Sie beschreiben

die bis Ende dieses Jahrhunderts erwarteten Klimaänderungen in der Schweiz. Da das Ausmass der zukünftigen anthropogenen Emissionen massgeblich von nationalen und internationalen politischen Entscheidungen und von den identifizierten technologischen Innovationen abhängt, wurden zur Berechnung der möglichen Klimaentwicklung verschiedene Treibhausgasemissionsszenarien herangezogen. Das RCP2.6 und das RCP8.5 bilden die beiden Extremszenarien. Während das RCP2.6 davon ausgeht, dass die internationale Gemeinschaft schnell drastische Treibhausgasreduktionen beschliessen wird, nimmt das RCP8.5 an, dass die Emissionen auch in Zukunft ungebremst ansteigen werden. Falls die Emissionen in naher Zukunft ohne angemessene politische Massnahmen weiter zunehmen (RCP8.5), wird die durchschnittliche Jahrestemperatur in der Südschweiz weiter ansteigen und gegen das Jahrhundertende mehr als 4 °C über dem Mittelwert des Referenzzeitraums 1981–2010 liegen. Falls dagegen angemessene politische Massnahmen ergriffen werden (RCP2.6), könnte sich nach der ersten Jahrhunderthälfte der mittlere Temperaturanstieg bei 1,5 °C einpendeln. Allerdings sind diese Zahlenwerte mit Unsicherheiten behaftet, die von den zur Darstellung der betroffenen physikalischen Prozesse verwendeten Klimamodellen abhängen.

Das vorliegende Projekt orientiert sich am Klimaszenario RCP8.5: Dieses ist einerseits repräsentativer für den aktuellen Verlauf und betont andererseits die Problematik des Klimawandels, indem es auf weitere zugrunde liegende Aspekte hinweist.

## 6 Ergebnisse

Aus den Analysen ergeben sich einige Überlegungen zu den drei untersuchten Gebäudetypen (Wohn-, Schul- und Verwaltungsgebäude). Um die Energieeffizienz eines Gebäudes unter den künftigen klimatischen Bedingungen zu optimieren und gleichzeitig einen angemessenen Komfort zu gewährleisten, spielen die folgenden Parameter bei planerischen Entscheidungen eine wichtige Rolle. Diese Überlegungen sind in den sechs folgenden Fällen eindeutig, d. h. sie variieren nicht je nach Gebäudekategorie.

- 1  
Durchschnittliche Fensterfläche  
Das Verhältnis zwischen Glasfläche und Bruttowandfläche sollte weniger als 50 Prozent betragen (optimal < 30 %). Dies wird zu einer erheblichen konstruktiven Auflage.
- 2  
Thermische Eigenschaften der Fenster  
Verwendung von Dreifachverglasung mit einem U-Wert von etwa 0,6 W/m<sup>2</sup>K und einem g-Wert von höchstens 0,5.
- 3 und 4  
Lüftung und Lüftungsmanagement  
Die Implementierung einer natürlichen oder mechanischen Lüftung mit Option einer 24/7-Aktivierung je nach Aussentemperaturen (Free-Cooling) entwickelt sich zum Stand der Technik: Die Unbehaglichkeit in der Zwischensaison und die Betriebszeit der Klimaanlage lassen sich so reduzieren.
- 5  
Externer Sonnenschutz  
Automatisierte externe Sonnenschutzvorrichtungen, um bereits in der Zwischensaison Bedingungen zu vermeiden, die zu Unbehaglichkeit führen. Daneben kann entsprechend den Jahreszeiten auch das Potenzial der natürlichen Beschattung durch Pflanzen genutzt werden. Bei Neubauten können die Prinzipien der passiven Solararchitektur («Solargeometrie») angewandt werden.
- 6  
Kühlung  
Der Einbau einer Kühlungsanlage ist praktisch unverzichtbar. Sofern möglich, empfiehlt sich eine Kombination aus Klima- und Fotovoltaikanlage (Energiebedarf und -produktion sind zeitlich deckungsgleich).

Die Resultate bezüglich der beiden verbleibenden Parameter, d. h. die mittlere lichtundurchlässige Dämmung und die Wärmekapazität, variieren hingegen je nach Gebäudekategorie. Die umgesetzten planerischen Entscheidungen können den Gesamtwärmebedarf – nicht den Kühlungsbedarf – reduzieren oder aber die Unbehaglichkeitsstunden in der Zwischensaison verringern.

Unten werden die wichtigsten Überlegungen zu diesen beiden Parametern dargelegt. Eine nach Gebäudekategorien aufgeschlüsselte detaillierte Auflistung der Ergebnisse aus den Simulationen, die im zukünftigen Klima mit unterschiedlicher mittlerer lichtundurchlässiger Dämmung (leistungsstark → durchschnittlich) und Wärmekapazität (Reduktion) durchgeführt wurden, befindet sich im Anhang.

7

Mittlere  
lichtundurchlässige  
Dämmung

Generell bewirkt eine leistungsstarke Dämmung, dass der Energiebedarf für die Kühlung höher ist als für die Heizung.

Eine durchschnittliche (d.h. etwas leistungsschwächere) Wärmedämmung verbessert zwar den Komfort in der Zwischensaison, erhöht aber den Energiebedarf für die Heizung.

8

Wärmekapazität

Mit einer hohen Wärmekapazität lässt sich der Energiebedarf für die Heizung senken.

Eine mittlere Wärmekapazität verbessert den Komfort in der Zwischensaison und reduziert in vielen Fällen den Kühlungsbedarf, weil die Wärmelast schneller abgeführt wird.

Die beiden Variablen werden von den internen Lasten beeinflusst. Deshalb ist je nach Nutzungskategorie des Gebäudes abzuwägen, ob eine mehr oder weniger leistungsstarke Dämmung für die lichtundurchlässige Hülle sinnvoll ist. Bei neuen Gebäuden ist die Wahl der Bautechnologie auch danach zu beurteilen, wie sich die Wärmekapazität auf die Energieeffizienz und den Komfort auswirkt.

## 7 Schlussfolgerungen

Auf der Grundlage der Simulationen wurden insbesondere konkrete Überlegungen zu Parametern wie Glasfläche, Wärmedämmung und Kühlung angestellt. So wurde festgestellt, dass im zukünftigen Klima wegen des allgemeinen Temperaturanstiegs in unseren Breitengraden in praktisch allen Gebäuden Kühlungsanlagen eingebaut werden müssen, sofern man die Anforderungen an die Behaglichkeit in ähnlichem Ausmass wie heute einhalten will. In Gebäuden mit hohen internen Lasten und grossem Solargewinn wird die Kühlung wohl unumgänglich.

Um die Treibhausgasemissionen als Hauptursache für den Klimawandel zu begrenzen, müssen die Kühlungsanlagen aus erneuerbaren Energiequellen versorgt werden. Die Kombination von Klimaanlage für den Sommer mit Fotovoltaikanlagen bildet womöglich eine geeignete Lösung. Dabei werden erstens die Flächen des Gebäudebestands selbst genutzt (z. B. Dächer, Fassaden, Beschattungen); zweitens fällt der erhöhte Energiebedarf für die Klimatisierung und/oder Lüftung im Sommer zeitlich mit der erhöhten Energieproduktion der Fotovoltaik zusammen.

Die Ergebnisse zeigten mit Blick auf die Planung zudem, dass die angemessene Gestaltung der Gebäudehülle eine wichtige Rolle spielt, um eine Überhitzung im Sommer und in der Zwischensaison zu vermeiden und den Einsatz von Klimaanlage zu begrenzen. Dazu gehören im Wesentlichen automatische Sonnenschutzvorrichtungen, um falls notwendig die Sonneneinstrahlung zu reduzieren. Indirekt erlaubt dieses Ergebnis Rückschlüsse auf die Gebäudeausrichtung und die feste Beschattung; diese Parameter wurden in der vorliegenden Studie indes nicht speziell untersucht.

Der Luftaustausch, der tagsüber und vor allem nachts durch mechanische Systeme gewährleistet wird, wirkt sich insbesondere positiv auf den Komfort und die mögliche Reduktion des Betriebs der Kühlungsanlagen aus. Gleiches gilt bei einer mittleren Wärmekapazität der Räume im Vergleich zu einer hohen Wärmekapazität.



Je nach Verwendungszweck des betrachteten Gebäudes sind geringfügige Unterschiede festzustellen. Zusammen mit hohen internen Lasten (z.B. aufgrund einer hohen Personenbelegung oder zahlreicher wärmeabgebender Geräte) kann sich ein Hochleistungsdämmstoff negativ auf die Komfortparameter und den Energiebedarf des Gebäudes auswirken. Bei hohen Lasten führt eine leistungsstarke Wärmedämmung nämlich nicht systematisch zu einem jährlichen Energiegewinn, weil der Energiebedarf im Sommer aufgrund der notwendigen erhöhten Kühlung grösser ist als die Einsparung beim Heizbedarf im Winter. Dieser Aspekt ist in jedem Einzelfall zu beurteilen, weil das Gleichgewicht zwischen dem abnehmenden Bedarf im Winter und dem zunehmenden Bedarf im Sommer stark von den physikalischen Gebäudeparametern und den zu erwartenden Klimaveränderungen abhängt und in einigen Beispielen zu unerwarteten Ergebnissen führt. Die erzielten Ergebnisse sprechen dafür, den Zeitraum für die Evaluation des Energiebedarfs und des Komforts auf das ganze Jahr auszudehnen.

Schliesslich ist auch angesichts der aktuellen geopolitischen Lage, die die Anfälligkeit der europäischen Energieproduktion und -versorgung gerade im Winter offenbart hat, durchaus zu erwarten, dass der künftige Ansatz nicht nur die Energiequelle, sondern auch saisonale Versorgungsengpässe berücksichtigt. Wenn im Winter Perioden erhöhter Abhängigkeit von nicht immer ausreichend verfügbaren ausländischen Energieträgern wahrscheinlicher werden, dürfte es strategisch wichtiger sein, den Energiebedarf eher für die Heizung zu reduzieren als für die Kühlung im Sommer, weil im Sommer die lokale Energieproduktion aus erneuerbaren Quellen (insbesondere Solarenergie) und der Verbrauch besser konvergieren.

## Anhänge – Ergebnisse nach Gebäudekategorie

## Wohngebäude

Referenzklima	Zukünftiges Klima
<p>Die Komplettsanierung von Wohngebäuden nach dem heutigen Stand der Technik (theoretische Reduktion des Heizwärmebedarfs um bis zu 85 %) führt im Sommer und in der Zwischensaison zu starker Überhitzung, sodass Kompensationsmassnahmen oder Kühlungsanlagen für den Sommer notwendig werden.</p> <p>Falls eine Kühlung für den Sommer vorhanden ist, spielt der entsprechende Nutzwärmebedarf im Vergleich zum Heizbedarf eine erhebliche Rolle (32–56 %). Trotzdem ist durch verbesserte Wärmedämmung eine Abnahme des Gesamtenergiebedarfs (um bis zu 50–70 %) zu verzeichnen.</p>	<p>Die im Referenzklima festgestellten Probleme werden im zukünftigen Klima noch verstärkt.</p> <p>Die Analysen zu den simulierten Szenarien (s. Kapitel 5.1) führen betreffend Wärmekapazität und Wärmedämmung der lichtundurchlässigen Bauteile zu folgenden Feststellungen. Erhöhung der Wärmekapazität:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- mässige Verbesserung des Komforts in der Zwischensaison.</li> <li>- Bei <math>U:0,4 \text{ W/m}^2\text{K}</math> nehmen die Einschaltstunden der Kühlungsanlage zu, jedoch ohne Einfluss auf den Kühlungsbedarf. Der Gesamtenergiebedarf nimmt hauptsächlich wegen des geringeren Heizbedarfs um 4% ab.</li> <li>- Bei <math>U:0,15 \text{ W/m}^2\text{K}</math> führt die Erhöhung der Wärmekapazität zu einer Zunahme der Einschaltstunden und des Kühlungsbedarfs (+8 %) und zu einer Abnahme des Heizbedarfs, der den zunehmenden Gesamtenergiebedarf «kompensiert» (+1 %).</li> </ul> <p>Verringerung der Wärmedämmung der undurchlässigen Bauteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tendenziell nimmt die Anzahl Einschaltstunden der Kühlungsanlage ab; im speziellen Fall mit hochgradigem festem Sonnenschutz fällt der Klimatisierungsbedarf jedoch geringer aus und der Gesamtenergiebedarf nimmt sogar zu (+ ca. 30 %).</li> <li>- Die Unbehaglichkeitsstunden in der Zwischensaison nehmen deutlich ab (-83–90 %) und liegen damit unter dem aktuellen Grenzwert für Unbehaglichkeitsstunden (100 h), ab dem die Installation einer Kühlungsanlage im Sommer als notwendig gilt.</li> </ul> <p>Dank einer mechanischen Lüftung mit automatischer 24-Stunden-Aktivierung in hochgedämmten Gebäuden (<math>U:0,15 \text{ W/m}^2\text{K}</math>) lassen sich die Unbehaglichkeitsstunden in der Zwischensaison reduzieren.</p> <p>Die leistungsstarke Dämmung der lichtundurchlässigen Teile der Gebäudehülle (<math>U:0,15 \text{ W/m}^2\text{K}</math>) bewirkt, dass der Kühlungsbedarf grösser ist als der Heizbedarf.</p>

## Schulgebäude

Referenzklima	Zukünftiges Klima
<p>Die Komplettsanierung von Gebäuden, die heute nicht mit einer Kühlungsanlage ausgestattet sind, beinhaltet im Referenzklima eine deutliche Zunahme der Überhitzung im Sommer (von 830 auf 3220 Stunden) und der Unbehaglichkeit auch in der Zwischensaison (von 10 auf 840 Stunden). Deshalb müssen Kompensationsmassnahmen ergriffen und/oder eine Kühlungsanlage installiert werden.</p> <p>Die Komplettsanierung von bereits klimatisierten Gebäuden beinhaltet im Referenzklima das Auftreten von Unbehaglichkeit auch in der Zwischensaison (von 10 auf 1040 Stunden) und die Aktivierung der Kühlungsanlage (von 0 auf 2300 Stunden).</p> <p>In isolierten Gebäuden ohne Kühlungsanlage verringert die mechanische Lüftung zwar den Heizbedarf, hat aber keinen nennenswerten Einfluss auf die Unbehaglichkeit im Sommer.</p>	<p>Die im Referenzklima festgestellten Probleme werden im zukünftigen Klima noch verstärkt.</p> <p>Anhand der simulierten Szenarien (s. Kapitel 5.2) sind in Bezug auf die Wärmekapazität und die Wärmedämmung der lichtundurchlässigen Bauteile folgende Aspekte zu beobachten: Durch die Erhöhung der Wärmekapazität:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- von hochgedämmten Gebäuden (U:0,15 W/m<sup>2</sup>K) wird zwar der Gesamtenergiebedarf verglichen mit der mittleren Kapazität reduziert (-17 %), aber die Unbehaglichkeit in der Zwischensaison nimmt zu (von 400 auf 450 Stunden);</li> <li>- von Gebäuden mit durchschnittlicher Dämmung (U:0,4 W/m<sup>2</sup>K) wird der Gesamtbedarf verglichen mit der mittleren Kapazität reduziert (-13 %), was zu einer Abnahme der Unbehaglichkeit in der Zwischensaison (von 117 auf 79 Stunden) führt.</li> </ul> <p>Verringerung der Wärmedämmung der undurchlässigen Bauteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- deutliche Verbesserung des Komforts in der Zwischensaison (-70–80 %, weniger als 100 Stunden bei hoher Wärmekapazität) und geringere Anzahl Einschaltstunden der Kühlungsanlage,</li> <li>- aber steigender Energiebedarf (+14–18 % aufgrund des erhöhten Heizbedarfs).</li> </ul> <p>Bei einer Hochleistungsämmung (U:0,15 W/m<sup>2</sup>K) der lichtundurchlässigen Teile überwiegt der Kühlungsbedarf gegenüber dem Heizbedarf.</p>

## Verwaltungsgebäude

Referenzklima	Zukünftiges Klima
<p>Die Komplettisanierung (lichtundurchlässige Hülle und transparente Hülle) führt vor allem wegen des sinkenden Heizbedarfs zu einer Verringerung des Energiebedarfs (während der Klimatisierungsbedarf zunimmt). Die Anzahl Einschaltstunden der Kühlungsanlage sowie die Anzahl Unbehaglichkeitsstunden in der Zwischensaison nehmen zu.</p> <p>Gebäude mit einer geringen Fensterfläche weisen einen niedrigeren Energiebedarf auf (jedoch bei hoher Wärmekapazität und starker Dämmung auch grössere Unbehaglichkeit).</p> <p>Gebäude mit hoher Wärmekapazität sind aus energetischer Sicht leichten Konstruktionen vorzuziehen, doch sie erhöhen im Sommer und in der Zwischensaison die Unbehaglichkeit (dies gilt noch stärker für kleine Glasflächen und eine leistungsstarke Dämmung). Bei einer grossen Glasfläche (WWR &gt;50 %) nimmt der Anteil der Wärmekapazität gegenüber der Wärmedämmung überproportional zu.</p> <p>Automatische Sonnenschutzsysteme führen potenziell zu einer Reduktion des Kühlungsbedarfs von ca. 30–50 Prozent (höherer Wert in hochgedämmten Gebäuden). Dies entspricht ca. 20–25 Prozent des gesamten jährlichen Energieverbrauchs.</p> <p>Mit einer zusätzlichen natürlichen Lüftung (Free-Cooling) könnte der Kühlungsverbrauch um etwa 10–20 Prozent gesenkt und der Komfort verbessert werden (ein analoges Verhalten wird in wenig isolierten Gebäuden durch einen hygienisch notwendigen Volumenstrom auch in der Nacht erzielt).</p>	<p>Die im Referenzklima festgestellten Probleme werden im zukünftigen Klima noch verstärkt.</p> <p>Mit Blick auf die durchgeführten Simulationen (s. Kapitel 5.3) ist zudem punkto Wärmekapazität und Wärmedämmung der lichtundurchlässigen Bauteile Folgendes festzuhalten.</p> <p>Durch die Erhöhung der Wärmekapazität von hochgedämmten Gebäuden sinkt zwar der jährliche Energiebedarf, aber die Unbehaglichkeit in der Zwischensaison nimmt zu. In mittelmässig isolierten Gebäuden (U:0,4 W/m<sup>2</sup>K) führt die Erhöhung der Wärmekapazität zu einer leichten Reduktion des Energiebedarfs. Insbesondere wird der Energiebedarf für die Klimatisierung gesenkt und die Unbehaglichkeit in der Zwischensaison leicht verringert.</p> <p>Die Verringerung der Dämmung der lichtundurchlässigen Bauteile bewirkt einen leicht abnehmenden Klimatisierungsbedarf, während der Heizbedarf und der Gesamtbedarf zunehmen. Allerdings ist festzustellen, dass eine geringere Dämmung der lichtundurchlässigen Bauteile zu weniger Unbehaglichkeitsstunden in der Zwischensaison führt (bisweilen &gt; 50 %).</p> <p>Der Kühlungsbedarf ist immer deutlich höher als der Heizbedarf.</p> <p>Die Verringerung der Wärmedurchlässigkeit der Fenster bewirkt zwar eine Abnahme des Gesamtbedarfs (weil der Heizbedarf in höherem Umfang reduziert wird als der Kühlungsbedarf), aber auch eine Zunahme der Anzahl Unbehaglichkeitsstunden in der Zwischensaison.</p>