



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

MeteoSchweiz

sia

schweizerischer ingenieur- und architektenverein
société suisse des ingénieurs et des architectes
società svizzera degli ingegneri e degli architetti
swiss society of engineers and architects

HSLU Hochschule
Luzern

Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 279

Klimaszenarien fürs zukünftige Innenraumklima (SIA 2028) – Schlussbericht der Projekte «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» und A.15 «Aktuelle Klimadaten für Bauplanende»

MeteoSchweiz, SIA und Hochschule Luzern



ISSN: 2296-0058

Fachbericht MeteoSchweiz Nr. 279

Klimaszenarien fürs zukünftige Innenraumklima (SIA 2028) – Schlussbericht der Projekte «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» und A.15 «Aktuelle Klimadaten für Bauplanende»

MeteoSchweiz, SIA und Hochschule Luzern

Redaktion

Kathrin Wehrli und Stefanie Gubler

Autoren

Kathrin Wehrli, Franz Sidler, Stefanie Gubler, Sven Kotlarski, Gianrico Settembrini, Markus Koschenz, Gerhard Zweifel

Review

Dörte Aller, Jörg Dietrich, Andreas Fischer, Christoph Gmür, Guirec Gicquel, Roland Hohmann, Giuseppe Martino

Empfohlene Zitierung:

MeteoSchweiz, SIA und Hochschule Luzern, 2022: Klimaszenarien fürs zukünftige Innenraumklima (SIA 2028) – Schlussbericht der Projekte «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» und A.15 «Aktuelle Klimadaten für Bauplanende» *Fachbericht MeteoSchweiz*, **279**, 124 pp.

Herausgeber:

Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie, MeteoSchweiz, © 2022

MeteoSchweiz

Operation Center 1
CH-8044 Zürich-Flughafen
T +41 58 460 99 99
www.meteoschweiz.ch

Das Projekt ist Teil folgender Programme:

Pilotprogramm zur Anpassung an den Klimawandel (2018-2022) – A.15 «Aktuelle Klimadaten für Bauplanende» (SIA, BAFU, HSLU)

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/de/home/massnahmen/pak.html> (DE)

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/fr/home/mesures/pak.html> (FR)

<https://www.nccs.admin.ch/nccs/it/home/provedimenti/programma-pilota-adattamento-ai-cambiamenti-climatici.html> (IT)

Klimawandel im Kanton Zürich – Massnahmenplan Anpassung an den Klimawandel (2018) – K5 Informationsprogramm zu klimaangepasster Gebäudegestaltung und -technik; Baudirektion Kanton Zürich (MeteoSchweiz, BAFU, Kanton Zürich, SIA)

<https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/klima/klimaanpassung.html> (DE)

Projektbeteiligte

**Klimaangepasstes Bauen -
Grundlagen für die Zukunft**

Steuerungsausschuss

Mischa Croci-Maspoli (MeteoSchweiz)

Matthias Möller (AWEL)

Dörte Aller (SIA)

Guirec Gicquel (BAFU)

Project Advisory Board

Andreas Fischer (MeteoSchweiz)

Christoph Gmür (AWEL)

Guirec Gicquel (BAFU)

Carla Gross (BAFU)

Gerhard Zweifel (SIA)

Projektleitung

Stefanie Gubler (MeteoSchweiz)

Sven Kotlarski (MeteoSchweiz)

Andreas Fischer (MeteoSchweiz)

Projektunterstützung

Thomas Schlegel (MeteoSchweiz)

*Methodenentwicklung, technische Entwicklung,
Website*

Kathrin Wehrli (MeteoSchweiz)

Stefanie Gubler (MeteoSchweiz)

Andreas Fischer (MeteoSchweiz)

**A.15 Aktuelle Klimadaten für
Bauplanende**

Leitung SIA

Dörte Aller (SIA)

Jörg Dietrich (SIA)

Projektleitung

Gerhard Zweifel (SIA)

Begleitgruppe

Gerhard Zweifel (SIA)

Fabian Brüttsch (SIA)

Thomas Rosenberg (SIA)

Christoph Gmür (AWEL)

Begleitung BAFU

Carla Gross (BAFU)

Guirec Gicquel (BAFU)

HSLU (im Auftrag des SIA)

Gianrico Settembrini (HSLU)

Franz Sidler (HSLU)

Silvia Domingo-Irigoyen (HSLU)

Markus Koschenz (HSLU)

Zusammenfassung

Die Schweizer Klimaszenarien CH2018 zeigen auf, dass die Temperaturen in der Schweiz in den nächsten Jahrzehnten steigen werden, selbst wenn weltweit drastische Massnahmen zum Schutz des Klimas vorgenommen werden. Steigende Temperaturen und damit einhergehende häufigere, intensivere und längere Hitzewellen beeinflussen sowohl das Innenraumklima als auch den Energieverbrauch in Gebäuden, wenn beispielsweise Klimaanlage zur Kühlung eingesetzt werden müssen. Um heute geplante Gebäude auch für ein zukünftig wärmeres Klima optimal zu planen, sind spezifische Grundlageninformationen in Form von Klimaszenarien für die Gebäudeplanung unerlässlich.

Im Rahmen des Projektes «Klimaangepasstes Bauen - Grundlagen für die Zukunft» erstellte MeteoSchweiz in Zusammenarbeit mit der Baudirektion des Kantons Zürich, dem Bundesamt für Umwelt (BAFU), dem Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein (SIA) und der Hochschule Luzern (HSLU) Referenzdatensätze für die Zukunft, die für die Planung von Gebäuden genutzt werden können. Diese jährlichen Datensätze bestehen aus stündlichen, physikalisch konsistenten Daten von Temperatur, Feuchte, Wind und Strahlung und basieren auf den Schweizer Klimaszenarien CH2018. Zur Erstellung der Datensätze wurde das von Klimamodellen simulierte Klimaänderungssignal mit stündlichen Beobachtungsdaten kombiniert. Die resultierenden Daten sind für zwei zukünftige Zeiträume - eine nähere Periode von 2020 bis 2049 sowie eine um die Mitte des Jahrhunderts von 2045 bis 2074 - und die Stationen gemäss dem Merkblatt SIA 2028:2010 erhältlich. Für jeden Zeitraum wird ein typisches Jahr (Design Reference Year, kurz DRY) sowie ein Jahr mit einem aussergewöhnlichen Sommer, wie er in Zukunft ungefähr alle 10 Jahre zu erwarten ist, bereitgestellt. Der städtische Hitzeinseleffekt wurde durch gleichartige Daten für vier zusätzliche innerstädtische Stationen berücksichtigt. Diese Referenzjahre wurden durch die HSLU im Rahmen des Projektes A.15 «Aktuelle Klimadaten für Bauplanende» des Pilotprogramms Anpassung an den Klimawandel des Bundes anhand thermischer Gebäudesimulationen plausibilisiert. Erste Erkenntnisse für die Gebäudeplanung, wie zum Beispiel Bedingungen für die künftige architektonische Gestaltung und Betriebsweise oder der erhöhte Bedarf an Kühlsystemen in der Zukunft, konnten aus diesen Simulationen gewonnen werden.

In diesem Bericht werden die Methoden und Erkenntnisse der beiden Projekte im Detail vorgestellt und erläutert. Alle Arbeiten wurden im Rahmen der zwei Projekte «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» und A.15 «Aktuelle Klimadaten für Bauplanende» durch die MeteoSchweiz, die Baudirektion des Kantons Zürich, BAFU, SIA und HSLU unterstützt und erarbeitet.

Weitergehende Informationen zum Projekt, zu den Daten und Anwendungsempfehlungen sowie zum Datendownload sind unter den folgenden Links zu finden:

- Webseite des Projektes: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/schweizer-klima-im-detail/klimaszenarien-raumklima.html>
- Datendownload: <https://s.geo.admin.ch/94e9d38450>

Abstract

The Swiss climate scenarios CH2018 show that temperatures in Switzerland will rise in the coming decades, even if drastic measures to protect the climate are taken worldwide. Rising temperatures and the associated more frequent, more intense and longer heat waves will affect both the indoor climate and the energy consumption in buildings, for example, when air conditioning systems have to be used for cooling. In order to plan buildings optimally for a warmer climate in the future, specific basic information in the form of climate scenarios is indispensable.

As part of the project “Climate-adapted construction – Foundations for the future”, MeteoSwiss in collaboration with the Canton of Zurich Building Department, the Federal Office for the Environment (FOEN), the Swiss Society of Engineers and Architects (SIA) and Lucerne University of Applied Sciences and Arts (HSLU) created reference data sets for the future that can be used for building planning. These annual data sets consist of hourly, physically consistent data of temperature, humidity, wind, and radiation, and are based on the Swiss climate scenarios CH2018. Here, the climate change signal simulated by climate models was combined with hourly observational data. The resulting data are available for two future periods - a near future period from 2020 to 2049 and one around mid-century from 2045 to 2074 - and the stations according to the technical specifications SIA 2028:2010. For each period, a typical year (Design Reference Year, or DRY) and a year with a warm summer are provided. Furthermore, the urban heat island effect was considered by providing data for four inner-city stations. As part of the project A.15 “Up-to-date climate data for building designers” of the pilot program “Adaptation to Climate Change” of the Swiss Confederation, plausibility checks based on building simulations on the reference years were carried out by the HSLU. Initial findings for building planning, such as on future architectural design and operation, or on the increased need for cooling systems in the future, were obtained from these simulations.

In this report, the methods and findings of the two projects are presented and explained in detail. All work was carried out within the framework of the projects “Climate-adapted construction – Foundations for the future” and A.15 “Up-to-date climate data for building designers” supported and elaborated by MeteoSwiss, the Canton of Zurich Building Department, FOEN, SIA and HSLU.

Further information on the project website with specific information on the data and recommendations for its use, and data download can be found under the following links:

- Project website: <https://www.meteoswiss.admin.ch/home/climate/swiss-climate-in-detail/climate-scenarios-indoor-climate.html>
- Data download: <https://s.geo.admin.ch/955a717911>

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	VII
Abstract	IX
1 Einleitung	1
2 Grundlagen	3
2.1 SIA 2028	3
2.2 KlimaBau	4
3 Beobachtungsdaten und Klimaszenarien	7
3.1 Beobachtungsdaten	7
3.1.1 SwissMetNet	7
3.1.2 Stadtstationen	8
3.1.3 Bereitgestellte Messgrössen	9
3.2 CH2018 Klimaszenarien	10
3.2.1 Klimaszenarien an Umlandstationen	11
3.2.2 Klimaszenarien an Stadtstationen	12
4 Methoden	13
4.1 Wichtige Begriffe	13
4.2 Referenzjahre für die Zukunft	13
4.3 Generierung zukünftiger Stundendaten	14
4.3.1 Delta-Change Ansatz	14
4.3.2 Analog Ansatz	16
4.4 Auswahl des Referenzjahres	17
4.4.1 Finkelstein-Schafer	17
4.4.2 Mittelwert und Standardabweichung	18
4.4.3 Klimaindikatoren	19
4.5 Evaluation der generierten Referenzjahre	20
4.6 Methodenwahl	22
5 Referenzjahre für das zukünftige Klima an Umlandstationen	25
5.1 Konzeptionelles Vorgehen	25
5.1.1 Temperatur	27
5.1.2 Relative Feuchte	27
5.1.3 Strahlung	27
5.1.4 Wind	27

5.1.5	Bewölkung	27
5.2	Design Reference Year (DRY)	27
5.2.1	Analysierte Kriterien	28
5.2.2	Evaluation	28
5.2.3	Finale Auswahlkriterien	30
5.3	«1 in 10» warmer Sommer	31
5.3.1	Analysierte Kriterien	31
5.3.2	Evaluation	32
5.3.3	Finale Auswahlkriterien	32
6	Referenzjahre für das zukünftige Klima an städtischen Stationen	35
6.1	Konzeptionelles Vorgehen	35
6.1.1	Temperatur	36
6.1.2	Relative Feuchte	36
6.1.3	Strahlung	36
6.1.4	Wind	37
6.1.5	Bewölkung	37
6.2	Design Reference Year (DRY)	37
6.2.1	Analysierte Kriterien	37
6.2.2	Evaluation	37
6.2.3	Finale Auswahlkriterien	39
6.3	«1 in 10» warmer Sommer	40
6.3.1	Analysierte Kriterien	40
6.3.2	Evaluation	40
6.3.3	Finale Auswahlkriterien	40
7	Gebäudesimulationen	43
7.1	Grundlagen der analysierten Gebäude	43
7.1.1	Wohngebäude	43
7.1.2	Bürogebäude	44
7.1.3	Schulgebäude	45
7.2	Methodik Auswertung der Simulationsdaten	45
7.3	Resultate	47
7.3.1	Wohngebäude	48
7.3.1.a)	Energie und Leistung	48
7.3.1.b)	Überhitzung	49
7.3.1.c)	Temperaturen	51
7.3.1.d)	Hitzeinseleffekt	52
7.3.2	Bürogebäude	54
7.3.2.a)	Energie und Leistung	54
7.3.2.b)	Überhitzung	55
7.3.2.c)	Temperaturen	57

7.3.3	Schulgebäude	58
7.3.3.a)	Energie und Leistung	58
7.3.3.b)	Überhitzung	59
7.3.3.c)	Temperaturen	60
8	Diskussion	61
8.1	Schlussfolgerungen	61
8.1.1	Erstellte Referenzjahre	61
8.1.2	Evaluation der Referenzjahre	62
8.1.3	Vergleich Umland- und Stadtstationen	63
8.1.4	Plausibilisierung der Datensätze	66
8.1.5	Resultate aus den Gebäudesimulationen	66
8.2	Vor- und Nachteile der gewählten Methode	68
8.2.1	Vorteile der gewählten Methode	68
8.2.2	Nachteile der gewählten Methode	68
8.3	Wetter- vs. Klimadaten	70
8.4	Nutzung historischer Jahre	71
8.5	Ausblick	72
	Literaturverzeichnis	73
	Danksagung	75
A	Anhang 1: Referenzjahre	77
	Übersicht Stationen	77
	Evaluation der Referenzjahre	80
	Vergleich Umland- und Stadtstationen	84
	Übersicht gewählte Referenzjahre	86
B	Anhang 2: Gebäudesimulationen	97
	Spezifikationen Wohngebäude	97
	Spezifikationen Bürogebäude, Schulgebäude	99
	Durchgeführte Simulationen	123

1 Einleitung

1 Einleitung

Die aktuellen Klimaszenarien für die Schweiz (CH2018, 2018) zeigen, dass die Temperaturen in der Schweiz im Laufe des 21. Jahrhunderts ansteigen werden, selbst wenn weltweit starke Klimaschutzmassnahmen ergriffen werden. Dies wird sich unter anderem auf die Lebensqualität und den Komfort in Innenräumen auswirken. Da der Energieverbrauch von Gebäuden (Heizung/Kühlung) vom Umgebungsklima sowie der Bauweise der Gebäude abhängt, wird sich auch der Energieverbrauch im Gebäudesektor verändern. Eine frühere Studie (Settembrini et al., 2017), die sich auf die Vorgänger-Klimaszenarien CH2011 (CH2011, 2011) stützt, hat gezeigt, dass bei steigenden Temperaturen eines mittleren Treibhausgasszenarios der Heizenergiebedarf bis zur Periode 2045-2074 um etwa 20-30 % sinken wird im Vergleich zum Referenzzeitraum 1980-2009. Im Gegensatz dazu wird der Kühlbedarf erheblich steigen (siehe auch Kapitel 2.2). Aber nicht nur der Energiebedarf ist von den Veränderungen betroffen, auch die benötigten Leistungen für Heizung und Kühlung ändern sich.

In der Schweiz ist der Gebäudesektor für fast 25% der nationalen Treibhausgasemissionen verantwortlich (BAFU, 2020). Die Planung energieeffizienter Gebäude hat daher einen erheblichen Einfluss auf die Gesamtemissionen. Gebäude und deren Primärstruktur (Tragwerk) werden heute für eine Lebensdauer von 60 bis 100 Jahren konzipiert. Die für die Energiebilanz primär relevanten Elemente wie die Gebäudehülle werden in der Regel für eine Lebensdauer von 30 bis 50 Jahren gebaut. Die installierten Heiz- und Kühlsysteme haben eine Lebensdauer von circa 15 – 20 Jahren. Dies macht deutlich, dass der prognostizierte Klimawandel bereits heute bei der Planung neuer Gebäude oder der Umgestaltung bestehender Gebäude berücksichtigt werden muss.

Bisher waren Planende auf gemessene Daten in der Vergangenheit angewiesen, um das Innenraumklima und den Kühlbedarf zu berechnen. Ein früher Einbezug neuer Daten in die Projektplanung bietet Planenden die Möglichkeit, aktiv auf Klimaveränderungen einzugehen. Die Planenden können so die Auswirkungen der Klimaveränderungen und die möglichen Massnahmen sowohl hinsichtlich der Architektur als auch der Gebäudetechnik mit den Bauherren oder Nutzern diskutieren und optimieren.

Im Rahmen der zwei eng verknüpften Projekte «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» und A.15 «Aktuelle Klimadaten für Bauplanende» der MeteoSchweiz, der Baudirektion des Kantons Zürich, des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), des Schweizerischen Ingenieur- und Architektenvereins (SIA) und der Hochschule Luzern (HSLU) erstellte MeteoSchweiz Referenzklimadaten für die Zukunft, welche durch Gebäudesimulationen der HSLU plausibilisiert wurden. Für gängige Gebäudesimulationen müssen Klimadaten mit mehreren Variablen, die physikalisch konsistent sind, zu einem klimatologisch repräsentativen Referenzjahr in stündlicher Auflösung aufbereitet werden. Für das aktuelle Klima wird das Standardverfahren gemäss SN EN ISO 15927-4:2005 angewandt.

Im Projekt «Klimaangepasstes Bauen - Grundlagen für die Zukunft» wurden Klimaprojektionen aus CH2018 verwendet, um die zu erwartenden Bedingungen in der Zukunft darzustellen. Diese Projektionen basieren auf einem umfassenden Ensemble von regionalen Klimamodellen, welches fehlerkorrigiert und auf das Stationsnetz der Schweiz heruntergerechnet wurde. Diese lokalisierten Simulationen sind für mehrere Klimavariablen in täglicher Auflösung verfügbar. Da für Gebäudesimulationen stündliche und physikalisch konsistente Daten notwendig sind, wurden in diesem Projekt zwei Hauptfragen angegangen: 1) wie erstellt man aus täglichen Klimaszenarien Daten für die Zukunft in stündlicher Auflösung und 2) wie erstellt man Referenzjahre, welche repräsentativ sind für die erwarteten zukünftigen klimatischen Bedingungen, mit insbesondere vermehrt auftretenden Hitzeperioden? Zur Beantwortung dieser Fragen wurden verschiedene Methoden implementiert und klimatologisch evaluiert und somit ein Design Reference Year (DRY) für verschiedene Emissionsszenarien und Zeitperioden der Zukunft erstellt. Ein weiteres Ziel des Projektes «Klimaangepasstes Bauen» war es, zusätzlich zu den Messstationen, welche im Merkblatt SIA 2028:2010 verwendet wurden, Referenzjahre auch an städtischen Standorten zu erstellen. Dazu wurden die oben erwähnten lokalisierten Klimaszenarien mittels einer statistischen Übertragungsfunktion vom Umland (Stationsnetz der MeteoSchweiz) in die Stadt transferiert (Burgstall, 2019) und die Auswahl-Kriterien zur Bestimmung des Referenzjahres nochmals separat evaluiert. Des Weiteren wurde an allen Stationen ein warmes Sommerhalbjahr erstellt, welches den zukünftigen «1 in 10»-Jahres Sommer repräsentiert, also Sommertemperaturen, die im Durchschnitt alle 10 Jahre einmal überschritten werden. Die Auftrenshäufigkeit von 1 in 10 Jahren wurde so gewählt, dass sie sicherstellt, dass die entsprechenden Anlagen der Gebäudetechnik während ihrer Lebensdauer diesem aussergewöhnlichen Ereignis einmal ausgesetzt sind.

Die erarbeiteten Klimadaten wurden im Rahmen des Projektes A.15 «Aktuelle Klimadaten für Bauplanende» anhand verschiedener Gebäudesimulationen durch die HSLU getestet und plausibilisiert. Das Projekt wurde vom SIA initiiert und im Rahmen des Pilotprogramms Anpassung an den Klimawandel durch das Bundesamt für Umwelt unterstützt. Es wurde das Verhalten von drei Referenzgebäuden mit unterschiedlichen Nutzungen (Wohnen, Büro, Schule) mit den aktuell gültigen Klimadaten des Merkblatts SIA 2028:2010 sowie mit den neu generierten Klimadaten der Zukunft für den Zeithorizont Mitte des Jahrhunderts (2045-2074) untersucht und miteinander verglichen.

In diesem Bericht werden die Methoden zur Erstellung von Referenz- und «1 in 10» warmen Sommerhalbjahren für die Zukunft an Stationen des Messnetzes der MeteoSchweiz und für ausgewählte Städte eingeführt und anhand verschiedener Klimaindikatoren evaluiert. Die final gewählten Methoden werden im Detail eingeführt und besprochen. Ausserdem werden die Resultate aus den Gebäudesimulationen sowie erste Erkenntnisse für das Bauen in der Zukunft gezeigt. Die gewonnenen Erfahrungen fliessen in die angedachte Überarbeitung des Merkblatts SIA 2028 ein.

2 Grundlagen

2 Grundlagen

2.1 SIA 2028

Das Merkblatt SIA 2028 «Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik» wurde 2008 erstmals publiziert. 2010 wurden mittels Korrigenda ergänzende Daten publiziert, welche in die neue Auflage 2010 integriert wurden. 2015 wurden in Form der Korrigenda SIA 2028-C1:2015 nochmals einige vorhandene Lücken in den Daten geschlossen.

Das Merkblatt 2028:2010 enthält eine Vielzahl von hauptsächlich tabellarisch dargestellten Daten, wie sie für unterschiedliche Berechnungen im Bereich der Bauphysik und der Energie- und Gebäudetechnik benötigt werden. Die entsprechenden Normen nehmen Bezug darauf.

Es sind Daten für 40 Stationen des automatischen Messnetzes von MeteoSchweiz enthalten. Die Daten wurden in Zusammenarbeit mit MeteoSchweiz ermittelt. Grundlage für die Ermittlung der Daten bildeten die Normen der Familie SN EN ISO 15927 «Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung und Darstellung von Klimadaten».

Die in den Tabellen des Merkblatts in gedruckter Form vorliegenden Daten sind auch digital, als sog. «kompakte Daten» verfügbar unter www.energytools.ch. Als wichtiges Element werden sie ergänzt durch Ganzjahres-Datensätze in stündlicher Auflösung, sog. «Design Reference Years» (DRY), wie sie für dynamische Gebäudesimulationen und weitere auf stündlicher Basis durchzuführende Berechnungen benötigt werden. Dabei handelt es sich um Datensätze, die für ausgewählte Grössen die Häufigkeitsverteilung der zu Grunde liegenden Periode für jeden Kalendermonat möglichst gut repräsentieren. Grundlage für das Verfahren ist SN EN ISO 15927-4:2005. Ergänzend gibt es die «DRY warm» und «DRY kalt», die die wärmsten bzw. kältesten Kalendermonate der Periode enthalten.

Grundlage aller Daten sind die Messdaten der Jahre 1984 bis 2003, aus Gründen der damals verfügbaren Messdaten. Im Rahmen der Korrigenda 2015 wurde die Gültigkeit der Daten für die klimatologische Periode 1981 bis 2010 anhand der Lufttemperatur ausgewählter Stationen überprüft. Die Differenzen wurden als zu klein beurteilt, um eine Neuerstellung der Daten auf Grundlage der erweiterten Periode zu rechtfertigen.

Aus dem obigen Beschrieb ergibt sich, dass die Berechnungen im Rahmen der SIA-Normen bisher ausschliesslich auf der Grundlage historischer Daten erfolgen. Als einziges, grobes Element zur Abschätzung des Einflusses der Klimaentwicklung wird gelegentlich das «DRY warm» herangezogen.

Eine Überarbeitung des Merkblatts SIA 2028:2010 in den kommenden Jahren wird zurzeit geplant. Dies hauptsächlich zur Berücksichtigung der neueren verfügbaren Daten bis 2020. Die im Rahmen des vorliegenden Projekts erarbeiteten Daten sollen dabei integriert werden. Ebenso ist derzeit eine Überarbeitung der SN EN ISO 15927-4:2005 am Laufen, um Daten aus Klimaszenarien zu berücksichtigen.

2.2 KlimaBau

Im 2017 abgeschlossenen, BFE/BAFU-finanzierten Forschungsprojekt «KlimaBau – Planen angesichts des Klimawandels» (Settembrini et al., 2017) untersuchte die HSLU den Einfluss des Klimawandels auf den Energiebedarf und die Behaglichkeit von Wohnbauten in der Schweiz bis ins Jahr 2100. Dazu wurde der Schweizer Wohnbaupark anhand von vier realen Beispielgebäuden (zwei Altbauten und zwei Neubauten) repräsentiert.

Das künftige Klima wurde in erster Linie mit Hilfe des Treibhausgas-Szenarios A1B des IPCC, welches zwischen den neueren repräsentativen Konzentrationspfaden RCP4.5 und RCP8.5 liegt, für die Periode 2045-2074 abgebildet. Thermische Gebäudesimulationen mit den Klimadaten dieser Periode wurden mit solchen von 1980-2009 verglichen. Zur Durchführung der Untersuchung mussten zukünftige Klimareihen in ein Dateiformat gebracht werden, welches die Simulationsumgebung einlesen konnte. Dies erfolgte in Zusammenarbeit mit Fachleuten von MeteoSchweiz und basierend auf den Schweizer Klimaszenarien CH2011 (CH2011, 2011). Dazu wurden Klimadatensätze aus Messungen verwendet und mit Projektionen aus Klimamodellen kombiniert. Im Vordergrund standen zwei Standorte mit grossen klimatischen Unterschieden: Basel und Lugano.

Die Simulationsergebnisse zeigten bedeutende Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiebedarf und die Behaglichkeit in den Gebäuden. Reduzierte sich der Heizenergiebedarf sowohl bei den Neubauten als auch bei den Altbauten um 20-30%, stieg der Kühlenergiebedarf hingegen überproportional an. Bei den untersuchten Neubauten erhöhte sich der Kühlenergiebedarf in Basel auf rund die Hälfte des Heizenergiebedarfs. Simulationen für den Standort Lugano zeigten einschneidende Auswirkungen. Bei einem Neubau ohne Kühlung resultierten in einem warmen Jahr, im Nachweis zum sommerlichen Wärmeschutz gemäss Norm SIA 180:2014, über 1'400 Überhitzungsstunden, also ein Drittel des gesamten Sommerhalbjahrs.

Dies verdeutlichte für den Energiebereich die künftige Verschiebung der Bedeutung von der Bereitstellung der Heizenergie (Winterbetrachtung) hin zur Gewährleistung von behaglichen Räumen bei hohen Aussentemperaturen (Sommerbetrachtung).

Die Studie legte zudem dar, wie wichtig es ist, heutige Gebäude auch anhand der Klimadaten der Zukunft zu konzipieren. Ein optimierter Entwurf, insbesondere die Befensterung, der Sonnenschutz, die Möglichkeiten zur Nachtauskühlung, aber auch das Konzept der gebäudetechnischen Systeme sowie der Automatisierung werden eine zentrale Rolle hinsichtlich der Behaglichkeit und der Robustheit gegenüber dem Klimawandel spielen. Eine gute klimatologische Datenbasis zur Abbildung der Zukunft ist dazu essenziell.

Im Rahmen der Erarbeitung der SIA-Klimadaten in dieser Arbeit wurde, wo es möglich war, bei den Simulationen bewusst auf dieselben Annahmen und Referenzmodelle abgestützt, welche zuvor in

2 Grundlagen

der KlimaBau-Studie verwendet wurden. Dies ermöglichte einen Vergleich mit den bereits durchgeführten Simulationen mit Klimadaten der Zukunft und so eine Plausibilisierung der neu generierten Klimadaten.

3 Beobachtungsdaten und Klimaszenarien

3 Beobachtungsdaten und Klimaszenarien

3.1 Beobachtungsdaten

3.1.1 SwissMetNet

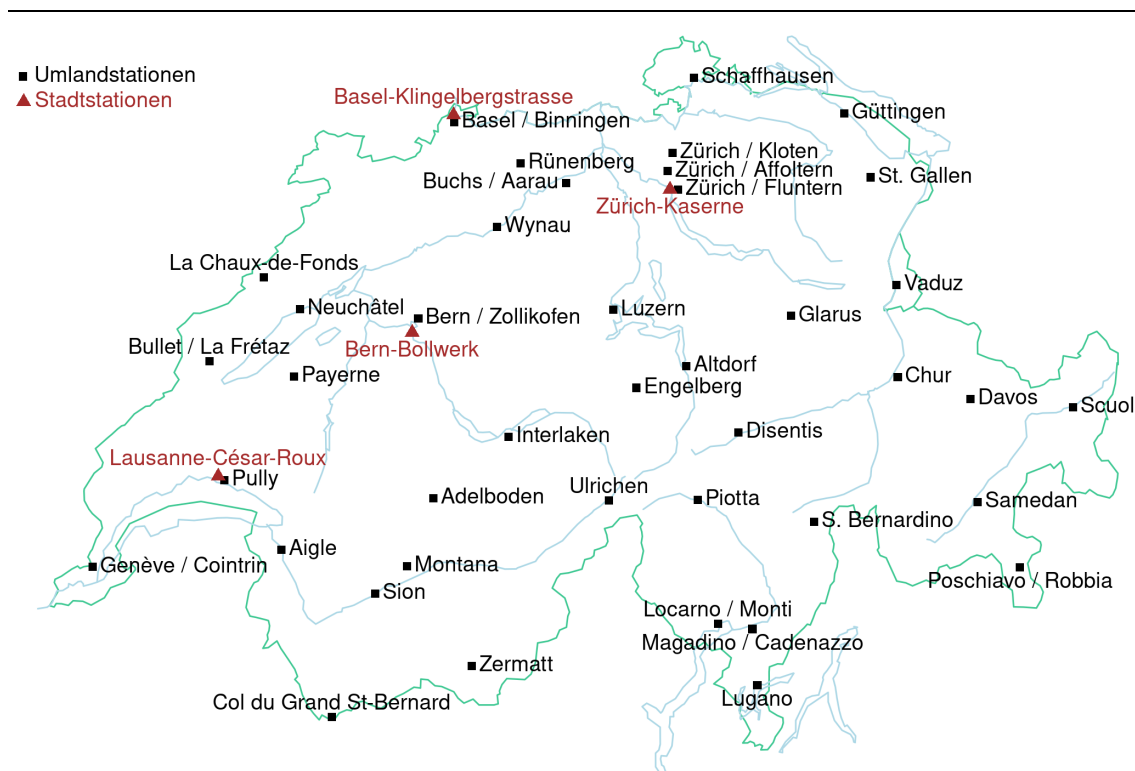


Abbildung 1: Genutzte Umland- sowie Stadtstationen

Das SwissMetNet ist das automatische Bodenbeobachtungsmessnetz der MeteoSchweiz, welches alle 10 Minuten eine Vielzahl an Wetterdaten an verschiedenen Standorten in der Schweiz liefert. Für die Erstellung der stündlichen Daten für die Zukunft wurden im Rahmen des Projektes «Klimaangepasstes Bauen - Grundlagen für die Zukunft» Beobachtungsdaten an 41 Stationen des SwissMetNet genutzt (Abbildung 1, siehe Tabelle A1 für mehr Informationen zu Koordinaten und Lage der Stationen). Die 40 Stationen aus dem Merkblatt SIA 2028:2010 wurden um die Station Zürich / Affoltern im

Kt. Zürich ergänzt. Im Folgenden werden diese 41 SwissMetNet-Stationen als Umlandstationen bezeichnet. Die Umlandstationen entsprechen den durch die Weltorganisation für Meteorologie (WMO) festgelegten Standards bezüglich Standort, verwendeten Messgeräten und Wartung. Solche Stationen müssen repräsentativ für ein grösseres Gebiet sein und dürfen nicht lokal durch Gebäude, andere Wärmequellen oder Windhindernisse gestört werden. Sie liegen deswegen vorwiegend in ländlichen Gebieten und repräsentieren städtische Gebiete mehrheitlich nicht. Aus diesem Grund wurde im Projekt «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» spezifisch ein zusätzlicher Fokus auf die Erstellung von Referenzjahren an Stadtstationen gelegt, welche im nachfolgenden Kapitel beschrieben werden.

3.1.2 Stadtstationen

Der Effekt der Stadt auf das Klima wurde in verschiedenen Studien im Detail untersucht. Nebst Effekten auf lokale Windverhältnisse (Strömungshindernisse oder auch Windkanäle) ist insbesondere der Hitzeinseleffekt stark ausgeprägt und auch im Hinblick auf das zukünftige Klima von grosser Bedeutung (Gehrig et al., 2018). Der städtische Hitzeinseleffekt (oder auch Urban Heat Island UHI) weist sich aus durch eine erhöhte Temperatur in der Stadt im Vergleich zum naheliegenden Umland. So sind die Nachttemperaturen an der Station Zürich Kaserne im Sommer um die 2.4°C höher als in Zürich Affoltern (Gehrig et al., 2018). Details zum UHI in der Schweiz können im Fachbericht Gehrig et al. (2018) nachgelesen werden.

Besonders der Effekt von städtischen Hitzeinseln auf die Tages- und Nachttemperaturen hat einen nachweislichen Einfluss auf die menschliche Gesundheit (Ragettli et al., 2017). Da viele Personen in der Stadt leben und auch oft in Städten gebaut wird, wurden im Rahmen des Projektes «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» Referenzjahre für verschiedene Schweizer Städte erstellt. Im Bericht von Gehrig et al. (2018) sind die für Schweizer Städte vorhandenen Stationen, welche auf klimatologischen Skalen Messdaten vorweisen, ausführlich beschrieben. Die Station PRAIRIE in Genf, welche im Bericht von Gehrig et al. (2018) genutzt wird, wurde in diesem Projekt nicht verwendet, da aufgrund der Kürze der Messdaten (seit 2011) keine sinnvollen Referenzjahre erstellt werden konnten. Die in dieser Arbeit genutzten Stationen sind in **Tabelle 1** gelistet. Die Daten wurden uns durch folgende Institutionen zur Verfügung gestellt:

- Basel: Universität Basel (UniBas)
- Bern: Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL)
- Lausanne: Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL)
- Zürich: Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL)

Es soll hier speziell erwähnt werden, dass uns keine städtische langjährige Beobachtungszeitreihe für den Kt. Tessin vorliegt. Die Messstation Lugano liegt auf städtischem Grund im Parco Ciani, ist jedoch stark durch den See beeinflusst.

3 Beobachtungsdaten und Klimaszenarien

Tabelle 1: Übersicht Stadtstationen

Stadt	Station	Koordinaten	Höhe ü. M. [m]	Lage der Messung	Messperiode	Datenquelle
Zürich	Kaserne	2'682'450 / 1'247'990	409	Boden	1998-2020	NABEL
Bern	Bollwerk	2'600'170 / 1'199'990	536	Boden	1999-2020	NABEL
Basel	Klingelbergstrasse	2'610'663 / 1'267'908	285	Dach	2003-2020	UniBas
Lausanne	César-Roux	2'538'695 / 1'152'615	538	Boden	1991-2020	NABEL

3.1.3 Bereitgestellte Messgrössen

Die für die Gebäudesimulationen notwendigen Messgrössen / Variablen sind in **Tabelle 2** aufgeführt. Diese sind Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Wind, Globalstrahlung, Direktstrahlung normal, diffuse Strahlung horizontal und Bewölkung. Die Bewölkung wird nicht an allen Stationen gemessen und nur dort geliefert, wo sie vorhanden ist. Die Stationen des SwissMetNet messen und übermitteln automatisch 10-minütliche Messwerte, woraus direkt die hier genutzten Stundenwerte abgeleitet werden. Für die Messungen an Stadtstationen wurde das gleiche Vorgehen angewendet, um Stundenwerte zu berechnen. Alle Messdaten unterliegen einer ausführlichen Qualitätskontrolle, bevor sie für die Erstellung von Referenzjahren genutzt wurden.

Tabelle 2: Variablen in den Klimadateien

Name	Bedeutung	Einheit
time.yy	Jahr der Datumsangabe	Jahr
time.mm	Monat der Datumsangabe	Monat
time.dd	Tag der Datumsangabe	Tag
time.hh	Stunde der Datumsangabe	Stunde
tre200h0	Lufttemperatur 2m über Boden, Stundenmittel	°C
ure200h0	Relative Luftfeuchte, Stundenmittel	%
fkl010h0	Windgeschwindigkeit, Stundenmittel	m s ⁻¹
fkl010h1	Windgeschwindigkeit, Böenspitze (Sekundenböe, Stundenmaximum)	m s ⁻¹
dkl010h0	Windrichtung, Stundenmittel	Grad
skycover	Bewölkung, Momentanwerte linear interpoliert	%
gls	Globalstrahlung horizontal, Stundenmittel	W m ⁻²
str.diffus	Diffuse Strahlung horizontal, Stundenmittel	W m ⁻²
str.direkt	Direktstrahlung normal (Beam), Stundenmittel	W m ⁻²

Bis auf die Bewölkung und die Böenspitzen wurden für alle Variablen Stundenmittel verwendet. Ein Stundenmittel besteht aus sechs Zehnminutenwerten, wobei die Werte von $x-10$ bis und mit $x+40$ für die volle Stunde x berücksichtigt werden (Bsp. 11.50 Uhr bis 12.40 Uhr für den 12 Uhr Wert). Bei der Böenspitze wird der Stundenwert als das Maximum von $x-10$ bis und mit $x+40$ bestimmt.

Bei der Bewölkung wurden pro Tag drei Momentanwerte um 6, 12 und 18 UTC verwendet. Die Beobachtung wird jeweils zum Zeitpunkt $x+40$ gemacht (Bsp. 14.40 Uhr bei Sommerzeit und 13.40 Uhr bei Winterzeit für den 12 Uhr Wert). Bei der Messung wird von Auge der Anteil des Himmels, der bedeckt ist, geschätzt. Die Beobachtung wird in Achteln angegeben, wobei acht Achtel eine dichte, geschlossene Wolkendecke bezeichnen. Die Einheit für den Bewölkungsgrad wird auch Okta genannt. Um stündliche Werte zu erhalten, wurden die verfügbaren drei Bewölkungswerte pro Tag linear interpoliert. Für die Dateien wurden die Beobachtungen in Prozente umgerechnet.

Die diffuse Strahlung horizontal und die Direktstrahlung normal wurden aus der Globalstrahlung auf Stundenmittelbasis hergeleitet. Dabei wird zur Aufteilung der gemessenen Globalstrahlung in diffuse und direkte Strahlung das Perez-Modell angewendet (Perez et al., 1991; 1992). Es wurden dafür die gleichen Berechnungen vorgenommen wie für die DRY im Merkblatt SIA 2028:2010.

3.2 CH2018 Klimaszenarien

CH2018 ist die aktuelle Generation von nationalen Klimaszenarien für die Schweiz (CH2018, 2018). Basierend auf Kombinationen modernster globaler und regionaler Klimamodelle (Modellketten) präsentiert CH2018 Projektionen für das zukünftige Klima in der Schweiz unter Verwendung von drei alternativen Emissionsszenarien (Representative Concentration Pathways; RCPs). Die drei RCPs enthalten Annahmen zu den globalen Emissionen von Treibhausgasen, Aerosolen und chemisch aktiven Gasen sowie zu Veränderungen der Landnutzung und Landbedeckung im Verlauf des 21. Jahrhunderts. Sie umfassen ein Szenario mit drastischen globalen Emissionssenkungen, welches kompatibel ist mit dem im Pariser Abkommen festgelegten Ziel einer Erwärmung der globalen Mitteltemperatur um 2°C (RCP2.6). Zudem umfassen sie auch ein Szenario mit weiterhin steigenden Emissionen ohne Anstrengungen zur Emissionssenkung (RCP8.5), und ein mittleres Szenario, das von einer Stabilisierung der Treibhausgas-Emissionen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts ausgeht (RCP4.5). Die Namen der RCPs geben das Niveau des Strahlungsantriebs (in W/m^2) an, welcher bis im Jahr 2100 erreicht wird. **Abbildung 2** zeigt die zukünftige Entwicklung des globalen CO_2 -Austosses der zwei Szenarien RCP2.6 und RCP8.5.

Die CH2018-Szenarien bewerten drei Zukunftsperioden: 2020-2049, 2045-2074 und 2070-2099. In diesem Bericht betrachten wir die kurz- und mittelfristige Zukunft 2020-2049 und 2045-2074, welche als besonders relevant für den Bausektor eingestuft werden. Der Einfachheit halber werden diese 30-Jahresperioden jeweils mit dem zentralen Jahr «2035» respektive «2060» bezeichnet. Im Zeitraum «2035» ist gemäss RCP2.6 in der Schweiz mit einer Erwärmung der Jahresmitteltemperatur von $+0.6^{\circ}\text{C}$ bis $+1.6^{\circ}\text{C}$ gegenüber der Normperiode 1981-2010 zu rechnen. Unter Annahme von RCP8.5 wird eine geringfügig höhere Erwärmung von $+0.9^{\circ}\text{C}$ bis $+1.9^{\circ}\text{C}$ erwartet. Bis Mitte des Jahrhunderts ist eine Temperaturerhöhung von $+0.7^{\circ}\text{C}$ bis $+1.9^{\circ}\text{C}$ für RCP2.6 und $+2.0^{\circ}\text{C}$ bis $+3.3^{\circ}\text{C}$ für RCP8.5 möglich.

3 Beobachtungsdaten und Klimaszenarien

Emissionsszenarien

Weltweiter netto CO₂-Ausstoss aus fossilen und industriellen Quellen
(Quelle: Angepasst von IPCC 2013/WGI/Box 1.1/Figure 3b)

- Kein Klimaschutz
- Konsequenter Klimaschutz

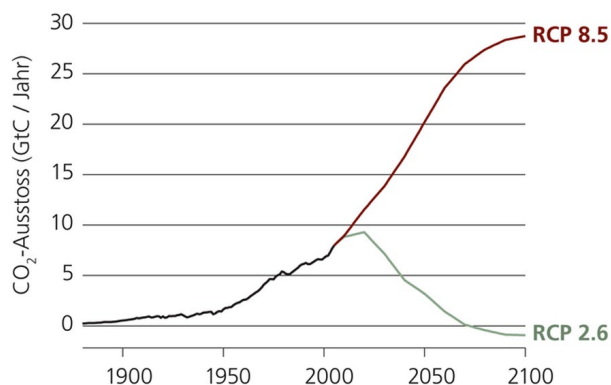


Abbildung 2: Gemessene und projizierte Treibhausgasemissionen unter Annahme der zwei Emissionsszenarien RCP2.6 und RCP8.5. Quelle: NCCS (2018).

Mehr Details zu den Klimaszenarien CH2018 sowie zu Emissionsszenarien sind über www.klimaszenarien.ch erhältlich.

3.2.1 Klimaszenarien an Umlandstationen

Die CH2018-Klimaszenarien basieren auf einem Ensemble regionaler Klimasimulationen, welche durch die EURO-CORDEX Initiative (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment for the European Domain) bereitgestellt wurden. Die Ergebnisse der regionalen EURO-CORDEX-Klimamodelle haben eine horizontale Auflösung von 12 km oder 50 km, was in vielen Fällen zu grob für lokale Klimafolgenabschätzungen ist. Zudem weisen die Modelle teilweise erhebliche Verzerrungen auf, insbesondere über der komplexen Topographie der Schweiz. Deshalb wurden die EURO-CORDEX-Simulationen im Rahmen von CH2018 mit Hilfe eines statistischen Verfahrens, dem «Quantile-Mapping», korrigiert und räumlich herunterskaliert (Feigenwinter et al., 2018). Das Quantile-Mapping basiert auf Beobachtungsdaten der Referenzperiode 1981-2010, welche es erlauben, die Verteilungen der simulierten Klimavariablen zu korrigieren. Zu diesem Zweck wurden in CH2018 Stationsdaten des Beobachtungsnetzes der MeteoSchweiz sowie gerasterte Beobachtungen verwendet. Daraus wurden Klimaprojektionen für das Stationsnetz der Schweiz und für ein 2km-Gitter abgeleitet. Für das hier vorgestellte Projekt verwenden wir die fehlerkorrigierten Stationsprojektionen, die unter dem Namen «DAILY-LOCAL» in CH2018 bereitgestellt werden. Dabei gibt es für jedes RCP eine unterschiedliche Anzahl von Modellprojektionen (siehe CH2018-Bericht (CH2018, 2018) für weitere Details). Für RCP2.6 stehen somit insgesamt 8, für RCP4.5 17 und für RCP8.5 22 Modellketten zur Verfügung.

3.2.2 Klimaszenarien an Stadtstationen

Da für die Innenstädte keine Szenarien aus CH2018 vorliegen, wurden diese aus den fehlerkorrigierten Stationsprojektionen für die Umlandstationen hergeleitet. Dazu wurden Stationspaare wie folgt aus jeweils einer ländlichen und einer städtischen Station gebildet: SMA-NABZUE, BER-NABBER, BAS-BKLI, PUY-NABLAU (siehe **Tabelle A1** für die Abkürzungen der Stationsnamen). Für den räumlichen Transfer der Szenarien von der Umlandstation zur Stadtstation wurde ein Quantile-Mapping durchgeführt. Dafür wurde das R Paket `qmCH2018` (10.5281/zenodo.3275571) (Rajczak et al., 2016) verwendet. Mit den Beobachtungsdaten des gemeinsamen Messzeitraumes der Stationspaare (siehe **Tabelle A2**) wurde eine Korrekturfunktion kalibriert und auf die ländlichen Messungen angewendet, um diese in die Stadt zu transferieren. Strahlung (Globalstrahlung, Direktstrahlung normal und diffuse Strahlung horizontal) und Wind (Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Böenspitzen) wurden dabei nicht in die Stadt transferiert, da hier davon ausgegangen werden kann, dass die Messungen durch lokale Bedingungen beeinflusst sind. Zudem existieren für die Stadt keine Bewölkungsbeobachtungen, weshalb die Bewölkung ebenfalls direkt von der Umlandstation übernommen wurde.

4 Methoden

4 Methoden

4.1 Wichtige Begriffe

Referenzjahr: Überbegriff für Referenzdaten, welche die Klimatologie einer 30-jährigen Zeitperiode durch ein einziges Jahr physikalisch konsistenter Daten abbilden. Das Referenzjahr kann aus Abschnitten verschiedener Jahre zusammengesetzt werden und es wird in der Regel eine stündliche Auflösung der Daten verwendet.

Design Reference Year (DRY): Referenzjahr für ein typisches Jahr. Bildet das mittlere Klima bezüglich dreier Hauptvariablen (Temperatur, relative Feuchte, Globalstrahlung) und gewisser Klimaindikatoren ab.

«1 in 10» warmer Sommer: Referenzjahr mit einem Sommerhalbjahr, welches bezüglich der mittleren Sommertemperatur (JJA) und der Dauer von Hitzeperioden in einem von 10 Jahren überschritten wird. Das Winterhalbjahr wird durch die Wintermonate des DRY gebildet.

4.2 Referenzjahre für die Zukunft

Referenzjahre (auch typische meteorologische Jahre genannt) werden verwendet, um typische klimatologische Bedingungen an einem bestimmten Ort darzustellen. Ein Jahr stündlicher Daten soll somit das Klima einer klimatologischen Periode (üblicherweise 30 Jahre) möglichst gut abbilden, welches auch die geforderte Länge von 10 Jahren gemäss SN EN ISO 15927-4:2005 erfüllt. In der Regel werden für ein Referenzjahr Daten unterschiedlicher Beobachtungsjahre zu einem einzigen Jahr zusammengesetzt. Dabei werden monatliche Segmente (e.g., Merkblatt SIA 2028:2010) oder auch Segmente unterschiedlicher Längen (BBR und DWD, 2017) verwendet. Um das heutige Klima abzubilden, werden die Referenzjahre aus Beobachtungswerten zusammengesetzt.

Ziel des Projektes «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» war es, auf Basis der Klimaszenarien für die Schweiz CH2018 stündliche Referenzjahre für die Zukunft zu erstellen. Eine Herausforderung dabei ist die Generierung einer höheren zeitlichen Auflösung der Klimaszenarien von täglicher auf stündlicher Granularität. Aus diesem Grund werden im Projekt zwei Fragestellungen angegangen:

1. wie erstellt man aus Daten von Klimaszenarien mit täglicher Auflösung stündliche Daten für die Zukunft und

2. wie erstellt man Referenzjahre, welche repräsentativ sind für die erwarteten zukünftigen klimatischen Bedingungen, mit insbesondere vermehrt auftretenden Hitzeperioden.

In einem ersten Schritt wird durch den Vergleich verschiedener bestehender Methoden die erste Frage 1) angegangen (Kapitel 4.3). In einem zweiten Schritt wird ein Referenzjahr aus verschiedenen repräsentativen Segmenten erstellt (siehe Kapitel 4.4). Es werden zwei Arten Referenzjahre erstellt, zum einen das DRY, welches das typische Klima abbildet und zum anderen der «1 in 10» warme Sommer, der für das Sommerhalbjahr Bedingungen abbildet, welche einmal in zehn Jahren übertroffen werden.

Die Methoden wurden im Projekt «Klimaangepasstes Bauen» für zwei Zeiträume, die kurz- (2020-2049) sowie die mittelfristige Zukunft (2045-2074) und entsprechend den Emissionsszenarien RCP2.6, RCP4.5 und RCP8.5 bewertet.

4.3 Generierung zukünftiger Stundendaten

Insgesamt wurden drei Methoden zur Generierung physikalisch-konsistenter zukünftiger Stundendaten implementiert und getestet. Eine Methode folgt einem «Delta-Change Ansatz». Dabei werden Beobachtungsdaten mit einem Klimaänderungssignal (dem sogenannten Delta) in die Zukunft skaliert. Die zwei anderen Methoden folgen einem «Analog Ansatz». Das bedeutet, dass die Analoge, die das zukünftige Klima möglichst gut abbilden sollen, direkt aus den Beobachtungsdaten gezogen werden. Analoge sind Zeitperioden oder Regionen, für welche die beobachteten, klimatischen Bedingungen den projizierten zukünftigen Bedingungen einer untersuchten Station entsprechen. Im ersten Fall spricht man von zeitlichen Analogenen und im zweiten Fall von räumlichen Analogenen. Hier werden nur zeitliche Analoge betrachtet, also Zeitperioden der Messreihe derselben Station, für die das zukünftige Klima wiedergegeben werden soll. Damit wird sichergestellt, dass die Konsistenz von Variablen erhalten bleibt, da die Zusammenhänge zwischen den Variablen auch vom Standort abhängen können.

Grundlage bilden in allen Methoden die lokalisierten, fehlerkorrigierten Datensätze aus den Klimaszenarien CH2018 an unterschiedlichen Stationen (CH2018, 2018), sowie die Beobachtungsdaten an Umlandstationen von 1981 – 2010. Für die Referenzjahre für die Stadt wurden die Zeiträume aus **Tabelle 1** für die städtische sowie für die ländliche Station verwendet.

Im Folgenden werden der Delta-Change Ansatz und der Analog Ansatz, sowie die drei davon abgeleiteten Methoden erklärt. Die Auswahl der finalen Methode erfolgt in Kapitel 4.6, wobei die gewählte Methode dem Delta-Change Ansatz folgt.

4.3.1 Delta-Change Ansatz

Die erste implementierte Methode folgt einem Delta-Change Ansatz (folgend DRY-Delta-Change genannt). Dabei wird basierend auf den fehlerkorrigierten Daten aus CH2018 ein lokales Änderungssignal, das sogenannte Delta, berechnet. Grundsätzlich lässt sich dieses Delta verwenden um a) bestehende Referenzjahre (zum Beispiel die DRY aus dem Merkblatt SIA 2028:2010) zu skalieren oder, um b) Beobachtungsdaten der 30 Jahre zu skalieren und dann aus den skalierten Beobachtungen ein DRY zu wählen, welches die lokalisierten Klimaszenarien von CH2018 möglichst gut abbildet.

4 Methoden

Variante b) bietet den Vorteil, dass im final gewählten Referenzjahr nicht bloss das mittlere Änderungssignal, sondern auch Änderungen in Wetterlagen (z.B. häufigere oder längere Hitzewellen) oder Änderungen im Zusammenhang zwischen Variablen (z.B. gleichzeitiges Auftreten von Hitze und Trockenheit, ausgedrückt als erhöhte Sonnenstrahlung) abgebildet werden können. Deswegen wurde hier Variante b) implementiert.

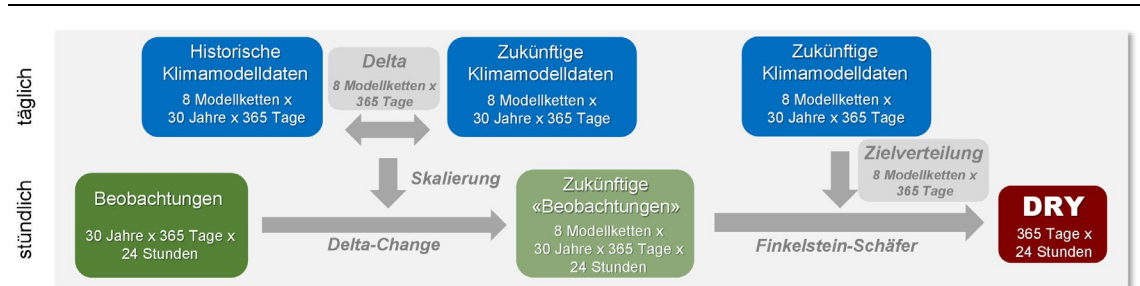


Abbildung 3: Vorgehen zur Generierung des Deltas, der zukünftigen Beobachtungen, der Zielverteilung und des DRYs für das zukünftige Klima an Umlandstationen für das Emissionsszenario RCP2.6.

In dieser Arbeit wurde für jede Variable, jedes Emissionsszenario, jede Zukunftsperiode und jede Modellkette ein lokales Änderungssignal (genannt Delta) bestimmt. In **Abbildung 3** ist das Vorgehen beispielhaft für das Emissionsszenario RCP2.6 (mit acht Modellketten) erklärt. Das Delta wird aus den fehlerkorrigierten CH2018 Daten als Differenz oder Quotient der gewählten Zukunftsperiode (entweder «2035» oder «2060») und der heutigen Periode (1981-2010) berechnet. Somit ergeben sich zum Beispiel aus acht Klimasimulationen für RCP2.6 acht Deltas von der Länge eines Jahres pro Variable und Zukunftsperiode. Die auf täglicher Basis abgeleiteten Deltas werden mit einer Spline-Interpolation saisonal geglättet, um den Jahresgang des mittleren Änderungssignals zu erhalten. Die geglätteten täglichen Werte werden anschliessend linear auf stündliche Werte interpoliert, die ein ganzes Jahr abdecken. Zu beachten ist, dass dabei tageszeitliche Schwankungen der skalierten Variablen nicht berücksichtigt werden. In einem zweiten Schritt wird jedes Delta separat auf die stündlichen historischen Beobachtungen von 1981-2010 angewendet. Für die Temperatur wird eine additive Skalierung angewendet, während die Skalierung für Strahlung und Luftfeuchtigkeit multiplikativ ist. Die CH2018-Klimaszenarien liefern keine Informationen über die oberflächennahe Windrichtung oder Böenspitzen, sondern nur über die mittlere Windgeschwindigkeit. Die projizierten Änderungen der Windgeschwindigkeit sind jedoch sehr klein, weswegen keine Skalierung des Windes vorgenommen wurde. Da die Szenarien ebenfalls keine Bewölkungsdaten enthalten, wird auch bei der Bewölkung keine Skalierung vorgenommen. Die skalierten Beobachtungen bilden eine Zeitreihe, welche ein Vielfaches länger ist als die ursprüngliche Zeitreihe (z.B. 8 x 30 Jahre für jeden Zeitraum für RCP2.6; «zukünftige Beobachtungen» in **Abbildung 3**).

Die Referenz, welche die zukünftigen Bedingungen repräsentiert, wird aus den täglichen fehlerkorrigierten CH2018-Daten an den Stationsstandorten für die betreffende zukünftige Periode und das betreffende Emissionsszenario gebildet. Dazu wird eine Zeitreihe der Länge ein Jahr mal Anzahl Modellketten erstellt, welche für jede Modellkette die «typischsten» Monate enthält und diese aneinanderreicht. Aus den skalierten Beobachtungen werden anschliessend die Monate ausgewählt, welche

diese Referenz-Zeitreihe bezüglich der Temperatur, der relativen Feuchte und der Globalstrahlung am besten repräsentieren. Die gewählte Kombination von Modellkette und Monat aus den skalierten Beobachtungen bestimmt das DRY. Das Auswahlverfahren ist in Kapitel 4.4.1 beschrieben.

4.3.2 Analog Ansatz

Zwei weitere implementierte Methoden folgen einem Analog Ansatz. Die erste ist angelehnt an die Methode, welche vom Deutschen Wetterdienst (DWD) zur Erstellung seiner Testreferenzjahre (TRY) für die Zukunft verwendet wird (BBR und DWD, 2017). Als zweite Methode wurde ein neuer Analog Ansatz entwickelt, welcher sich näher an der Methode für heutige Referenzjahre aus dem Merkblatt SIA 2028:2010 und damit an der Norm SN EN ISO 15927-4:2005 orientiert. Beide Methoden berücksichtigen Beobachtungsdaten an Umlandstationen aus dem Zeitraum 1981-2019. Der längere Zeitraum von 39 Jahren wurde gewählt, um eine grössere Auswahl an Referenzmonaten zu haben und – angesichts der starken Erwärmung der letzten Jahre - einige der seit 2010 aufgetretenen warmen Sommer einzubeziehen.

Die erste Methode (folgend TRY-Analog genannt) setzt beobachtete Witterungsabschnitte beliebiger Länge zwischen 10 und 30 Tagen (Ausnahmen am Jahresende möglich) zusammen, so dass wahrscheinliche Wetterabläufe in der Zukunft wiedergegeben werden. Dabei muss das Referenzjahr für die Zukunft tagesgenau zusammengesetzt werden. Dies bedeutet, dass ein Segment vom 1. - 20. Januar auch im Referenzjahr an diesen Kalendertagen steht. Der ursprüngliche Programmcode für diese Methode wurde vom Deutschen Wetterdienst (DWD) bereitgestellt und für Stationen in der Schweiz modifiziert. In der Schweiz werden die Daten zum zukünftigen Klima an Stationen aus den fehlerkorrigierten CH2018 Szenarien verwendet. Dazu wird für jede zukünftige Periode und jedes Emissionsszenario eine Klimatologie (365 Tage) über alle Modellketten gerechnet, welche die zu repräsentierenden Bedingungen vorgibt. Basierend auf der Temperatur werden Beobachtungen der Vergangenheit aus der Periode 1981 bis 2019 «gezogen», welche das zukünftige Klima (bez. der Temperatur) möglichst gut abbilden. Wie oben erwähnt können die gezogenen Beobachtungen aus Zeitabschnitten zwischen 10 bis 30 Tagen liegen, welche dann zusammengesetzt werden. Die Übergänge zwischen den Zeitabschnitten werden jeweils über die letzten 5 Stunden des alten Abschnitts und ersten 5 Stunden des neuen Abschnitts geglättet.

Die zweite Analog-Methode (folgend DRY-Analog genannt) verkettet einzelne Monate (und nicht unterschiedlich lange Zeitabschnitte) aus den Beobachtungen des historischen Zeitraums, so dass die zukünftigen klimatologischen Bedingungen bestmöglich repräsentiert werden. Dabei fliessen die Variablen Temperatur, relative Feuchte und Globalstrahlung in die Auswahl ein. Aus 12 beobachteten Monaten wird ein Referenzjahr zusammengesetzt. Die Monate des Referenzjahres werden jeweils nur aus denselben Kalendermonaten der Beobachtungen ausgewählt. Die zu repräsentierenden zukünftigen Bedingungen stammen wie bei DRY-Delta-Change von den fehlerkorrigierten Szenarien an den Stationen. Es werden dabei alle Modellsimulationen eines RCPs verkettet, um somit eine längere Zeitreihe zu erhalten (z. B. 30 x 8 Jahre für den Zeitraum 2060 für RCP2.6).

Da die Referenzjahre direkt aus den Beobachtungen gebildet werden, stellen beide analoge Methoden sicher, dass die Konsistenz zwischen den Variablen auch auf stündlicher Basis erhalten ist.

4 Methoden

4.4 Auswahl des Referenzjahres

Bei allen drei Methoden soll ein Referenzjahr so gewählt werden, dass die Szenarien CH2018 bestmöglich repräsentiert werden. Für die Auswahl muss einerseits festgelegt werden, bezüglich welcher Kriterien beziehungsweise Variablen die Szenarien repräsentiert werden sollen und andererseits mit welcher Statistik die besten Segmente/Monate ausgewählt werden. Die DRY-Analog und DRY-Delta-Change Methoden orientieren sich an der Norm der heutigen Referenzjahre in der Schweiz. Aus diesem Grund werden die drei Hauptvariablen Temperatur, Globalstrahlung und relative Feuchte berücksichtigt. In der ursprünglichen TRY-Analog Methode des DWD wird nur die Temperatur für die Auswahl der Referenzjahre der Zukunft genutzt, was hier übernommen wird. Um diejenigen Segmente/Monate auszuwählen, welche die Hauptvariable(n) am besten wiedergeben, werden bei der DRY-Analog sowie der DRY-Delta-Change Methode die Finkelstein-Schafer Statistik angewandt (Kapitel 4.4.1), und bei der TRY-Analog Methode werden Mittelwert und Standardabweichung als Auswahlstatistik angewandt (Kapitel 4.4.2).

Im Folgenden werden die Auswahl mit Finkelstein-Schafer und mit Mittelwert und Standardabweichung für die drei Methoden erklärt. Die Auswahl der finalen Methode erfolgt in Kapitel 4.6, wobei die gewählte Methode (DRY-Delta-Change) das Auswahlverfahren mit Finkelstein-Schafer verwendet.

4.4.1 Finkelstein-Schafer

Die Methoden DRY-Analog und DRY-Delta-Change setzen monatliche Segmente (jeweils ein ganzer Kalendermonat) zu einem Referenzjahr zusammen. Die zu repräsentierende Referenz wird in beiden Fällen aus den entsprechenden Kalendermonaten für die Modellketten in den CH2018 Szenarien bestimmt. Die Referenz wird jeweils pro Zukunftszeitraum und Emissionsszenario für jede der drei Hauptvariablen bestimmt: Temperatur, relative Feuchte und Globalstrahlung. Bei DRY-Analog werden alle Jahre aus der Zukunftsperiode berücksichtigt, während bei DRY-Delta-Change nur das typische Jahr pro Modellkette verwendet wird. Dieser Unterschied spielt bei der Bestimmung eines DRY kaum eine Rolle. Das Vorgehen erhält erst eine Bedeutung bei der Auswahl des «1 in 10» warmen Sommers (Kapitel 5.3 und 6.3).

Für die Bestimmung der repräsentativsten Monate wird die Finkelstein-Schafer-Statistik verwendet. Dabei wird auf Basis der Tagesdaten eine verteilungsbasierte Statistik angewendet. In **Abbildung 4** ist beispielhaft gezeigt, wie im heutigen Zeitraum der repräsentativste Monat für die Temperatur im Kalendermonat August aus der Beobachtungsreihe 1981-2010 bestimmt wird. Im Beispiel werden die täglichen Temperaturen aller Augusttage aus dem gesamten Zeitraum 1981-2010 nach Grösse sortiert und in der Verteilung eingeordnet. Anschliessend wird jeder August jedes Jahres einzeln in der Verteilung eingeordnet. Schliesslich wird die Differenz (in y-Richtung) zwischen den Verteilungen der einzelnen Monate (farbig) und des gesamten Zeitraumes (schwarz) aufsummiert. Die Jahre werden entsprechend der Summe der Differenzen rangiert (minimale Summe als Rang 1). Im gezeigten Beispiel (**Abbildung 4**) erhält der August des Jahres 2004 Rang 1, das Jahr 1990 den Rang 2, etc. Dieses Verfahren wird für jede der drei Hauptvariablen separat durchgeführt. Die Ränge der einzelnen Jahre pro Hauptvariable (gleiche Gewichtung) werden schliesslich addiert und das Jahr mit dem kleinsten Rang gewählt. Somit kann auch ein Monat gewählt werden, welcher zum Beispiel die Temperatur nicht optimal repräsentiert, dafür die relative Feuchte und Strahlung sehr genau trifft.

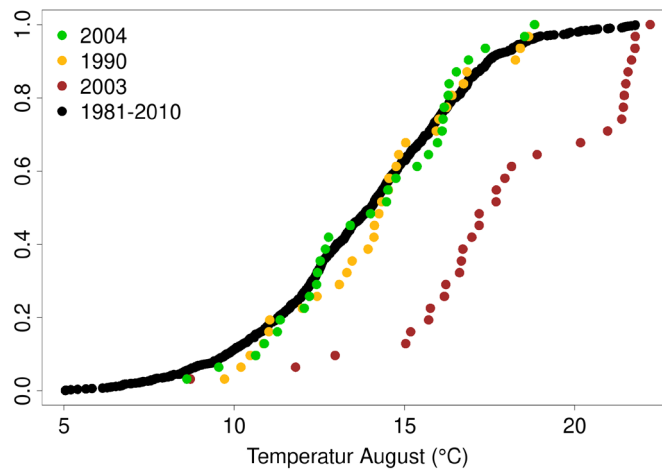


Abbildung 4: Auswahl eines Referenzmonates für den Kalendermonat August aus der Beobachtungsreihe 1981-2010.

Bei der DRY-Analog Methode wurde die Rangierung gemäss der Temperatur doppelt gewichtet. Dies, weil es schwierig ist, gute Analoge für die Temperatur zu finden und der Fehler gegenüber den anderen Methoden deutlich grösser ist. Da die projizierten Änderungen bei der Strahlung und der relativen Luftfeuchtigkeit ohnehin geringer sind als bei der Temperatur, ist der Unterschied zwischen der künftigen Klimatologie und den beobachteten Monaten im Allgemeinen geringer, so dass für alle Variablen repräsentative Monate gefunden werden, auch wenn der Temperatur mehr Gewicht beigegeben wird.

4.4.2 Mittelwert und Standardabweichung

Bei der TRY-Analog Methode werden die repräsentativen Segmente anhand des Mittelwerts und der Standardabweichung gewählt. Die Zeitfenster, das heisst die Länge der Segmente, sind bei der TRY-Analog Methode flexibel, von 10 bis 30 Tagen Länge. Die zu repräsentierende Referenz ist die tägliche, geglättete Klimatologie (Mittelwert) und Standardabweichung der Temperatur über alle Modellketten für jeden Referenzzeitraum und jedes RCP gerechnet. Als repräsentativstes Segment wird dasjenige ausgewählt, dessen Temperatur und Standardabweichung der zu treffenden Klimatologie am nächsten kommt. Auch wenn die Zeitfenster bei der TRY-Analog Methode flexibel sind, wird die Qualität der Segmente auf monatlicher Basis bewertet. Dabei wird der Fehler des Mittelwerts mit 70% und der Fehler der Standardabweichung der Temperatur mit 30% gewichtet. In Frage kommende Segmente müssen sowohl Kriterien bezüglich des maximalen Fehlers des Mittelwerts und der Standardabweichung erfüllen als auch bezüglich des Temperaturunterschiedes zum vorangehenden Segment. Stehen nicht genügend Segmente zur Verfügung, welche die Kriterien erfüllen, werden die Schwellenwerte gelockert. Dies führt zu einer Verschlechterung der Qualität des resultierenden Referenzjahres, ausgedrückt durch einen Qualitätsflag. Letztlich wird das TRY aus den ausgewählten Segmenten zusammengesetzt und die Übergänge werden geglättet.

4 Methoden

4.4.3 Klimaindikatoren

Eines der Ziele des Projektes «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» ist es, insbesondere zukünftige Hitzeperioden gut wiederzugeben. Aus diesem Grund wurden bei der DRY-Delta-Change Methode weitere Auswahlkriterien basierend auf Klimaindikatoren eingeführt, zusätzlich zu den drei Hauptvariablen. Die verwendeten Klimaindikatoren basieren auf der Tagesmaximal- (T_{max}) und der Tagesminimaltemperatur (T_{min}). Es wird hier vorweggenommen, dass sich die DRY-Delta-Change Methode als die zuverlässigste Methode gezeigt hat (Kapitel 4.6). Aus diesem Grund wurden detaillierte Analysen bezüglich weiterer Auswahlkriterien nur für diese Methode durchgeführt. Dabei wurden Kriterien aus den folgenden Klimaindikatoren erstellt:

- Dauer von Hitzeperioden (Dauer der aufeinanderfolgenden Tage mit $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)
- Anzahl Hitzeperioden (Anzahl der Ereignisse mit aufeinanderfolgenden Tagen mit $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)
- Anzahl Hitzetage (Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)
- Anzahl Tropennächte (Anzahl Tage mit $T_{min} \geq 20^{\circ}\text{C}$)

Um Klimaindikatoren in den skalierten Beobachtungen zu berechnen und mit den Szenarien zu vergleichen, werden zusätzlich zur (mittleren) stündlichen Temperatur auch die Tagesminima und Tagesmaxima der Temperatur in die Zukunft skaliert. Dazu wird mit demselben Vorgehen (siehe Kapitel 4.3.1) ein Delta für T_{max} und T_{min} bestimmt und zu den beobachteten Werten addiert. Da T_{max} und T_{min} als tägliche Werte definiert sind, wird ein tägliches Delta verwendet. Aus den skalierten Beobachtungen für T_{max} und T_{min} werden die oben beschriebenen Indikatoren berechnet. Die in den Klimaszenarien erwarteten zukünftigen Werte dieser Indikatoren wurden pro Zukunftszeitraum und Emissionsszenario bestimmt. Dabei wird für jede Modellkette der mittlere (resp. «1 in 10» für das warme Sommerhalbjahr) Wert über den 30-jährigen Zeitraum bestimmt und der Median der Modellketten als zu repräsentierender Zielwert gewählt. Die Monate aus den skalierten Beobachtungen werden dann rangiert entsprechend dem, wie nahe sie diesem Referenzwert liegen. Die Rangierung gemäss den Indikatoren wird gleich gewichtet wie für die Hauptvariablen. Bei der Kombination von zwei Indikatoren wird jeder Indikator zu 50% gewichtet.

In **Abbildung 5** sind die erwarteten Werte gemäss den CH2018 Klimaszenarien für die Anzahl Hitzetage und für ausgewählte Stationen gezeigt. Die erwarteten Werte für weitere Klimaindikatoren sind gezeigt in **Abbildung A1**.

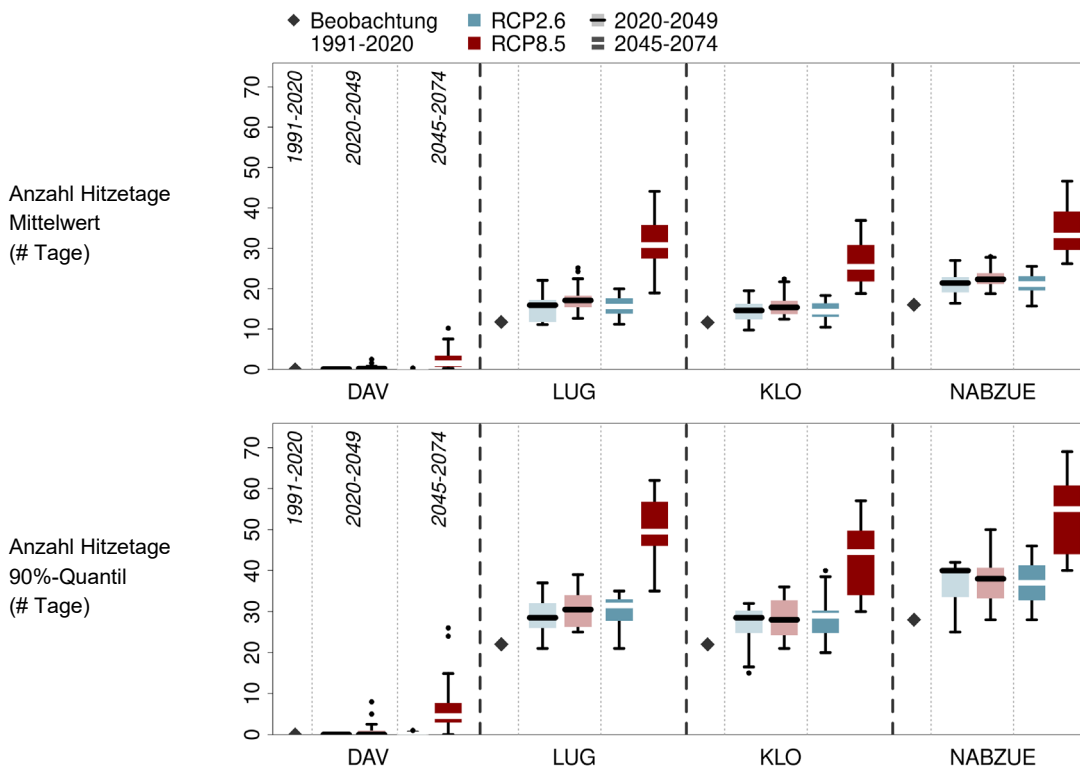


Abbildung 5: Anzahl Hitzetage aus den Beobachtungen und für die Zukunft gemäss den CH2018 Klimaszenarien. Gezeigt ist der Mittelwert (oben) und das 90%-Quantil für vier Stationen. Der Boxplot zeigt den Median der Werte der einzelnen Modellsimulationen (dicke Linien, schwarz für den Zeitraum 2020-2049 und weiss für den Zeitraum 2045-2074), den IQR (farbige Rechtecke, blaue Schattierungen für RCP2.6 und rote Schattierungen für RCP8.5) und die minimalen und maximalen Werte bis zur 1.5-fachen Länge der Box (Q1 - 1.5 IQR, respektive Q3 + 1.5 IQR; dünne schwarze vertikale und horizontale Linien). Ausreisser sind durch Punkte gekennzeichnet.

4.5 Evaluation der generierten Referenzjahre

Die generierten Referenzjahre (und später auch die warmen Sommerhalbjahre) wurden mit den Klimaszenarien CH2018 verglichen und evaluiert. Da die CH2018 Daten aus täglichen Daten bestehen, die Referenzjahre jedoch aus stündlichen, wurde diese Evaluation einerseits anhand monatlicher Mittelwerte der drei Hauptvariablen Temperatur, relative Feuchte und Globalstrahlung sowie anhand sogenannter Klimaindikatoren (siehe oben) vorgenommen. Erstere Analyse anhand der drei Hauptvariablen erlaubt, die mittleren monatlichen Werte jeder Variablen in den Referenzjahren zu überprüfen und so sicherzustellen, dass keine systematischen Abweichungen der Referenzjahre zu der zukünftigen Klimatologie, wie sie in den CH2018 Klimaszenarien abgebildet wird, vorhanden sind. Wie in Kapitel 4.6 ersichtlich, dient diese Analyse in erster Linie dazu, die Methode zur Generierung stündlicher Daten für die Zukunft zu bestimmen. Die Analyse anhand spezifischer, für den Gebäudesektor relevanter Klimaindikatoren dient der Bewertung der Repräsentativität der generierten Referenzjahre bezüglich der extremeren Wetterbedingungen, welche in einem Jahr auftreten können. Dies dient hauptsächlich dazu, die Kriterien für die Auswahl des typischen Referenzjahres resp. des warmen Sommerhalbjahres anhand der gewählten Auswahl-Statistik zu optimieren (Kapitel 5.2, 5.2.3, 6.2 und 6.2.3). Die folgenden Klimaindikatoren wurden hier verwendet:

4 Methoden

- a) Dauer von Hitzeperioden (Dauer der aufeinanderfolgenden Tage mit $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)
- b) Dauer der längsten Hitzeperiode (Längste Dauer aufeinanderfolgender Tage mit $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)
- c) Anzahl Hitzeperioden (Anzahl der Ereignisse mit aufeinanderfolgenden Tagen mit $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)
- d) Anzahl Hitzetage (Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)
- e) Sommertage (Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 25^{\circ}\text{C}$)
- f) Tropische Nächte (Anzahl Tage mit $T_{min} \geq 20^{\circ}\text{C}$)
- g) Frosttage (Anzahl Tage mit $T_{min} \leq 0^{\circ}\text{C}$)

Die drei Hauptvariablen sowie die oben genannten Indikatoren der Referenzjahre wurden mit den lokalen Klimaszenarien verglichen. Es sei hier zu beachten, dass die drei Hauptvariablen auf monatlicher Basis verglichen wurden, die Indikatoren auf jährlicher Basis. Dazu wurde jede der Hauptvariablen und jeder Indikator a) - g) für das Referenzjahr (d.h. sowohl für das DRY als auch für den «1 in 10» warmen Sommer) berechnet, folgend generell mit x bezeichnet. Zudem wurde für jede Modellkette der CH2018-Projektionen die Klimatologie der Hauptvariablen und der Indikatoren bestimmt. Das heisst, dass für jede Modellkette das Mittel (für das DRY) bzw. das 90%-Quantil (für den «1 in 10» warmen Sommer) über 30 Jahre berechnet wurde. Pro Zeitraum («2035» und «2060») ergibt sich daraus eine bestimmte Anzahl (abhängig von Emissionsszenario) klimatologischer Werte jeder Hauptvariablen / jedes Indikatoren. Daraus wurde das erste (Q_1) und dritte Quartil (Q_3) bestimmt. Der Fehler $r_{i,j}$ einer Hauptvariablen / eines Indikatoren ist wie folgt definiert:

$$r_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{falls } Q_1 \leq x_{i,j} \leq Q_3 \\ x_{i,j} - Q_3(i,j), & \text{falls } x_{i,j} > Q_3 \\ x_{i,j} - Q_1(i,j), & \text{falls } x_{i,j} < Q_1 \end{cases}$$

wobei $\text{IQR} = Q_3 - Q_1$ den Interquartilsabstand, i die betrachtete Station und, im Falle der drei Hauptvariablen, $j = 1, \dots, 12$ den Monat bezeichnet. Im Falle der drei Hauptvariablen wurde anschliessend an jeder Station i der Bias und der RMSE über die 12 Monate berechnet:

$$\text{Bias}_i = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} r_{i,j}$$

und

$$\text{RMSE}_i = \sqrt{\frac{1}{12} \sum_{j=1}^{12} r_{i,j}^2}$$

Zur Übersicht werden die Fehler $r_{i,j}$ resp. der Bias_i / RMSE_i als Boxplots über alle Stationen in einer Region gezeigt. Die Zuordnung der Umlandstationen in verschiedene Regionen kann **Tabelle A3** im Anhang A entnommen werden.

Für den Beobachtungszeitraum wurden die DRYs aus dem Merkblatt SIA 2028:2010 mit der Klimatologie der Beobachtungsdaten des Zeitraums 1984-2003 verglichen. Dazu wurde der Fehler $r_{obs,i,j}$ einer Hauptvariablen / eines Indikatoren für das untersuchte Referenzjahr als Abweichung vom Mittelwert des obigen Zeitraums definiert, also

$$r_{obs,i,j} = x_{i,j} - m_{i,j}$$

wobei $m_{i,j}$ für den Mittelwert der Beobachtungsdaten über den Zeitraum 1984-2003 steht.

4.6 Methodenwahl

Die Methoden zur Generierung von stündlichen Referenzdaten wurde nach oben genannten Kriterien und anhand der Hauptvariablen Temperatur, relative Feuchte und Globalstrahlung evaluiert. Hierzu wurden nur die typischen Referenzjahre für Umlandstationen verglichen. In **Abbildung 6** ist der Bias für Stationen im Mittelland gezeigt. Es ist zu beachten, dass dieser für die heutigen Referenzjahre aus dem Merkblatt SIA 2028:2010 anders bestimmt wurde, als für die Referenzjahre für die Zukunft. Für die Szenarien CH2018 kann aus der Modellunsicherheit eine Unsicherheit der erwarteten zukünftigen Klimatologie bestimmt werden. Diese wird bei der Berechnung des Fehlers berücksichtigt, indem Fehler erst dann aufgeführt werden, wenn der ermittelte Wert des Referenzjahres unterhalb des ersten oder oberhalb des dritten Quartils der Modelle liegt. Im beobachteten Zeitraum wird hingegen keine Unsicherheit der Klimatologie bestimmt. Dies führt tendenziell zu einem grösseren Bias (und RMSE) bei der Evaluation der historischen Referenzjahre aus dem Merkblatt SIA 2028:2010, da jede Abweichung vom Mittel mit einfließt, während bei den Referenzjahren für die Zukunft eine Spannweite an Werten als möglich und zulässig erachtet wird. Die Evaluation der historischen Referenzjahre wird im Folgenden als Mass für die Güte der Referenzjahre der Zukunft gezeigt. Dabei sollen Referenzjahre der Zukunft möglichst einen kleineren Bias (und RMSE) erhalten.

Über das Jahr und für alle Zeiträume und Emissionsszenarien betrachtet zeigt der Ansatz DRY-Delta-Change die kleinsten Abweichungen von der Klimatologie der CH2018 Szenarien für alle drei Hauptvariablen Temperatur, relative Feuchte und Strahlung. Der DRY-Analog Ansatz zeigt für alle Variablen grössere Abweichungen als DRY-Delta-Change, besonders für den Zeitraum «2060» und das höchste Emissionsszenario, RCP8.5. Dies deutet darauf hin, dass bei einer weiter fortgeschrittenen Klimaänderung weniger gute Referenzjahre aus den Beobachtungen gebildet werden können. Für den TRY-Analog Ansatz verhält es sich ähnlich, wobei hier der geringste Bias für die Temperatur auftritt, während der Bias für die relative Feuchte und die Strahlung tendenziell am grössten ist. Dies lässt sich dadurch erklären, dass der TRY-Analog Ansatz in der Auswahl nur die Temperatur berücksichtigt, was zu einer sehr guten Repräsentativität dieser Variablen führt, die anderen jedoch vernachlässigt.

Der RMSE in **Abbildung 7** bestätigt das Gefundene und zeigt, dass für DRY-Delta-Change auch die Fehler für die einzelnen Monate tendenziell am kleinsten sind. Die Resultate für andere Regionen sind vergleichbar. Aus diesen Gründen, und um eine bestmögliche Repräsentativität aller Hauptvariablen zu gewährleisten, wurde der DRY-Delta-Change für nachfolgende Analysen gewählt. In den folgenden Kapiteln wird das Vorgehen zur Auswahl von Referenzjahren an Umlandstationen (Kapitel 5) und an Stadtstationen (Kapitel 6) beschrieben. Es wird ausschliesslich der DRY-Delta-Change Ansatz zur Generierung zukünftiger Stundendaten verwendet. Zudem werden zusätzliche Kriterien, welche Klimaindikatoren beinhalten, zur Auswahl der Referenzjahre berücksichtigt.

4 Methoden

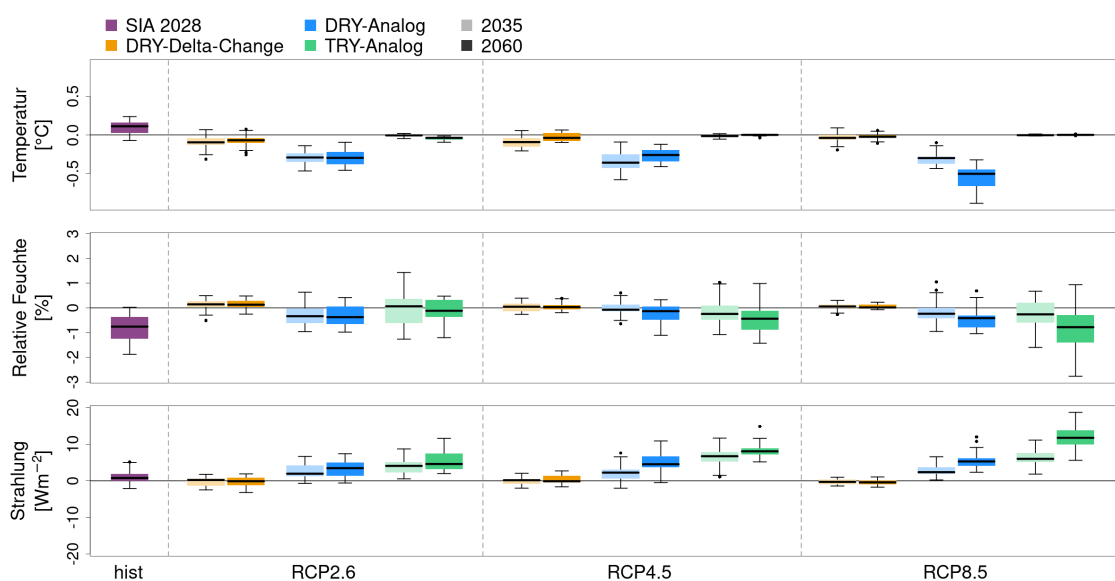


Abbildung 6: Bias für Stationen im Mittelland. Dargestellt ist der Bias für die DRY aus dem Merkblatt SIA 2028:2010 gegenüber der Klimatologie 1984-2003 («hist», violett) sowie der Bias für die Referenzjahre der Zukunft für drei Emissionsszenarien und die Zeiträume 2035 (hellere Farben, links) und 2060 (dunklere Farben, rechts). Der Boxplot zeigt den Median (dicke schwarze Linie) und IQR (farbige Boxen) für den Bias über die Stationen, sowie die minimalen und maximalen Werte bis zur 1.5-fachen Länge der Box (Q1 - 1.5 IQR, respektive Q3 + 1.5 IQR; dünne schwarze vertikale und horizontale Linien). Ausreisser sind durch Punkte gekennzeichnet.

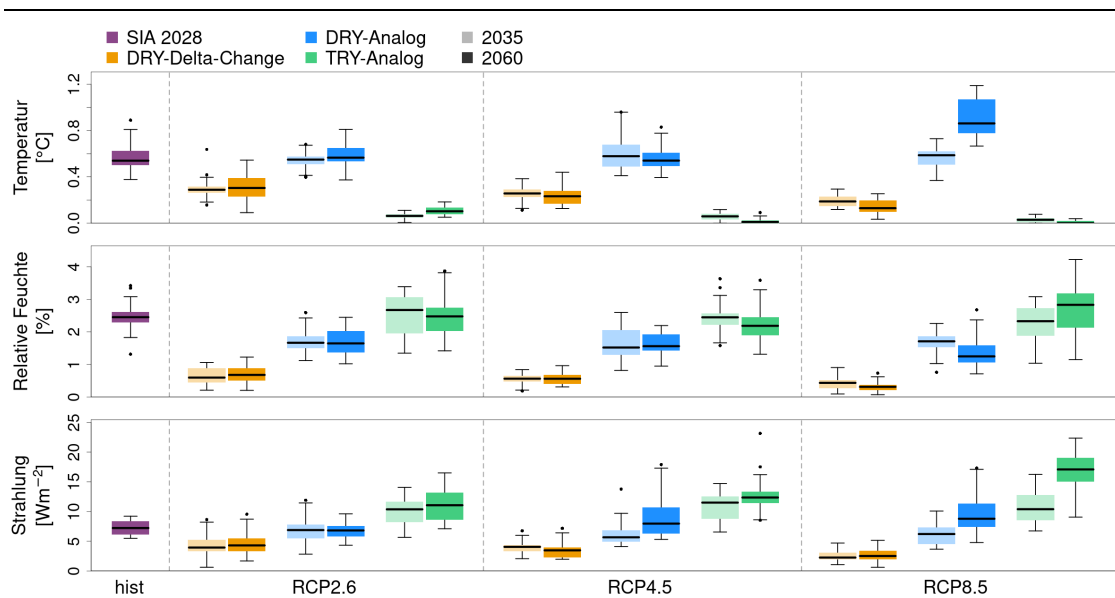


Abbildung 7: Gleich wie **Abbildung 6** aber für RMSE für Stationen im Mittelland.

5 Referenzjahre für das zukünftige Klima an Umlandstationen

5 Referenzjahre für das zukünftige Klima an Umlandstationen

5.1 Konzeptionelles Vorgehen

Auf Grundlage der oben gezeigten Methoden-Evaluierung (Kapitel 4.6) wurde die DRY-Delta-Change Methode als zu verwendendes Verfahren zur Erstellung zukünftiger Referenzjahre gewählt. Das Schema in **Abbildung 8** zeigt das konzeptionelle Vorgehen. Grundlage zur Erstellung der Referenzjahre bilden Beobachtungsdaten und die lokalisierten, fehlerkorrigierten Datensätze aus den Klimaszenarien CH2018 an unterschiedlichen Stationen. Wie in **Abbildung 8** gezeigt und in Kapitel 4.3.1 beschrieben, werden die stündlichen Beobachtungsdaten mit einem Delta in die Zukunft skaliert. Dabei wird das Delta basierend auf den täglichen Klimamodelldaten als das Klimaänderungssignal zwischen dem Zeitraum 1981-2010 und den zukünftigen Zeiträumen bestimmt.

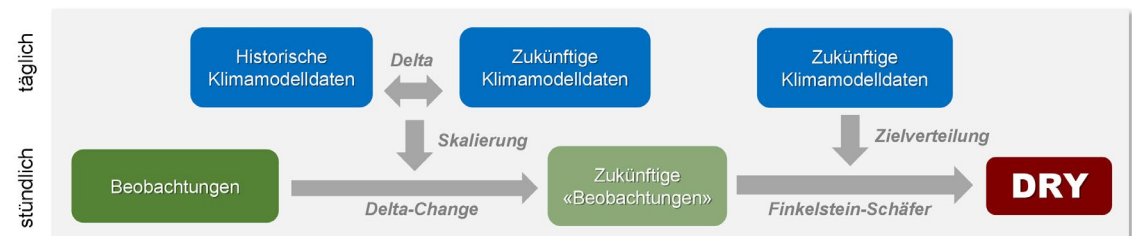


Abbildung 8: Konzeptionelles Vorgehen zur Generierung von Referenzjahren für das zukünftige Klima an Umlandstationen.

Die zu repräsentierende Zielverteilung wird aus den zukünftigen Klimamodelldaten hergeleitet. Wie in Kapitel 4.3.1 beschrieben, wird dazu zuerst mit der Finkelstein-Schafer Statistik der typische Monat je Modellkette und Kalendermonat aus der zukünftigen 30-jährigen Zeitreihe bestimmt. Die typischen Monate jeder einzelnen Modellkette bilden dann die Zielverteilung (z.B. 8 Monate für RCP2.6, da für RCP2.6 insgesamt 8 Modellketten verfügbar sind).

Die Auswahl des DRY aus den skalierten Beobachtungen erfolgt basierend auf SN EN ISO 15927-4:2005 (bzw. Merkblatt SIA 2028:2010) unter Anwendung der Finkelstein-Schafer Statistik. Die Statistik wählt einzelne Monate aus den skalierten Beobachtungen so, dass die zukünftigen langjährigen Bedingungen der Lufttemperatur, relativen Luftfeuchte und Globalstrahlung, welche durch die Zielverteilung vorgegeben werden, am besten repräsentiert sind. Dazu wird die Statistik einzeln auf

diese drei Hauptvariablen angewendet. Zusätzlich zu den drei Hauptvariablen aus SN EN ISO 15927-4:2005 wurden weitere Auswahlkriterien untersucht, welche auf Klimaindikatoren beruhen (siehe Kapitel 5.2.1). Für diese Indikatoren wurde der klimatologische Mittelwert für jede einzelne Modellkette ermittelt und daraus der Median als Zielwert gesetzt. Repräsentative Monate wurden einzeln für die Hauptvariablen und die zusätzlichen Kriterien rangiert. Die tiefsten Rangsummen der Rangierung gemäss der vier Auswahlkriterien (Temperatur, relative Luftfeuchte, Globalstrahlung und zusätzliche Kriterien aus Klimaindikatoren) bestimmen die gewählten Monate. Ähnlich wie bereits für das Merkblatt SIA 2028:2010 wurden dabei zwei methodische Abweichungen von der Norm SN EN ISO 15927-4:2005 vorgenommen:

- Die Windgeschwindigkeit wurde nicht als Auswahlkriterium für die Bestimmung der DRY-Monate verwendet.
- Um zu verhindern, dass gewählte Monate mittlere Werte für die Temperatur gut repräsentieren, aber bei den Extremen grössere Fehler aufweisen, wurden monatliche Minima und Maxima für die (Tagesmittel-) Temperatur separat verglichen. Zuerst wurden mittels der Rangsumme die fünf repräsentativsten Monate bezüglich der vier Kriterien bestimmt. Für jeden Monat wurde die Differenz der wärmsten (Tagesmittel-) Temperatur zum Maximum in den Modellketten bestimmt. Für die kälteste Temperatur jedes Monats wird analog die Differenz zum Minimum in den Modellketten bestimmt. Von den fünf repräsentativsten Monaten wird dann derjenige ausgewählt, für den die grössere der beiden Differenzen, verglichen mit den anderen Monaten, am kleinsten ist.

Das beschriebene Vorgehen erstellt einen einjährigen Datensatz in stündlicher Auflösung.

Treten für die Hauptvariablen Temperatur, relative Feuchte oder Globalstrahlung längere Lücken der Messreihe auf, wird dieser Monat (respektive die daraus skalierten Monate in der Zukunft) als letzter rangiert und nicht ins DRY gewählt. Dies ist der Fall, falls für einen Tag kein Tagesmittelwert bestimmt werden kann (Lücke grösser als 24h in den stündlichen Daten). Nach der Rangierung der Monate wird überprüft, ob der vorläufig «beste» Monat grössere Lücken in den Winddaten aufweist. Falls Lücken von 23h oder länger auftauchen, wird der Monat verworfen und der nächstbeste gewählt. Bei kürzeren Lücken werden die fehlenden Stundenwerte durch lineare Interpolation hergeleitet. Üblicherweise werden in der Datenbank der MeteoSchweiz Lücken in der Windmessung nur bis 6h interpoliert. Hier wurde ein weniger striktes Kriterium verwendet, um gute Referenzjahre nicht aufgrund des Windes auszuschliessen.

An den Monatsübergängen im DRY wurde eine Glättung über die letzten 8 Stunden des alten und die ersten 8 Stunden des neuen Monats vorgenommen. Eine Glättung wurde nur dann vorgenommen, wenn die beiden betroffenen Monate aus unterschiedlichen Jahren stammen. Diese Glättung wurde auf folgende Variablen angewandt: Lufttemperatur, relative Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Böenspitzen und Bewölkung. Für die Glättung wurden Dreiecksgewichte verwendet. Der 29. Februar wurde bei der Erstellung der DRY nicht berücksichtigt.

In den folgenden Kapiteln wird das Vorgehen für die einzelnen Variablen erklärt.

5 Referenzjahre für das zukünftige Klima an Umlandstationen

5.1.1 Temperatur

Basierend auf den Klimaszenarien wird ein Delta bestimmt, dieses wird zu den beobachteten stündlichen Werten addiert, um die skalierten Beobachtungen der Temperatur zu erhalten. Ins DRY übernommen werden diejenigen Monate aus den skalierten Beobachtungen, die gemäss den angewandten Kriterien ausgewählt werden. Ein gewählter Monat ist also eine Kombination aus einem historischen, beobachteten Monat und dem addierten Delta, das aus einer Modellkette stammt.

5.1.2 Relative Feuchte

Aus den Klimaszenarien wird ein Delta bestimmt, welches mit den beobachteten stündlichen Werten multipliziert wird, um die skalierten Beobachtungen der relativen Feuchte zu erhalten. Wie für die Temperatur werden Monate aus den skalierten Beobachtungen ins DRY übernommen.

5.1.3 Strahlung

Aus den Klimaszenarien wird ein Delta bestimmt, welches mit den beobachteten stündlichen Werten multipliziert wird, um die skalierten Beobachtungen der Strahlung zu erhalten. Dieses multiplikative Delta wird basierend auf der Globalstrahlung in den Klimaszenarien berechnet und auf die beobachtete Globalstrahlung und ebenso die diffuse Strahlung horizontal und Direktstrahlung normal angewandt. Damit wird angenommen, dass sich die Strahlungskomponenten im gleichen Verhältnis ändern wie die Globalstrahlung. Wie für die Temperatur werden Monate aus den skalierten Beobachtungen ins DRY übernommen.

5.1.4 Wind

Für die mittlere Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Böenspitzen wurde kein Klimaänderungssignal angenommen. Die Windvariablen werden somit aus den Messdaten entsprechend den gewählten Monaten übernommen.

5.1.5 Bewölkung

Für die Bewölkung wurde kein Klimaänderungssignal angenommen. Nach der Auswahl der Monate für das DRY (basierend auf den skalierten Beobachtungen) wird mit der Bewölkung aus den Messdaten ergänzt.

5.2 Design Reference Year (DRY)

Basierend auf dem Delta-Change Ansatz (**Abbildung 8**) werden verschiedene Varianten zur Auswahl des DRY verglichen. Ziel des Projektes «Klimaangepasstes Bauen – Grundlagen für die Zukunft» ist, insbesondere auch Änderungen in der Länge, Häufigkeit und Intensität zukünftiger Hitzeperioden möglichst gut zu repräsentieren.

5.2.1 Analyisierte Kriterien

Die monatlichen Verteilungen der Hauptvariablen Temperatur, relative Feuchte und Strahlung sind als Auswahlkriterien für das DRY gesetzt. In Kapitel 4.6 wurde gezeigt, dass die Hauptvariablen in der Delta-Change Methode gut repräsentiert sind. Im Folgenden werden zusätzliche Kriterien untersucht, die auf Klimaindikatoren basieren. Diese wurden so definiert, dass insbesondere Hitzewellen und Tropennächte besser repräsentiert werden:

- a) *HSlen*: Monatlich durchschnittliche Dauer von Hitzeperioden (ununterbrochene Perioden mit täglichen $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$)
- b) *HSlen-HSnum*: Monatlich durchschnittliche Dauer von Hitzeperioden (ununterbrochene Perioden mit täglichen $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) kombiniert mit der Anzahl Hitzeperioden pro Monat
- c) *HSlen-TropN*: Monatlich durchschnittliche Dauer von Hitzeperioden (ununterbrochene Perioden mit täglichen $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) kombiniert mit der Anzahl Tropennächte ($T_{min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) pro Monat
- d) *TropN*: Anzahl Tropennächte ($T_{min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) pro Monat

Die analysierten Klimaindikatoren basieren auf der Tagesmaximal- und Tagesminimaltemperatur. Skalierte Beobachtungen für Tagesminima und Tagesmaxima werden analog, wie für die stündliche, mittlere Temperatur erstellt, indem ein Delta basierend auf den Szenarien zu den Beobachtungen addiert wird. Allerdings wird nur ein tägliches Delta für T_{max} und T_{min} benötigt. Die erwarteten zukünftigen Werte werden aus den CH2018 Szenarien bestimmt, indem für jede Modellkette der mittlere Wert des Indikators / der Indikatoren berechnet und der Median dieser Werte als zu repräsentierender Zielwert bestimmt wird. Zukünftige DRY werden ausgewählt, indem die Monate gemäss der Hauptvariablen und Klimaindikatoren rangiert werden. Dabei wird bei aus zwei Klimaindikatoren kombinierten Kriterien (b und c) jeder Indikator jeweils mit 50% gewichtet. Aus der Rangierung gemäss Temperatur, relative Feuchte, Strahlung und einem der Kriterien von a) - d) werden dann die tiefsten Rangsummen bestimmt. Es soll hier noch erwähnt werden, dass T_{max} und T_{min} zwar zur Evaluation berücksichtigt werden, jedoch nicht die bereitgestellten Referenzjahre, respektive in die Klimadateien, eingehen. (siehe **Tabelle 2**).

5.2.2 Evaluation

In **Abbildung 9** wird der RMSE der verschiedenen Varianten für die Hauptvariablen für Stationen im Mittelland evaluiert. Die Klimatologie wird für alle Varianten ähnlich gut repräsentiert. Dies bedeutet, dass das Hinzufügen zusätzlicher Kriterien nicht zu einer Verschlechterung der Repräsentativität der Hauptvariablen führt. Zudem zeigt sich, dass besonders im späteren Zeitraum «2060» der RMSE bei höheren Emissionsszenarien kleiner ist. Dies ist wahrscheinlich den grösseren Unterschieden zwischen den Klimamodellen (Modellunsicherheit) im späteren Zeitraum zuzuschreiben. Die Evaluation des Bias und des RMSE zeigt auch in anderen Regionen sehr ähnliche Resultate der unterschiedlichen Methoden in Bezug auf die drei Hauptvariablen. Aus diesem Grund wird die Auswahl der finalen Kriterien basierend auf ausgewählten Klimaindikatoren getroffen.

Die Evaluation der Referenzjahre für das Mittelland bezüglich den Klimaindikatoren zeigt, dass Hitzeereignisse in den Referenzjahren häufig leicht unterschätzt werden. Bei anderen untersuchten Indikatoren, wie der Anzahl Frosttage und der Anzahl Sommertage treten zwar für einzelne Stationen

5 Referenzjahre für das zukünftige Klima an Umlandstationen

Abweichungen auf, im Mittel wird jedoch die erwartete zukünftige Häufigkeit gut getroffen (**Abbildung A2**). Dies trifft auch für andere untersuchte Regionen wie die Voralpen und die Westschweiz zu. Für die drei Stationen in der Südschweiz wird die Anzahl Frosttage eher etwas unterschätzt.

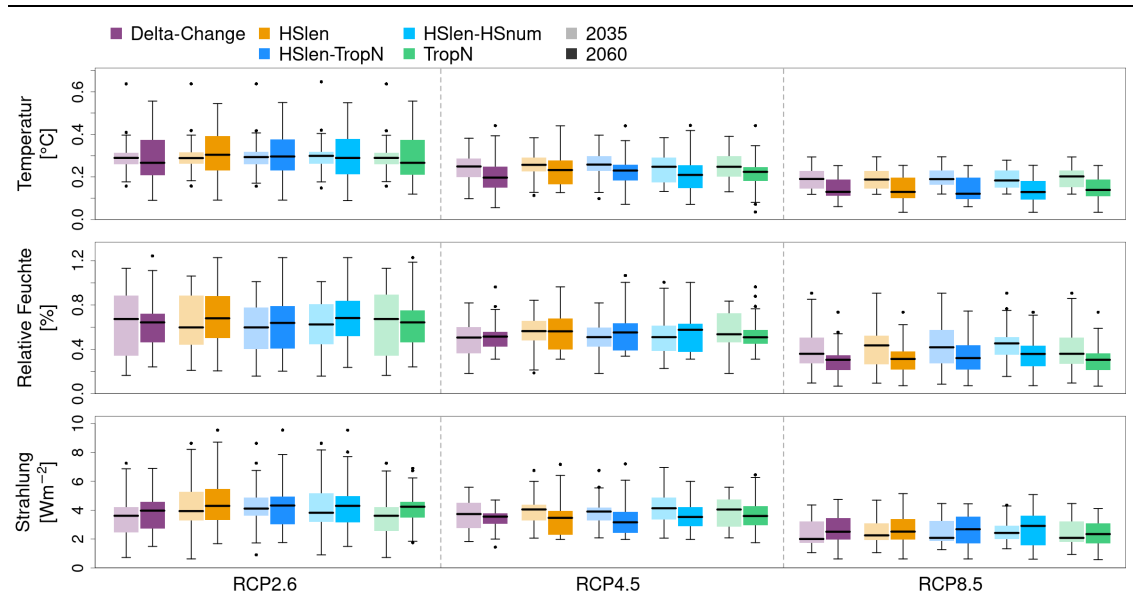


Abbildung 9: RMSE für Stationen im Mittelland. Dargestellt ist der RMSE für den DRY-Delta-Change Ansatz (Delta-Change) ohne zusätzliche Kriterien und die Varianten mit den Kriterien a) - d) für drei Emissionsszenarien und die Zeiträume 2035 (hellere Farben, links) und 2060 (dunklere Farben, rechts). Der Boxplot zeigt den Median (schwarze Linie) und IQR (farbige Boxen) für den RMSE über die Stationen, sowie die minimalen und maximalen Werte bis zur 1.5-fachen Länge der Box (Q1 - 1.5 IQR, respektive Q3 + 1.5 IQR). Ausreisser sind mit Punkten gekennzeichnet.

Abbildung 10 zeigt, dass die Variationen des Delta-Change Ansatzes mit zusätzlichen Kriterien meist zu einer leichten Reduzierung des Bias für Hitze-Indikatoren führen. So wird die durchschnittliche Dauer von Hitzeereignissen für das Emissionsszenario RCP8.5 bei der Variante a) HSlen um etwa einen halben Tag verbessert. Auch die Dauer des längsten Hitzeereignisses wird leicht verbessert. Bei der Anzahl Tropennächte und Anzahl Hitzetage kommt es bei keiner der Varianten zu einer deutlichen Verbesserung.

Der Vergleich für andere Regionen fällt ähnlich aus, für die Südschweiz ist der Bias für die Anzahl Tropennächte für die Varianten c) HSlen-TropN und d) TropN, welche beide die Anzahl Tropennächte als Kriterium berücksichtigen, am kleinsten (**Abbildung A3**). Die anderen Varianten führen zu einer Überschätzung der Anzahl Tropennächte. Dies betrifft jedoch nur die drei Stationen in der Südschweiz. Die durchschnittliche Dauer von Hitzeperioden, sowie auch die Dauer der längsten Hitzeperiode wird auch in der Südschweiz mit der Variante a) HSlen gut repräsentiert.

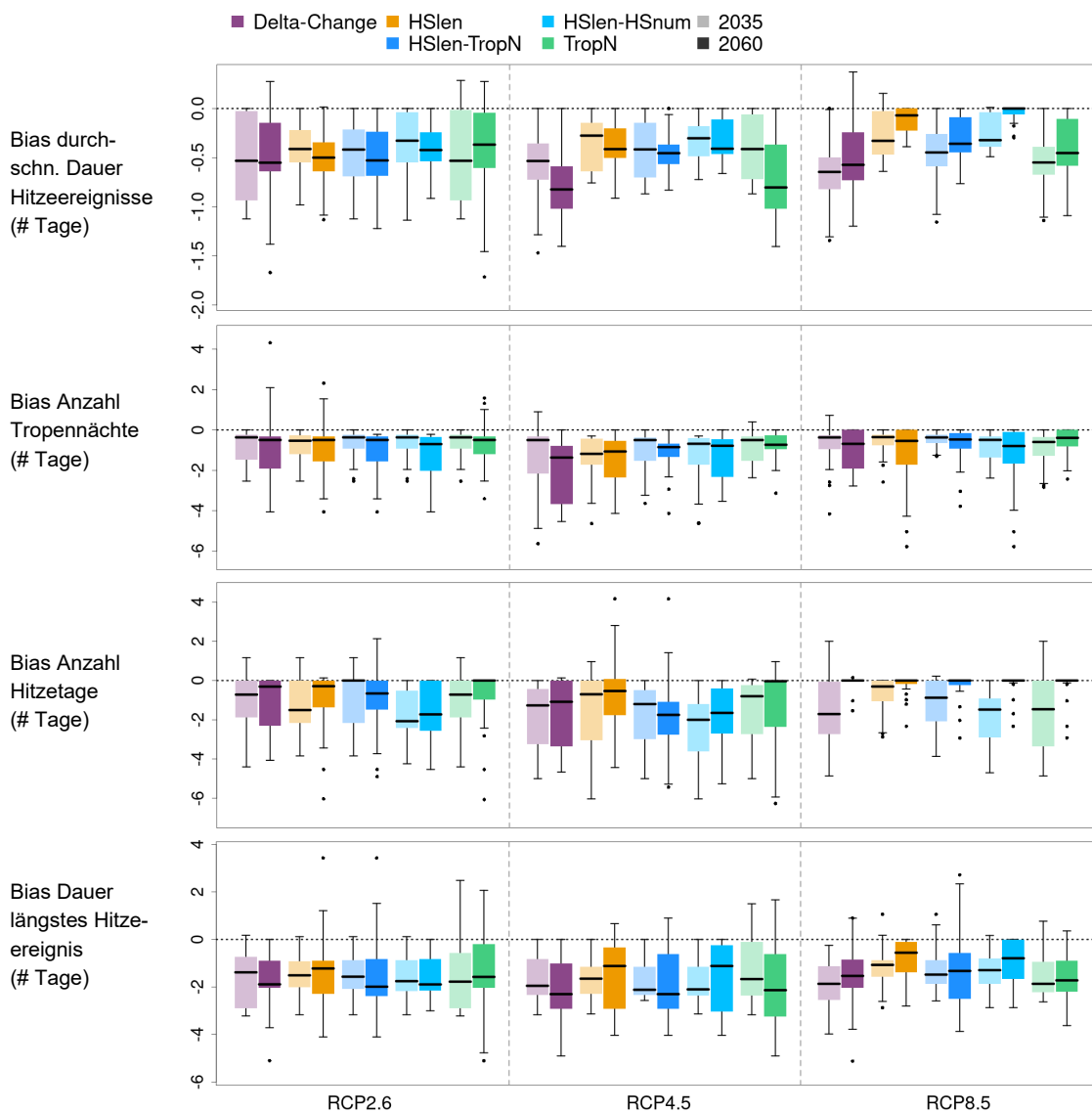


Abbildung 10: Bias für Klimaindikatoren für Stationen im Mittelland.

5.2.3 Finale Auswahlkriterien

Basierend auf der Evaluierung der Klimaindikatoren wurde entschieden, die Variante a) HSlen zu wählen, welche die monatliche, durchschnittliche Dauer von Hitzeperioden als Kriterium berücksichtigt. Dies weil die Repräsentation der Dauer von Hitzewellen als wichtiges Kriterium identifiziert wurde und die Methode für eine Mehrheit der Stationen eine Verbesserung bringt. Aus diesem Grund, und um die Methode möglichst einfach zu halten, wurde davon abgesehen, eine aus zwei Kriterien kombinierte Variante zu wählen.

5 Referenzjahre für das zukünftige Klima an Umlandstationen

5.3 «1 in 10» warmer Sommer

Abweichend vom DRY werden für die warmen Sommerhalbjahre nicht einzelne Monate, sondern Halbjahre ausgewählt. Durch die Wahl eines zusammenhängenden Sommerhalbjahres wird verhindert, dass längere Hitzeperioden, welche mehrere Monate überspannen, getrennt werden.

Die Auswahlkriterien beziehen sich nur auf die Tagesmitteltemperaturen der Sommermonate Juni bis August und auf verschiedenen Klimaindikatoren, welche in Kapitel 5.3.1 evaluiert werden. Die Globalstrahlung und relative Feuchte werden konsistent mitgezogen, beeinflussen die Auswahl jedoch nicht.

Die zu repräsentierenden Bedingungen bezüglich der Sommertemperatur werden in den Szenarien CH2018 als das Ereignis bestimmt, welches alle 10 Jahre (also dreimal im Zeitraum 30 Jahre) übertroffen wird. Dazu werden die Tagesmitteltemperaturen der Sommermonate für jede einzelne Modellkette mit Hilfe der Finkelstein-Schafer Statistik rangiert. Die skalierten Beobachtungen werden anschliessend wiederum mit Finkelstein-Schafer rangiert, entsprechend wie gut sie die Verteilung der «1 in 10»-Temperaturen aus allen Modellketten für das gewählte Szenario repräsentieren.

Bei Lücken in den Datenreihen wird gleich vorgegangen wie beim DRY. Es werden dieselben Variablen ohne Skalierung aus den Beobachtungen übernommen (Kapitel 5.1). Das Referenzjahr für den «1 in 10» warmen Sommer wird aus dem gewählten Jahr Sommerhalbjahr und dem DRY für das Winterhalbjahr zusammengesetzt. Dabei dauert das Sommerhalbjahr vom 16.4. – 15.10. An den zwei Übergängen wird wie beim DRY über 16 Stunden (Bsp. letzte 8 Stunden vom 15.4. bis erste 8 Stunden vom 16.4. für den Übergang von Winterhalbjahr zu Sommerhalbjahr) eine Glättung von Lufttemperatur, relativer Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Böenspitzen und Bewölkung mittels Dreiecksgewichten vorgenommen.

5.3.1 Analyisierte Kriterien

Ähnlich wie beim DRY (Kapitel 5.2) wurde auch für den «1 in 10» warmen Sommer verschiedene zusätzliche Kriterien geprüft, um sicherzustellen, dass Hitzeperioden gut repräsentiert werden. Diese Kriterien sind die folgenden:

- a) *HSlen*: Durchschnittliche Dauer von Hitzeperioden (ununterbrochene Perioden mit täglichen $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) über das Sommerhalbjahr
- b) *HSlen-HSnum*: Durchschnittliche Dauer von Hitzeperioden (ununterbrochene Perioden mit täglichen $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) über das Sommerhalbjahr kombiniert mit der Anzahl Hitzeperioden (ununterbrochene Perioden mit täglichen $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) über das Sommerhalbjahr
- c) *HSlen-TropN*: Durchschnittliche Dauer von Hitzeperioden (ununterbrochene Perioden mit täglichen $T_{max} \geq 30^{\circ}\text{C}$) über das Sommerhalbjahr kombiniert mit der Anzahl Tropennächte ($T_{min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) über das Sommerhalbjahr
- d) *TropN*: Anzahl Tropennächte ($T_{min} \geq 20^{\circ}\text{C}$) über das Sommerhalbjahr

Die erwarteten zukünftigen Werte werden aus CH2018 für jede Modellkette einzeln bestimmt als das Ereignis, welches einmal in 10 Jahren übertroffen wird. Anschliessend werden die skalierten Beobachtungen danach rangiert, wie nahe sie den über alle Modellketten gemittelten Werten kommen.

Die tiefste Rangsumme aus der Rangierung gemäss der Sommertemperatur und gemäss den Indikatoren bestimmt das auszuwählende Sommerhalbjahr. Bei aus zwei Klimaindikatoren kombinierten Kriterien (b und c) wird jeder Indikator jeweils mit 50% gewichtet.

5.3.2 Evaluation

Die Evaluation der zusätzlichen Kriterien ergab, dass die mittlere Sommertemperatur Juni bis August von allen Varianten ähnlich gut repräsentiert wird (**Abbildung 11**). In der Regel verbessern die Variationen des Delta-Change Ansatzes die Repräsentation von Klimaindikatoren im «1 in 10» warmen Sommer. Für Stationen im Mittelland wird der Bias der Dauer von Hitzeperioden besonders für die Varianten a) HSlen und c) HSlen-TropN deutlich verbessert (**Abbildung 12**). Das trifft auch für andere untersuchte Regionen wie die Südschweiz und die Westschweiz zu (**Abbildung A4**).

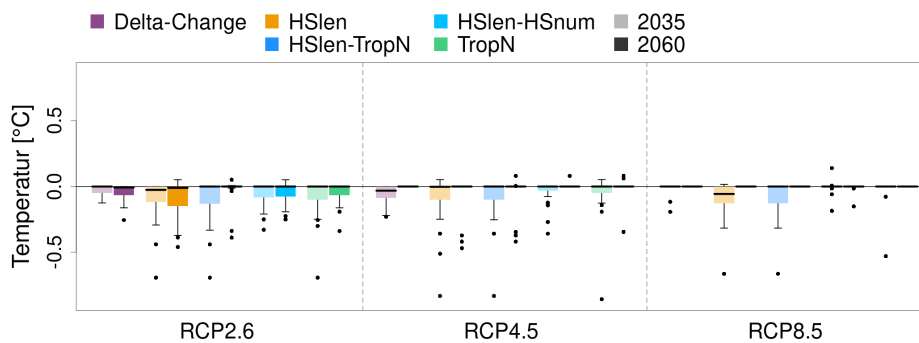


Abbildung 11: Bias der mittleren Sommertemperatur (JJA) für den «1 in 10» warmen Sommer für Stationen im Mittelland.

5.3.3 Finale Auswahlkriterien

Basierend auf der Evaluation in Kapitel 5.3.2 wurde entschieden, die Variante a) HSlen (analog zum DRY Verfahren) zu wählen, welche die durchschnittliche Dauer von Hitzeperioden über das Sommerhalbjahr als Kriterium berücksichtigt. Dies weil die Repräsentation der Dauer von Hitzewellen als wichtiges Kriterium identifiziert wurde und die Methode für eine Mehrheit der Stationen eine deutliche Verbesserung zeigt. Ausserdem kann so die Methode möglichst einfach und konsistent mit der Auswahl des DRY für Umlandstationen gehalten werden.

5 Referenzjahre für das zukünftige Klima an Umlandstationen

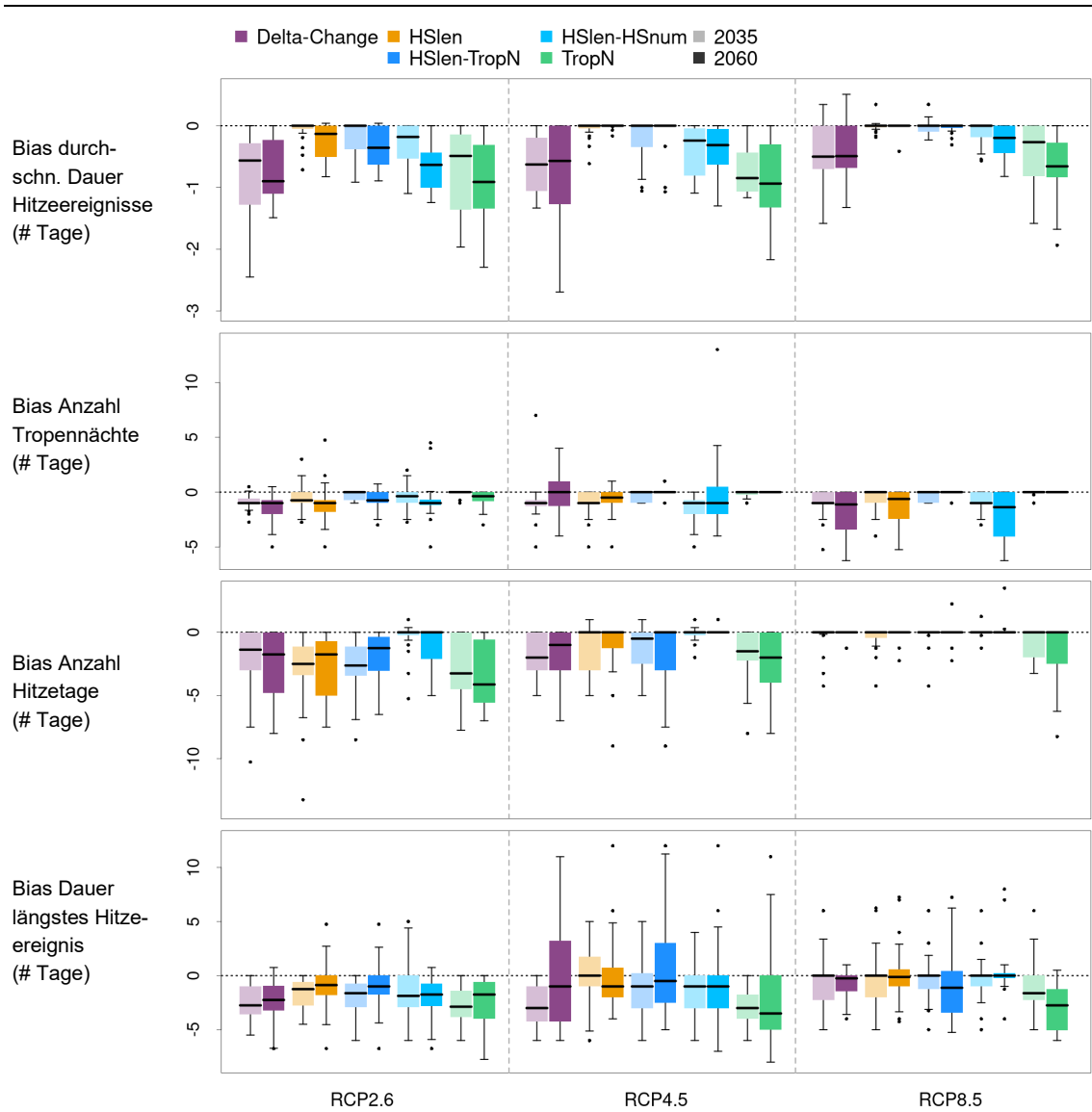


Abbildung 12: Bias für Klimaindikatoren für Stationen im Mittelland für den «1 in 10» warmen Sommer.

6 Referenzjahre für das zukünftige Klima an städtischen Stationen

6 Referenzjahre für das zukünftige Klima an städtischen Stationen

6.1 Konzeptionelles Vorgehen

Grundlage zur Erstellung der Referenzjahre für die Stadt bilden Beobachtungsdaten an Stadtstationen und die lokalisierten, fehlerkorrigierten Datensätze aus den Klimaszenarien CH2018 an Umlandstationen. Da an den Stationen in der Stadt keine Klimaszenarien verfügbar sind, werden Stationspaare aus jeweils einer städtischen und einer ländlichen Station gebildet. Für die vier betrachteten Städte Zürich, Basel, Bern und Lausanne werden folgende Stationspaare gebildet: SMA-NABZUE, BER-NABBER, BAS-BKLI, PUY-NABLAU. Ähnlich wie für die Referenzjahre an den Umlandstationen (Kapitel 5.1) werden die Beobachtungsdaten in den Städten mit einem Delta in die Zukunft skaliert. Die Beobachtungszeitreihen für Stadtstationen sind kürzer und decken einen aktuelleren Zeitraum als die Umlandstationen ab (siehe **Tabelle 1**). Das Delta wird aus den Klimaszenarien an der Umlandstation berechnet unter der Annahme, dass das Klimaänderungssignal des Umlandes auch für die Stadt gültig ist. Da die Stadtbeobachtungen kürzer sind als die Beobachtungen an Umlandstationen, wird ein anderer Zeitraum als die Referenzperiode 1981-2010 für die Berechnung des Delta gewählt. Dieser Zeitraum überdeckt 30 Jahre und deckt den verfügbaren Zeitraum der Stadtmessungen zentriert ab (siehe **Tabelle A2**). Es soll hier noch erwähnt werden, dass dieses Verfahren nur für die zwei Variablen stündliche (mittlere) Temperatur und relative Feuchte angewandt wurde, während die anderen Variablen von der Umlandstation übernommen wurden (siehe die Erläuterungen in den folgenden Unterkapiteln pro Variable).

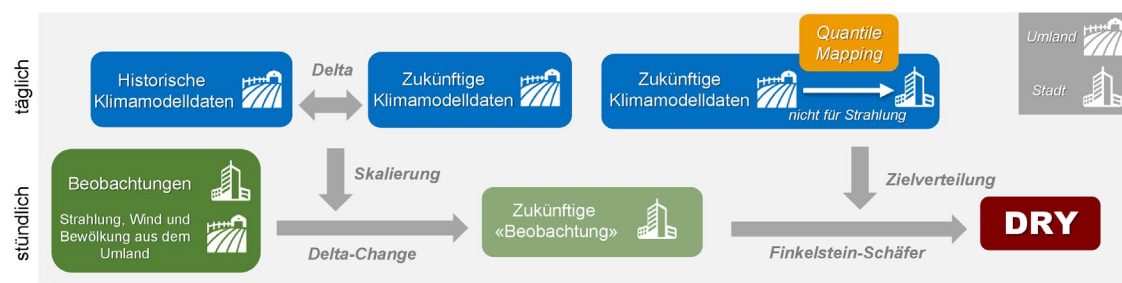


Abbildung 13: Konzeptionelles Vorgehen zur Generierung von Referenzjahren für das zukünftige Klima an Stadtstationen.

Die zu repräsentierende Zielverteilung wird aus den zukünftigen Klimamodelldaten hergeleitet. Dazu werden die Szenarien an der Umlandstation mit Hilfe des Quantile-Mapping Verfahrens in die Stadt transferiert (siehe Kapitel 3.2.2). Für die Kalibrierung des Quantile-Mapping werden die gesamte Beobachtungsreihe in der Stadt (siehe **Tabelle 1**) und dieselben Jahre aus der Zeitreihe für die Umlandstation verwendet. An dieser Stelle soll erwähnt werden, dass das Quantile-Mapping nicht auf die Globalstrahlung angewandt wurde, da für diese Variable die Messungen aus dem Umland genutzt werden (siehe Kapitel 6.1). Aus den resultierenden fehlerkorrigierten Klimaszenarien für die Stadt (Temperatur und relative Feuchte) wird die Zielverteilung analog wie für die Umlandstationen bestimmt (Kapitel 5.1). Die Auswahl des DRY unter Anwendung der Finkelstein-Schafer Statistik erfolgt ebenfalls analog zu den Umlandstationen. Zusätzlich zu den drei Hauptvariablen Temperatur, relative Feuchte und Globalstrahlung wird erneut untersucht, welche Klimaindikatoren als zusätzliche Auswahlkriterien verwendet werden sollen (siehe Kapitel 6.2.1).

Mit Lücken in den Messreihen wird gleich umgegangen wie für die Referenzjahre an den Umlandstationen. An den Monatsübergängen wird ebenfalls das gleiche Vorgehen zur Glättung angewendet. In den folgenden Kapiteln wird das Vorgehen für die einzelnen Variablen erklärt.

6.1.1 Temperatur

Basierend auf den Klimaszenarien für das Umland wird ein Delta bestimmt aus dem über die Stadtmessungen zentrierten Zeitraum und den zukünftigen Zeiträumen. Dieses Delta wird zu den beobachteten stündlichen Werten an der Stadtstation addiert, um die skalierten Beobachtungen der Temperatur zu erhalten. Um die Zielverteilung zu bestimmen, werden die Szenarien aus dem Umland in die Stadt transferiert. Dies geschieht anhand des gemeinsamen Beobachtungszeitraumes der Stationspaare. Ins DRY übernommen werden diejenigen Monate aus den skalierten Beobachtungen der Stadt, die gemäss den angewandten Kriterien ausgewählt werden. Ein gewählter Monat ist also eine Kombination aus einem historischen, beobachteten Monat an der Stadtstation und dem addierten Delta, das aus einer Modellkette (für die Umlandstation) stammt.

6.1.2 Relative Feuchte

Gleich wie für die Temperatur (Kapitel 6.1.1) wird aus den Klimaszenarien für die Umlandstation ein Delta bestimmt. Dieses Delta wird mit den beobachteten stündlichen Werten an der Stadtstation multipliziert, um die skalierten Beobachtungen der relativen Feuchte zu erhalten. Um die Zielverteilung zu bestimmen, werden die Szenarien aus dem Umland in die Stadt transferiert. Wie für die Temperatur werden Monate aus den skalierten Beobachtungen ins DRY übernommen.

6.1.3 Strahlung

Strahlung (Globalstrahlung, Direktstrahlung normal und diffuse Strahlung horizontal) wird aus dem Umland übernommen. Die Stadtmessung der Globalstrahlung ist durch lokale Bedingungen, wie zum Beispiel Abschattung oder Rückstrahlung durch Gebäude, beeinflusst und daher nicht repräsentativ. Die Zielverteilung wird ebenfalls direkt aus den Szenarien für die Umlandstation bestimmt. Deswegen ist das Vorgehen gleich wie bei der Strahlung für die Referenzjahre an Umlandstationen (Kapitel 5.1.3).

6 Referenzjahre für das zukünftige Klima an städtischen Stationen

6.1.4 Wind

Wind wird aus dem Umland übernommen, da die Messungen in der Stadt ähnlich wie bei der Strahlung durch lokale Bedingungen beeinflusst sind, wie zum Beispiel Kanalisierung zwischen Gebäuden oder Windschatten. Zudem wurde für die mittlere Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Böenspitzen auch kein Klimaänderungssignal angenommen. Die Windvariablen werden somit aus den Messdaten der Umlandstation übernommen entsprechend den gewählten Monaten.

6.1.5 Bewölkung

Da für die Bewölkung an den Stadtstationen keine Beobachtungen verfügbar sind, werden die Beobachtungen aus dem Umland übernommen. Für die Bewölkung wurde kein Klimaänderungssignal angenommen. Nach der Auswahl der Monate für das DRY wird mit der Bewölkung aus den Messdaten der Umlandstation ergänzt.

6.2 Design Reference Year (DRY)

Basierend auf dem Delta-Change Ansatz (**Abbildung 13**) werden verschiedene Varianten zur Auswahl des DRY für städtische Stationen verglichen. Zusätzlich zu Hitzeperioden werden in Städten ausserdem Tropennächte als relevant erachtet, da diese durch den Hitzeinseleffekt viel häufiger auftreten als im Umland (Gehrig et al., 2018; Burgstall, 2019).

6.2.1 Analyisierte Kriterien

Es werden dieselben Kriterien wie für das DRY für Umlandstationen evaluiert (Kapitel 5.2.1).

6.2.2 Evaluation

Die Evaluation der zusätzlichen Kriterien bezüglich der Hauptvariablen zeigt, dass alle Varianten die zukünftige Klimatologie ähnlich gut repräsentieren (**Abbildung 14**). Der RMSE für die Stadtstationen ist meist leicht grösser als für die Umlandstationen im Mittelland (vergleiche **Abbildung 9**). Dies kann einerseits an den kürzeren Messzeitreihen liegen und somit damit, dass weniger Jahre für die Auswahl der repräsentativen Monate zu Verfügung stehen. Andererseits kann es auch daran liegen, dass für die Stadt weniger Stationen untersucht werden konnten, wodurch Fehler stärker ins Gewicht fallen.

Der Bias für die durchschnittliche Dauer von Hitzeereignissen ist in der Regel kleiner, wenn Klimaindikatoren in der Auswahl berücksichtigt werden, besonders für das Emissionsszenario RCP8.5 und die Varianten a) HSlen und c) HSlen-TropN (**Abbildung 15**). Der Bias für die anderen untersuchten Klimaindikatoren ist für alle Varianten recht ähnlich.

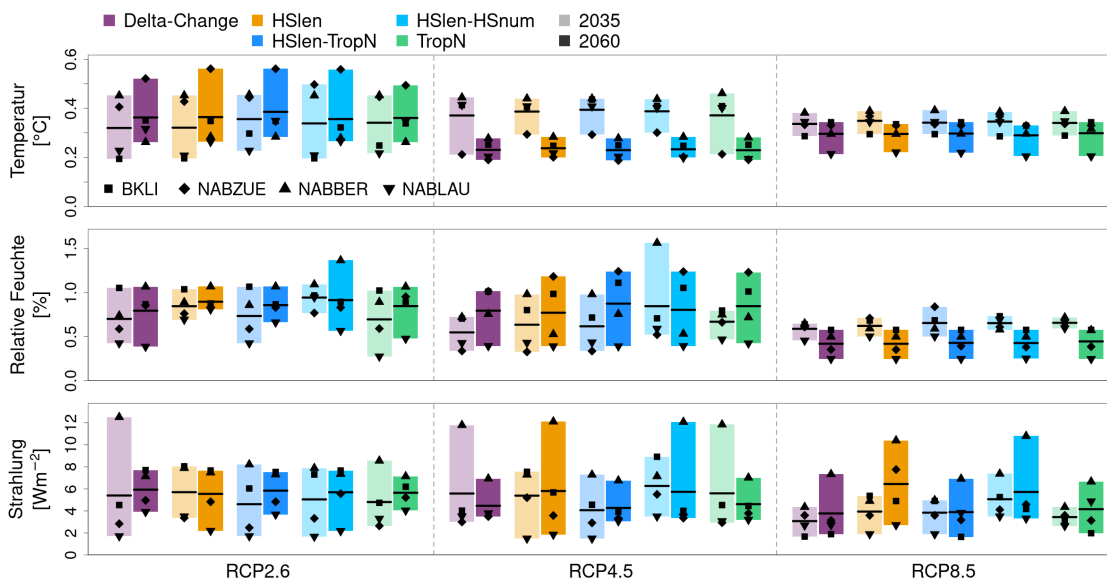


Abbildung 14: RMSE der DRY für Stadtstationen. Dargestellt ist der RMSE für den Delta-Change Ansatz ohne zusätzliche Kriterien (violett) und die Varianten mit den Kriterien a) - d) (orange, dunkelblau, hellblau, grün) für drei Emissionsszenarien und die Zeiträume «2035» (hellere Farben, links) und «2060» (dunklere Farben, rechts). Da nur vier Stadtstationen betrachtet werden, wurden die einzelnen Werte mit Symbolen markiert. Die farbigen Rechtecke zeigen den vollen Bereich der Werte für die Stationen. Die schwarze horizontale Linie markiert den Mittelwert.

6 Referenzjahre für das zukünftige Klima an städtischen Stationen

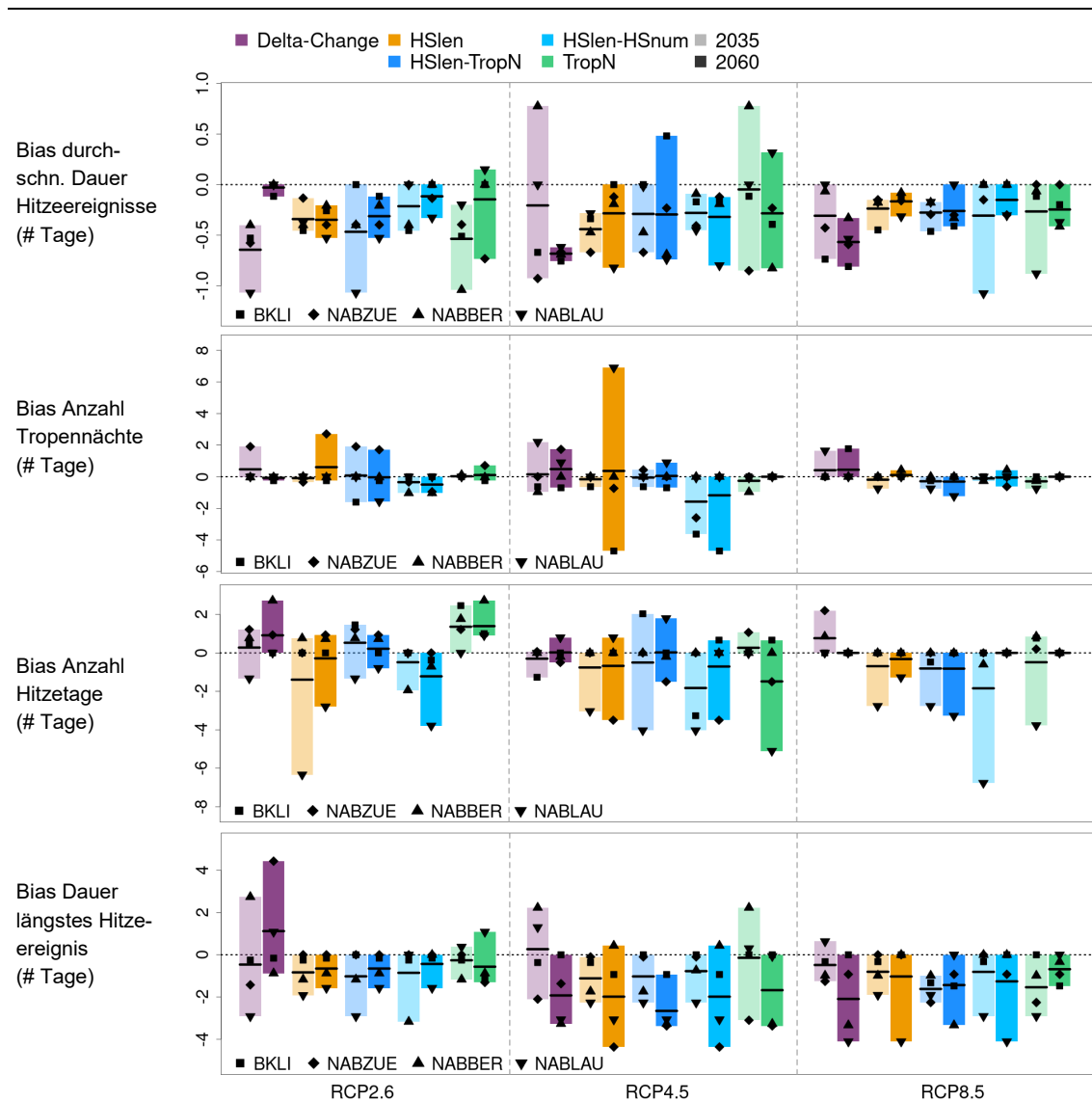


Abbildung 15: Bias der generierten DRY für Stadtstationen bezüglich vier verschiedener Klimaindikatoren, z.B. Dauer von Hitzeereignissen, Anzahl Tropennächte, Anzahl Hitzetage sowie der Dauer des längsten Hitzeereignisses.

6.2.3 Finale Auswahlkriterien

Die beiden Varianten a) HSlen und c) HSlen-TropN zeigen sich ähnlich wie für die Umlandstationen als Favoriten. Der Entscheid bez. der favorisierten Variante wurde zusammen für das DRY und den «1 in 10» warmen Sommer (Kapitel 6.3) getroffen. Für den «1 in 10» warmen Sommer ergab sich eine klare Präferenz für Methode c) HSlen-TropN. Aus Konsistenzgründen wurde dies auch für das DRY übernommen, wo die beiden Varianten a) und c) ähnliche Resultate liefern. Somit berücksichtigt die Auswahl des DRY an Stadtstationen als zusätzliche Kriterien die monatlich durchschnittliche Dauer von Hitzeperioden und die monatliche Anzahl von Tropennächten.

6.3 «1 in 10» warmer Sommer

Wie bereits bei den Referenzjahren für Umlandstationen wird auch für die Stadtstationen ein «1 in 10» warmer Sommer bestimmt. Für die Auswahl wird analog die Sommertemperatur (Juni-August) berücksichtigt sowie zusätzliche Kriterien, welche in den folgenden Kapiteln eingeführt und evaluiert werden. Das Vorgehen ist analog zu dem «1 in 10» warmen Sommer für die Umlandstationen (Kapitel 5.3).

6.3.1 Analyisierte Kriterien

Es werden dieselben Kriterien wie für den «1 in 10» warmen Sommer für Umlandstationen evaluiert (Kapitel 5.3.1).

6.3.2 Evaluation

Der Bias für die mittlere Sommertemperatur ist für a) HSlen und c) HSlen-TropN grösser als für die anderen Varianten, besonders für das Emissionsszenario RCP2.6 (**Abbildung 16**). Allerdings zeigen beide Methoden den kleinsten Bias für die durchschnittliche Dauer von Hitzeereignissen (**Abbildung 17**). Der Bias für die Anzahl Tropennächte ist am kleinsten bei denjenigen Varianten, welche den Indikator als Kriterium berücksichtigen, also c) HSlen-TropN und d) TropN. Bei den anderen untersuchten Indikatoren in **Abbildung 17** ist keine der Varianten deutlich besser als die anderen.

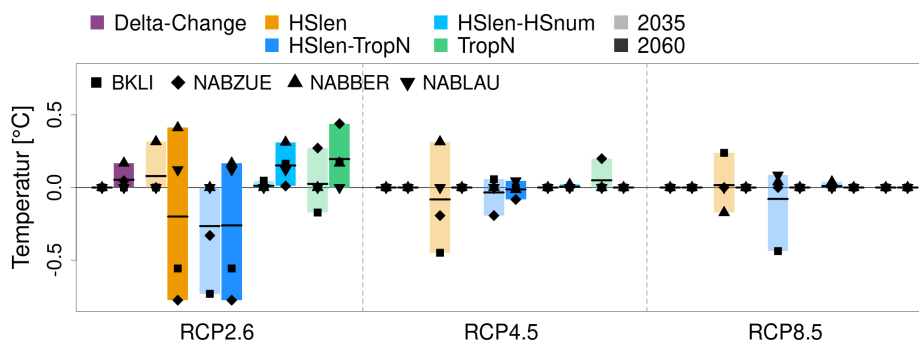


Abbildung 16: Bias der mittleren Sommertemperatur (JJA) für den «1 in 10» warmen Sommer für Stadtstationen.

6.3.3 Finale Auswahlkriterien

Um die Repräsentation der Dauer von Hitzeereignissen und der Anzahl Tropennächte zu optimieren, wurde wie oben bereits erwähnt für Stadtstationen Variante c) HSlen-TropN gewählt. Die Kriterien bezüglich der Indikatoren sind somit konsistent mit der Auswahl des DRY für Stadtstationen. Der «1 in 10» warme Sommer wird so gewählt, dass die Sommertemperatur (von Juni bis August), die Dauer von Hitzeereignissen und die Anzahl von Tropennächten im Schnitt möglichst 1-mal alle 10 Sommer erreicht oder übertroffen werden.

6 Referenzjahre für das zukünftige Klima an städtischen Stationen

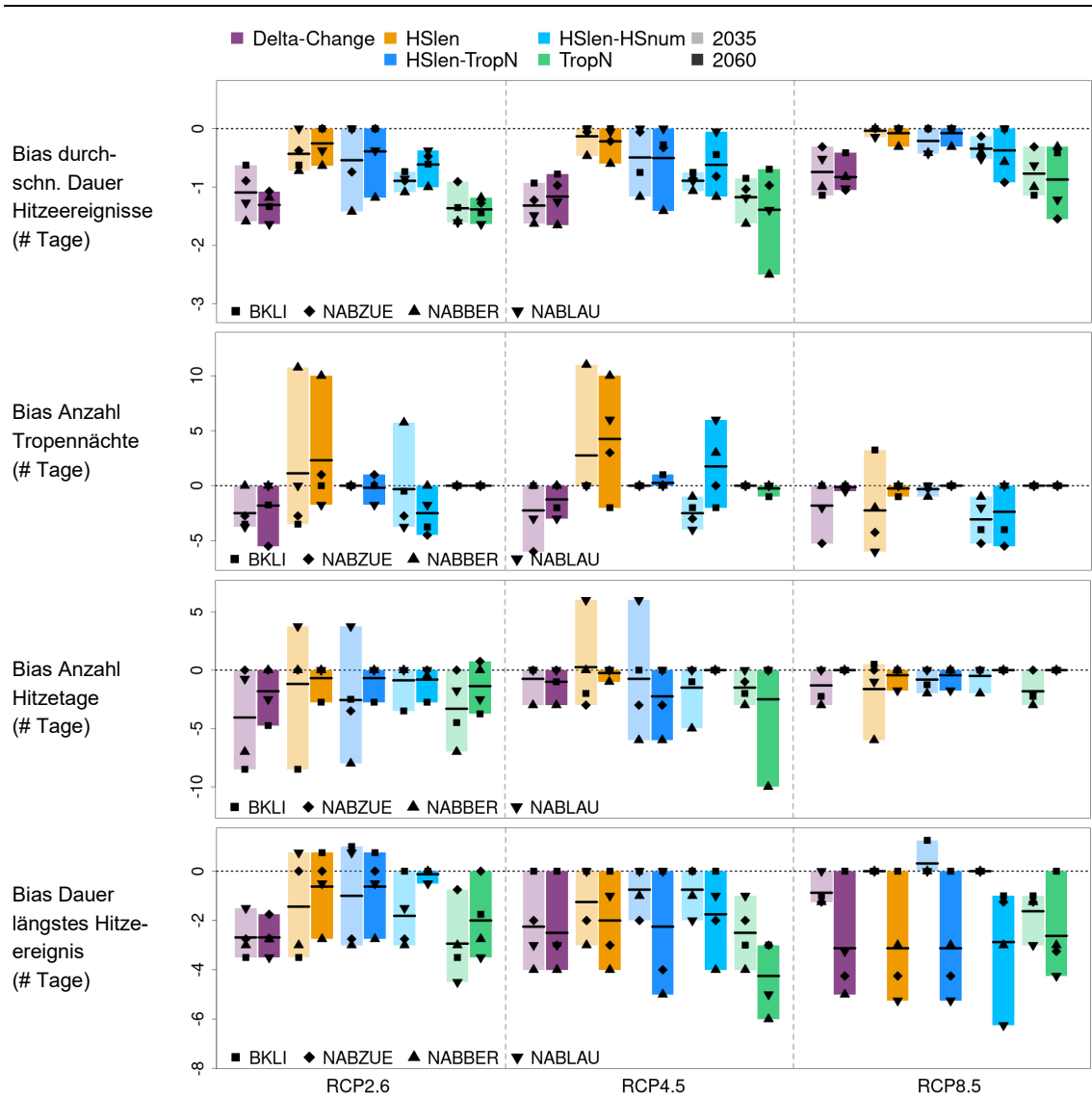


Abbildung 17: Bias für vier Klimaindikatoren für Stadtstationen für den «1 in 10» warmen Sommer.

7 Gebäudesimulationen

Um die Plausibilität der von MeteoSchweiz generierten Klimadaten zu überprüfen, wurden diese im Rahmen von thermischen Simulationen auf ein Wohngebäude aus der ClimaBau-Studie (Settembrini et al., 2017) sowie auf ein Schul- und ein Bürogebäude angewandt. Die Simulationen wurden mit der Software IDA Indoor Climate and Energy Version 4.8 SP2 (IDA-ICE) der Firma EQUA Solutions AG durchgeführt. IDA-ICE ist ein Programm zur detaillierten dynamischen Simulation von Gebäuden. Es berechnet den zeitlichen Verlauf von Energieflüssen und Komfortvariablen (Lufttemperatur, Strahlungstemperatur, Luftfeuchte, CO₂-Konzentration) in den durch die Anwendenden definierten Zonen. Dabei stehen die Zonen, die Personen, Geräte und Gegenstände beinhalten, über die an sie angrenzenden Bauteile und über den Luftaustausch im thermischen Kontakt zueinander sowie zu ihrer Umgebung. Somit berechnet IDA-ICE die dynamische Wechselwirkung zwischen Gebäude, Klima, Haustechnik und Benutzer. In einem den Simulationen nachfolgenden Post-Processing werden die variierenden Grössen, wie Energieverbrauchs- bzw. Komfortbewertungsgrössen, ausgewertet.

7.1 Grundlagen der analysierten Gebäude

In den folgenden Kapiteln sind die wichtigsten Informationen zu den jeweiligen Gebäuden und der Zoneneinteilung aufgeführt. Weitere Details zur Gebäudehülle, Wärmebrücken, Lüftung, Nutzungen und Systeme, sowie die Zeitpläne der internen Lasten sind in Anhang B aufgeführt. Die internen Lasten entsprechen den Vorgaben des Merkblatts SIA 2024:2015.

7.1.1 Wohngebäude

Für die Wohnnutzung wurde der «Neubau massiv», der bereits im Projekt ClimaBau als Referenzgebäude verwendet wurde, unverändert übernommen, damit die Vergleichbarkeit der Ergebnisse der beiden Studien sichergestellt ist. Das Gebäude wurde in ClimaBau im Rahmen einer Analyse von im letzten Jahrzehnt realisierten Bauten als typologisch repräsentativer Neubau für den Gebäudepark Schweiz ermittelt. Das Gebäude hat eine Energiebezugsfläche (EBF) von 1'512 m², die auf vier Geschosse mit drei 3½-Zimmer-Wohnungen pro Stockwerk aufgeteilt ist. Der Fensteranteil beträgt im Mittel 53 % der Fassadenfläche (NW 37.9 %, NO 58.7 %, SO 64.2 %, SW 53.9 %). Mit Ausnahme des Untergeschosses weisen alle Geschosse den gleichen Grundriss, gemäss **Abbildung 18**, auf.

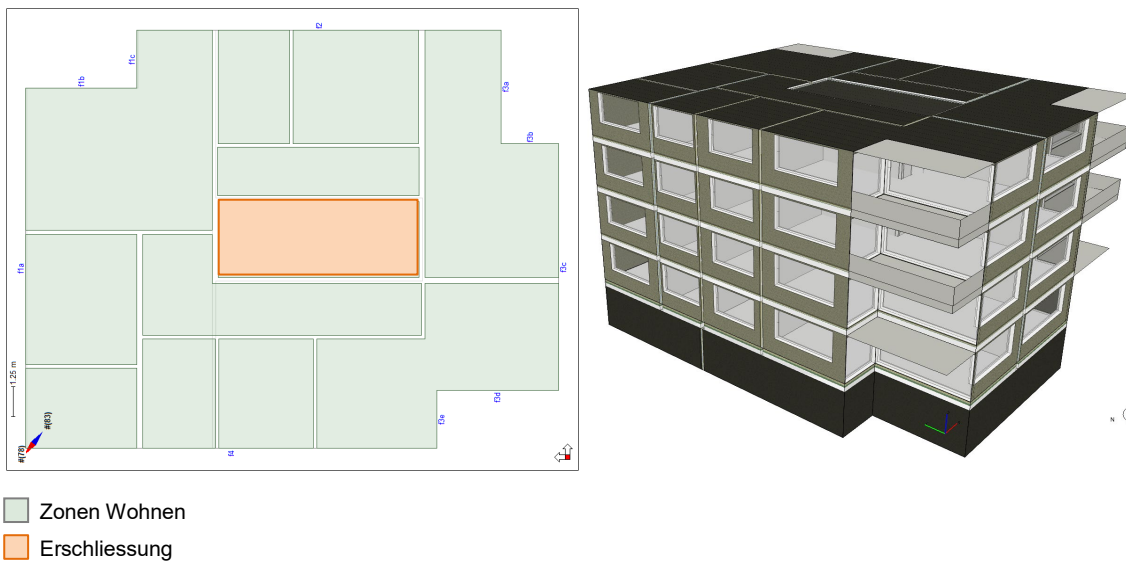


Abbildung 18: Grundriss mit Zoneneinteilung (links) und 3-D-Darstellung (rechts) des Wohngebäudes.

7.1.2 Bürogebäude

Da jedes reale Gebäude wegen den spezifischen Anforderungen der Bauherrschaften und des Standorts einen Einzelfall darstellt, wurde entschieden, beim Referenzgebäude für die Büronutzung auf ein generisches Modell zurückzugreifen. Dieses basiert auf dem Merkblatt SIA 2024:2021. Das simulierte Gebäude (**Abbildung 19**) weist eine Energiebezugsfläche (EBF) von 2'784 m² auf. Es hat drei Obergeschosse mit jeweils vier Grossraumbüros, fünf Einzelbüros und eine zentrale Erschliessung. Die lichte Raumhöhe beträgt – ebenfalls gemäss Merkblatt SIA 2024:2021 – 3 m. Mit Ausnahme des Untergeschosses weisen alle Geschosse den gleichen Grundriss auf. Das Untergeschoss wird als eine unbeheizte Zone ohne interne Lasten berücksichtigt. Der Glasanteil beträgt ca. 45 % der Fassadenfläche. Die Konstruktionen entsprechen den Grenzwerten der Tabelle 3 SIA 380/2:2021.

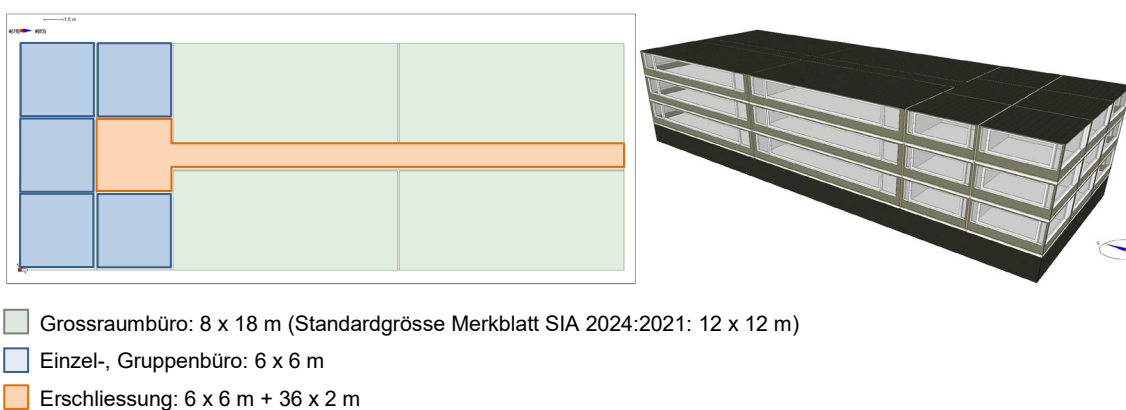


Abbildung 19: Grundriss mit Zoneneinteilung (links) und 3-D-Darstellung (rechts) des Bürogebäudes.

7 Gebäudesimulationen

7.1.3 Schulgebäude

Aus den gleichen Gründen wie beim Bürogebäude wurde für die Simulation des Schulgebäudes ebenfalls ein generisches Gebäude, basierend auf dem Merkblatt SIA 2024:2021, erstellt. Das Referenzgebäude weist eine Energiebezugsfläche (EBF) von 2'345 m² auf und hat drei Obergeschosse mit je acht Schulzimmern sowie eine zentrale Erschliessungszone. Die lichte Raumhöhe beträgt – gemäss Merkblatt SIA 2024:2021 – 3 m. Mit Ausnahme des Untergeschosses weisen alle Geschosse den gleichen Grundriss, gemäss **Abbildung 20**, auf. Das Untergeschoss wird als eine unbeheizte Zone ohne interne Lasten berücksichtigt. Der Glasanteil beträgt ca. 45 % der Fassadenfläche.

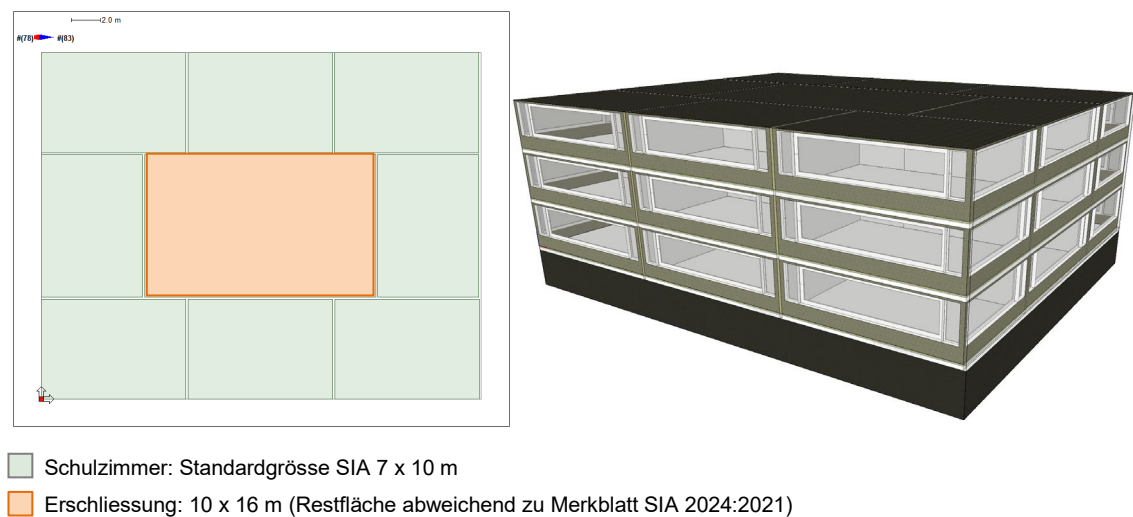


Abbildung 20: Grundriss mit Zoneneinteilung (links) und 3-D-Darstellung (rechts) des Schulgebäudes.

7.2 Methodik Auswertung der Simulationsdaten

Die Klimadateien wurden gemäss der Beschreibung in den vorangegangenen Kapiteln durch MeteoSchweiz mit den physikalischen Grössen Lufttemperatur, relative Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit, Solarstrahlung und Bewölkung über ein Jahr erstellt. Die Globalstrahlung musste für die Simulation in die Anteile der Diffus- und Direktstrahlung aufgeteilt werden. Die Umrechnung erfolgte, unter Verwendung des Programms Meteonorm Version 8.04, mit dem Strahlungsmodell nach Perez (Perez et al., 1991). Alle thermischen Gebäudesimulationen der Zukunft erfolgten mit diesen Klimadateien.

Es wurde der erforderliche Energie- und Leistungsbedarf für das Heizen und das Kühlen ermittelt, sowie die thermische Behaglichkeit analysiert. Dabei wurden die Ergebnisse unter Anwendung der neuen Klimadateien für das Klima im Zeitraum 2060 mit solchen verglichen, die sich mit den Klimadateien auf Grundlage des heute gültigen Merkblatts SIA 2028:2010 ergeben. Zur Berechnung und Auswertung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs, sowie der Heiz- und Kühlleistung, wurden die Simulationen mit idealen Heiz- und Kühlgeräten in jeder Zone über das ganze Jahr, d.h. in der Periode

vom 1.1. bis 31.12., durchgeführt. Zur Auswertung des maximalen Heizleistungs- und Kühlleistungsbedarfs wurde das Maximum des Stundenmittelwerts der Gesamtleistung während der simulierten Periode verwendet.

Die Berechnungen der Überhitzungsstunden sowie der maximalen Raumtemperaturen wurden während der Betrachtungsperiode vom 16.4. bis 15.10. ohne Kühlung der Zonen durchgeführt. Das Kriterium für die Beurteilung der Behaglichkeit ist gemäss einschlägigen Normen, insbesondere SIA 180:2014 die «operative Temperatur», auch als «empfundene Temperatur» bezeichnet, die als Mittelwert zwischen Luft- und mittlerer Strahlungstemperatur definiert ist. Die Überhitzungsstunden ergeben sich aus der Anzahl Stunden, während denen die operative Temperatur die definierten Grenzen überschreitet. Die Auswertung erfolgte zum einen nach der Grenzkurve gemäss Norm SIA 180:2014, Figur 4 (in der Folge als Überhitzungsstunden 1 bezeichnet) gemäss **Abbildung 21** und zum anderen nach der Grenzkurve gemäss Norm SIA 180:2014, Figur 3 (in der Folge als Überhitzungsstunden 2 bezeichnet) gemäss **Abbildung 22**. Der letzteren Grenzkurve liegt ein «adaptives Komfortmodell» zu Grunde, für dessen Anwendbarkeit die Voraussetzungen in SIA 180-C2:2020 wie folgt formuliert ist: «In Räumen ohne maschinelle Kühlanlage, in denen die thermischen Bedingungen hauptsächlich von den Nutzern durch Öffnen und Schliessen von Öffnungen (Fenstern) in der Gebäudehülle geregelt werden, und deren Nutzer ihre Aktivität und Bekleidung saisonal [...] anpassen.» Bei der Überschreitung der Grenzkurve nach **Abbildung 21** definiert die Norm SIA 382/1:2014 eine tolerierbare Anzahl Stunden von 100, bis zu der eine Kühlung «erwünscht» ist, darüber ist sie notwendig. Für die Grenzkurve nach **Abbildung 22** ist keine Überschreitungstoleranz definiert.

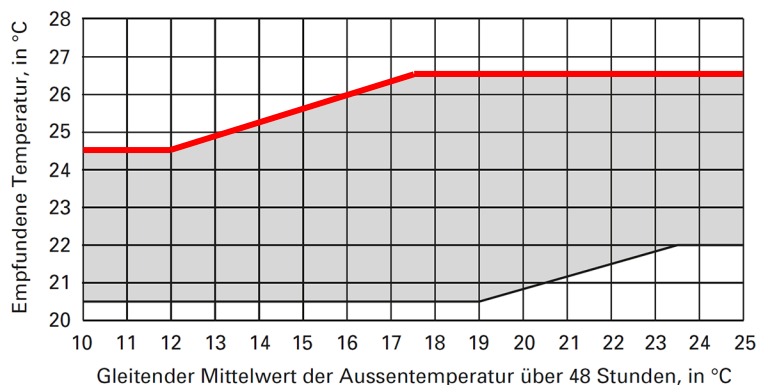


Abbildung 21: Grenzkurve gemäss SIA 180:2014, Figur 4.

Es werden für beide Grenzkurven drei Fälle unterschieden:

- **Mittelwert Überhitzungsstunden 1:**
flächengewichteter Mittelwert der Anzahl Stunden aller Zonen während der Belegungszeit über der Grenzkurve gemäss Norm SIA 180:2014 Figur 4
- **Max. Überhitzungsstunden 1:**
Über die gesamte Betrachtungsperiode maximal auftretende Anzahl Stunden in einer Zone während der Belegungszeit über der Grenzkurve gemäss Norm SIA 180:2014 Figur 4

7 Gebäudesimulationen

• **Min. Überheizungsstunden 1:**

Minimal auftretende Anzahl Stunden in einer Zone während der Belegungszeit über der Grenzkurve gemäss Norm SIA 180:2014 Figur 4

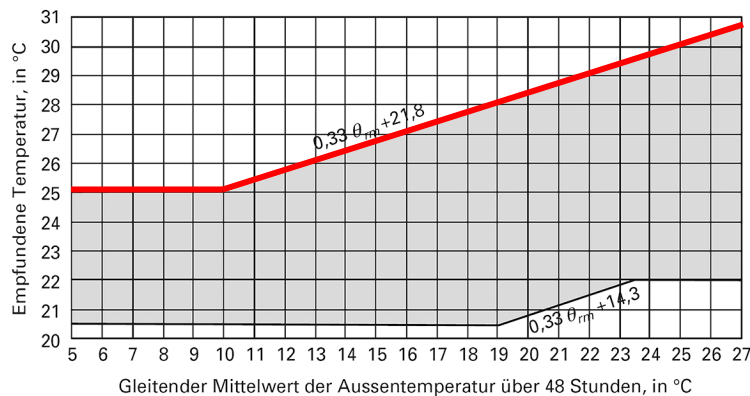


Abbildung 22: Grenzkurve gemäss SIA 180:2014, Figur 3.

• **Mittelwert Überheizungsstunden 2:**

flächengewichteter Mittelwert der Anzahl Stunden aller Zonen während der Belegungszeit über der Grenzkurve gemäss Norm SIA 180:2014 Figur 3

• **Max. Überheizungsstunden 2:**

Maximale Anzahl Stunden einer Zone während der Belegungszeit über der Grenzkurve gemäss Norm SIA 180:2014 Figur 3

• **Min. Überheizungsstunden 2:**

Minimale Anzahl Stunden einer Zone während der Belegungszeit über der Grenzkurve gemäss Norm SIA 180:2014 Figur 3

Bei den Raumtemperaturen wurden folgende drei Auswertungen durchgeführt:

• **Mean Max. operative Temperatur:**

Von jeder Zone wird die maximale operative Temperatur während der Betrachtungsperiode ermittelt. Aus diesen Temperaturen wird der flächengewichtete Mittelwert (Mean) berechnet.

• **Max. operative Temperatur:**

Maximal in einer Zone des Gebäudes auftretende operative Temperatur während der Betrachtungsperiode.

• **Min. operative Temperatur:**

Von allen maximalen operativen Temperaturen des Gebäudes während der Betrachtungsperiode die kleinste maximale operativen Temperatur.

7.3 Resultate

In diesem Kapitel werden die Resultate für eine Auswahl der durchgeführten Simulationen gezeigt. Der Fokus der Simulationen liegt in der mittleren Zukunft mit der Periode «2060» (Betrachtungszeitraum von 2045 bis 2074) mit den beiden Emissionsszenarien RCP2.6 und RCP8.5 für ein Design

Referenz Year (DRY) und für den «1 in 10» warmen Sommer («1 in 10»). Die Simulationsergebnisse mit den Zukunftsdaten werden mit den aktuell verwendeten historischen, auf Messungen basierenden Klimadaten gemäss dem Merkblatt SIA 2028:2010 verglichen. Die Winterhalbjahre in den «1 in 10»-Daten wurden unverändert aus den Winterhalbjahren DRY übernommen. Deshalb wird für die «1 in 10»-Daten kein Heizenergiebedarf ausgewiesen. Eine Zusammenstellung der durchgeführten Simulationen ist im Anhang B zu finden.

Die Resultate der unterschiedlichen Referenzgebäude sind nur bedingt miteinander vergleichbar, da sie unterschiedliche Nutzungen aufweisen. Zudem wurden im Büro- und im Schulgebäude die Fensterlüftung sowie die Verschattungsregelung gegenüber dem Wohnbau wie folgt angepasst. Die Einschränkung, welche die Fensterlüftung nur am Morgen für eine Stunde und am Abend für drei Stunden zulässt, wurde aufgehoben. Damit ist die Auskühlung mit Aussenluft durch die Fenster im Büro- und im Schulgebäude länger und jederzeit möglich. Bei der Verschattungsregelung wurde die Einschränkung der maximalen Beschattung eines Fensters von 2/3 entfernt, somit kann zu 100% beschattet werden. Auch wurde die Einschränkung, dass die Beschattung nur bei Aussenlufttemperaturen von mehr als 15 °C aktiviert wird, durch eine raumlufttemperaturabhängige Regelung ersetzt. Diese Anpassungen entsprechen dem Anhang C.3 der Norm SIA 180:2014, die für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes angewandt wird. Die Einschränkung, dass das Gebäude nur im Sommer vom 16.4. bis 15.10. gekühlt wird, wurde bei der Berechnung des Kühlenergiebedarfs im Büro- und Schulgebäude nicht angewandt. Die detaillierten Spezifikationen sind im Anhang B zu finden.

7.3.1 Wohngebäude

7.3.1.a) Energie und Leistung

In **Abbildung 23** ist der Energiebedarf sowie der Leistungsbedarf für Heizen und Kühlen für das Wohngebäude der Umlandstationen Kloten, Davos und Lugano dargestellt.

Bei **Kloten** ist prozentual ein markanter Anstieg des Kühlenergiebedarfs zwischen den Klimadaten gemäss Merkblatt SIA 2028:2010 und dem DRY RCP2.6 zu verzeichnen. Der absolute Kühlenergiebedarf bleibt jedoch niedrig. Die Zunahme des Kühlleistungsbedarfs ist mit einem Faktor 2.4 deutlich. Im Vergleich zu DRY RCP2.6 steigt der Kühlenergiebedarf sowie der Kühlleistungsbedarf in den Simulationen DRY RCP8.5 und «1 in 10» RCP2.6 und RCP8.5 an.

Bedingt durch die erhöhte Lage von 1'590 Meter ist in **Davos** der Heizenergiebedarf, der in der Zukunft mit dem DRY deutlich abnimmt, gegenüber den anderen Stationen am grössten. Bei Davos erfährt der Kühlenergiebedarf (0.5 kWh/m²a) und vor allem der Kühlleistungsbedarf (8.9 W/m²) erst für den «1 in 10» warmen Sommer RCP8.5 einen deutlichen Anstieg. Ansonsten bleibt sowohl der Kühlenergiebedarf als auch der Kühlleistungsbedarf niedrig.

In **Lugano** ist der Heizleistungsbedarf im Vergleich zu den anderen Stationen deutlich tiefer. Er sinkt zudem vom DRY RCP2.6 zum DRY RCP8.5 am meisten. Der kleinere Kühlenergiebedarf in Lugano beim «1 in 10» warmen Sommer RCP2.6 gegenüber Lugano DRY RCP8.5 ist zum einen durch die, um ca. 0.5 K tiefere mittlere Sommertemperatur und zum anderen mit den deutlich tieferen Aussenlufttemperaturen im August von 3.2 K zu erklären. Dass der Unterschied so stark und besonders im

7 Gebäudesimulationen

August hervortritt, ist dem Umstand zuzuschreiben, dass einzelne Wetterabschnitte in den Klimadateien zusammengefügt wurden.

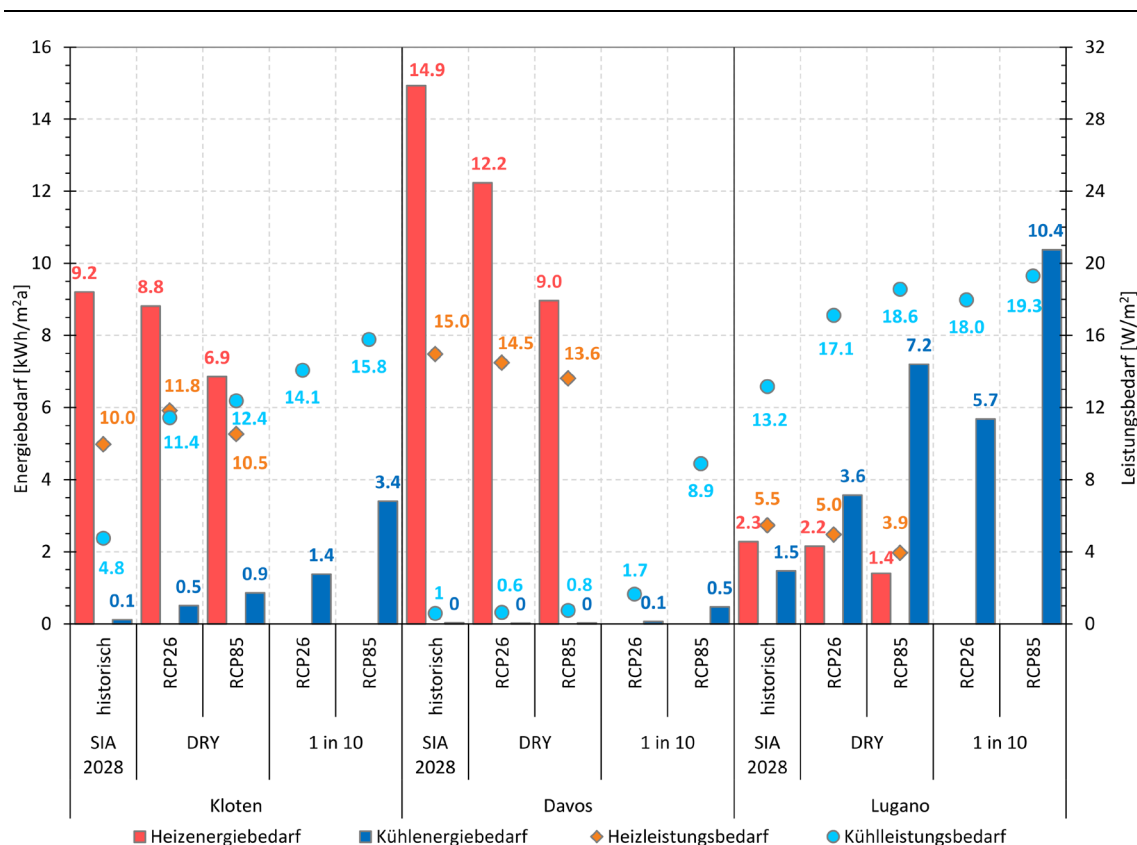


Abbildung 23: Energie- und Leistungsbedarf Wohngebäude (Periode: 1.1. – 31.12.)

7.3.1.b) Überhitzung

Bei der Station **Kloten** steigen die Überhitzungsstunden in Zukunft an, und zwar stärker für RCP8.5 gegenüber RCP2.6, sowie stärker für den «1 in 10» warmen Sommer gegenüber dem DRY. Bereits mit den historischen Daten des Merkblatts SIA 2028:2010 werden in den kleinen Wohnräumen auf der Südostseite des Gebäudes 114 h maximale Überhitzungsstunden 1 (**Abbildung 24**) erreicht, womit eine «Kühlung notwendig» wird. Die detailliertere Analyse zeigt: Es treten während der Betrachtungsperiode nur in den kleinen drei Zonen auf der Südostseite mehr als 50 Überhitzungsstunden 1 auf. Beim «1 in 10» warmen Sommer RCP8.5 steigen die maximalen Überhitzungsstunden 1 auf 607 h an. In keinem der Referenzjahre werden mehr als 38 h maximale Überhitzungsstunden 2 erreicht. Im flächengewichteten Mittelwert treten kaum Überhitzungsstunden 2 auf (**Abbildung 25**).

In **Davos** liegen die mittleren Werte der Überhitzungsstunden 1 (**Abbildung 24**) erwartungsgemäss unter 100 Stunden. Die mittleren und vor allem die maximalen Überhitzungsstunden 2 sind für den Standort Davos jedoch unerwartet hoch (**Abbildung 25**). Die Analyse zeigte, dass die Ursache in der

verwendeten Verschattungsregelung liegt: Die Verschattung wird zum einen unabhängig der Raumlufttemperatur geregelt und zum anderen auch bei Solarstrahlung in überhitzten Zonen nur bei Aussenlufttemperaturen grösser als 15 °C aktiviert. Im Gegensatz dazu ist die Aussenluft in tieferen Lagen während der Sommerperiode an sonnigen Tagen häufig über 15 °C. In Davos sind sonnige Tage mit Aussenlufttemperaturen von weniger als 15 °C häufiger. Somit sind die berechneten Überhitzungsstunden von Davos in diesem spezifischen Fall nicht aussagekräftig, da die Verschattungsregelung zu stark von der Aussenlufttemperatur abhängt. Eine Simulation mit angepasster Verschattungsregelung nach Norm SIA 180:2014 Anhang C.3 zeigte, dass mit den historischen Daten gemäss Merkblatt SIA 2028:2010 keine maximalen Überhitzungsstunden 1 und maximalen Überhitzungsstunden 2 auftreten.

In **Lugano** wurden bereits mit den historischen Daten des Merkblatts SIA 2028:2010 hohe Überhitzungsstunden 1 (**Abbildung 24**) berechnet. Der Mittelwert der Überhitzungsstunden 1 im «1 in 10» warmen Sommer RCP 8.5 beträgt gar 1'082 h, was rund ein Drittel der Belegungszeit in der Betrachtungsperiode ausmacht. Die nur wenig tieferen Min. Überhitzungsstunden 1 und die leicht höheren Max. Überhitzungsstunden 1 zeigen, dass nach dieser Auswertung alle Räume über längere Perioden überhitzen. Die Auswertung der Überhitzungsstunden 2 (**Abbildung 25**) zeigt deutlich weniger Überhitzungsstunden, da die Grenzkurve nach **Abbildung 22** mit steigenden Aussenlufttemperaturen linear ansteigt.



Abbildung 24: Überhitzungsstunden 1 (Grenzkurve **Abbildung 21**) im Wohngebäude während der Nutzungszeit von 3111 h (Periode: 16.4. – 15.10.)

7 Gebäudesimulationen

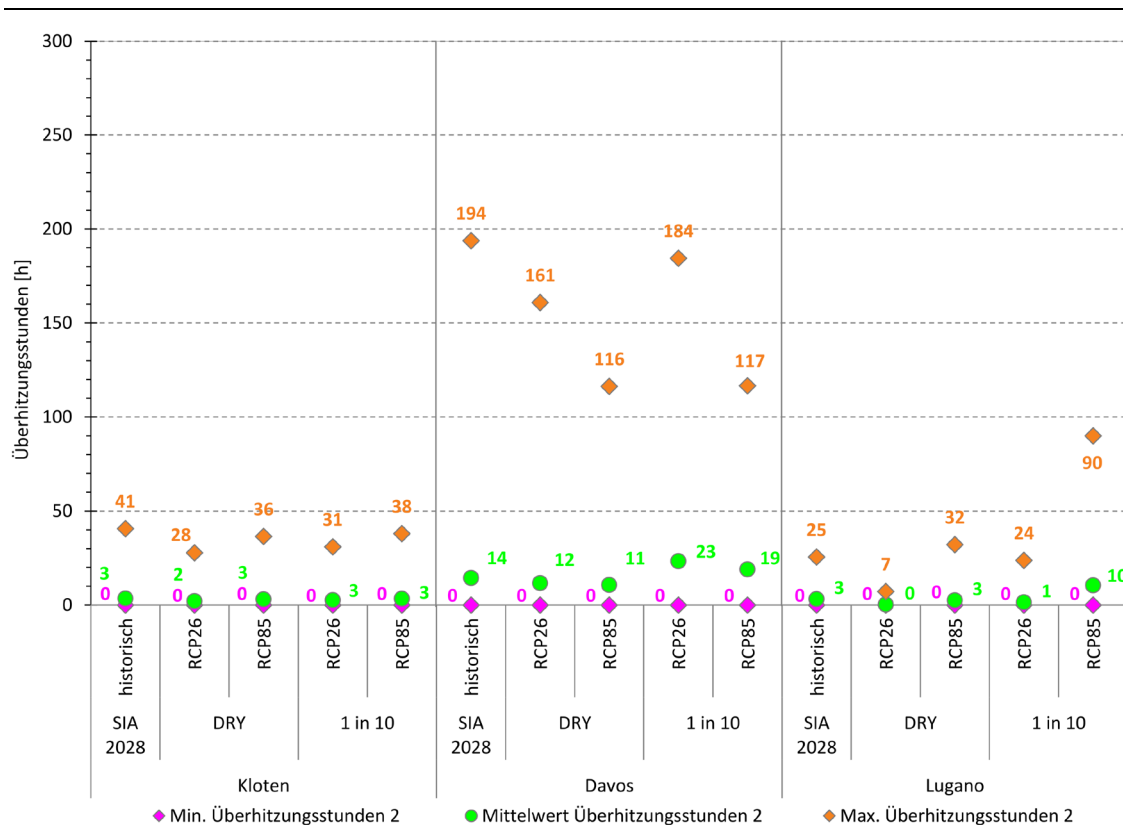


Abbildung 25: Überheizungsstunden 2 im Wohngebäude während der Nutzungszeit von 3'111 h (Periode: 16.4. – 15.10.)

7.3.1.c) Temperaturen

Die operativen Temperaturen (Abbildung 26) widerspiegeln, mit kleinen Abweichungen bei den Stationen Kloten und Lugano, die Aussagen der Überheizungsstundenauswertung des jeweiligen Szenarios. Bei Davos sind die hohen Temperaturen, wie bereits oben beschrieben, eine Folge der für alle Wetterstationen angewendeten Verschattungsregelung, die für diesen Standort nachteilig ist.

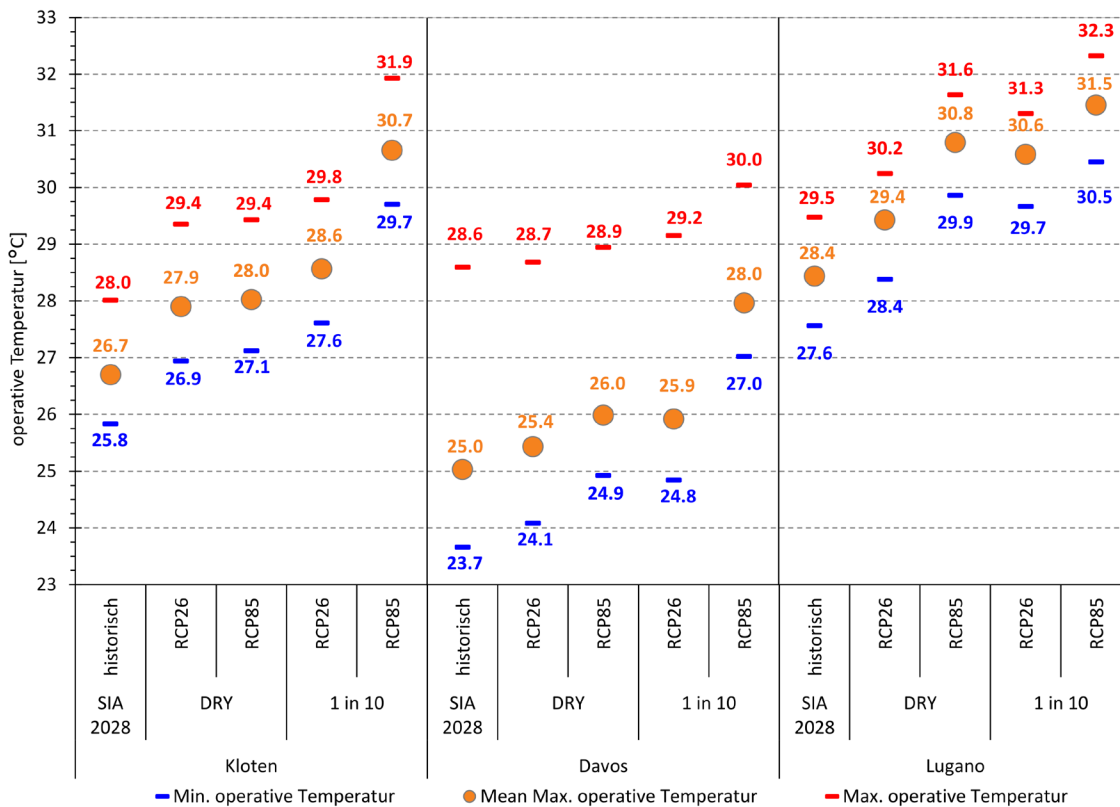


Abbildung 26: Temperaturen im Wohngebäude während Nutzungszeit von 3111 h (Periode: 16.4. – 15.10.)

7.3.1.d) Hitzeinseleffekt

Der Hitzeinseleffekt wurde am Beispiel der vier Städte Zürich, Bern, Basel und Lausanne untersucht und in **Abbildung 27** gegenübergestellt. Die Grenze von 100 Überhitzungsstunden 1 wird bei allen Stationen sowohl für das DRY als auch für den «1 in 10» warmen Sommer mit RCP2.6 und RCP8.5 bei weitem überschritten, womit eine Kühlung nach diesem Kriterium gemäss Norm SIA 382/1:2014 notwendig wird. Die mittleren Überhitzungsstunden 2 bleiben bei den DRY bei allen Stationen bei nahezu 0, wobei die Maxima in der gleichen Grössenordnung liegen wie bei der Umlandstation Kloten. Angesichts der noch optimierbaren Sonnenschutz- und Lüftungssteuerung kann damit gerechnet werden, dass diese noch eliminiert werden könnten. Auffallend ist bei der Station Zürich der geringere Wert für das DRY RCP8.5 im Vergleich zu RCP2.6. Der Grund ist in Kapitel 8.2.2 bei der Analyse der Maximaltemperaturen (**Abbildung 40**) erklärt. Beim «1 in 10» warmen Sommer RCP8.5 weisen alle Stationen nennenswerte mittlere Überhitzungsstunden auf, d.h. dieses Kriterium kann nicht mehr eingehalten werden.

7 Gebäudesimulationen

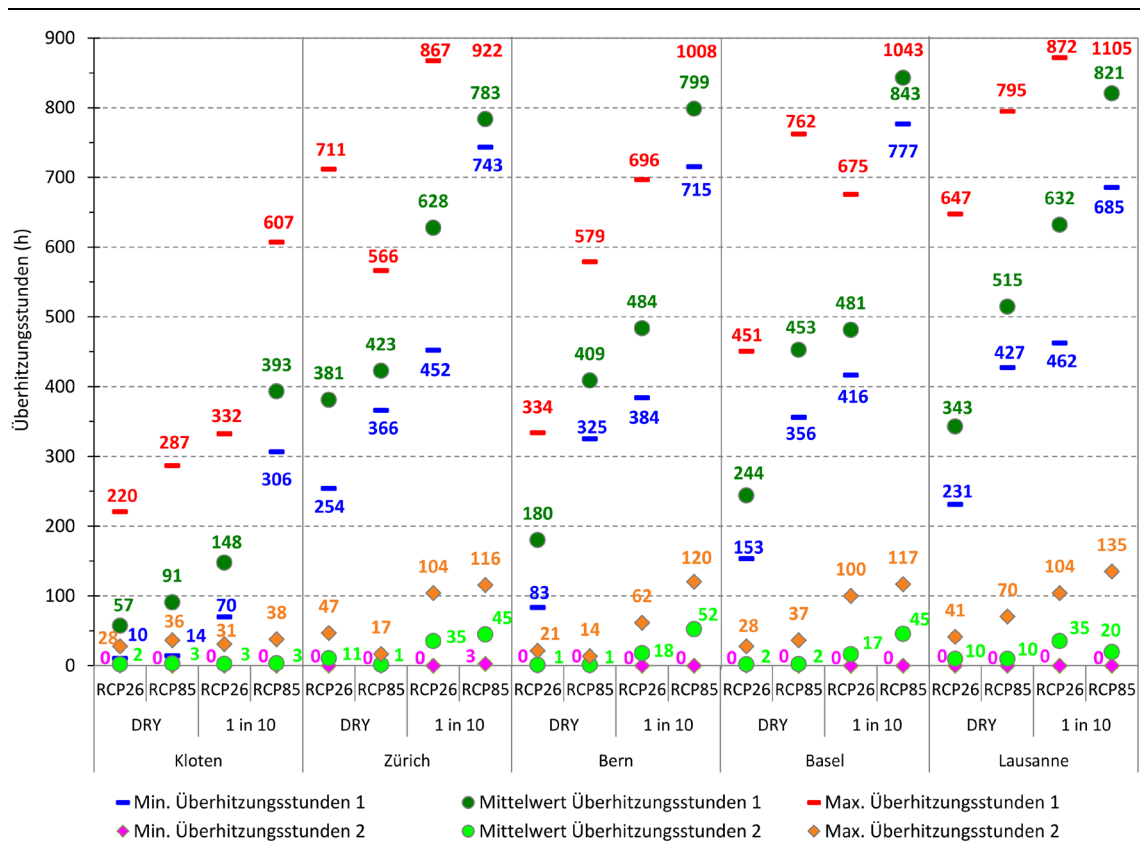


Abbildung 27: Überheizungsstunden im Wohngebäude für Zürich-Kloten und für Stadtstationen während Nutzungszeit von 3111 h (Periode: 16.4. – 15.10.)

Bei der Betrachtung der Temperaturen in **Abbildung 28** fällt bei Basel auf, dass die Mean Max. operative Temperaturen von DRY RCP2.6 und DRY RCP8.5 die nahezu gleichen Werte annehmen. Die Analyse dieser Klimadatei zeigte, dass vom 21.8. bis am 23.8. die Aussenlufttemperatur beim DRY RCP2.6 höher als beim DRY RCP8.5 war, was in Zusammenhang mit den hohen Werten der Sonneneinstrahlung (siehe Kapitel 8.2.2 und **Abbildung 39**) in der Simulation zu hohen maximalen operativen Temperaturen für diese Zeitperiode führte. Auch in Lausanne sind die tieferen Temperaturen im «1 in 10» RCP8.5 gegenüber dem «1 in 10» RCP2.6 mit den in den Daten vorhandenen kurzzeitigen «Wetterphänomenen» zu begründen (siehe Kapitel 8.2.2 und **Abbildung 40**).

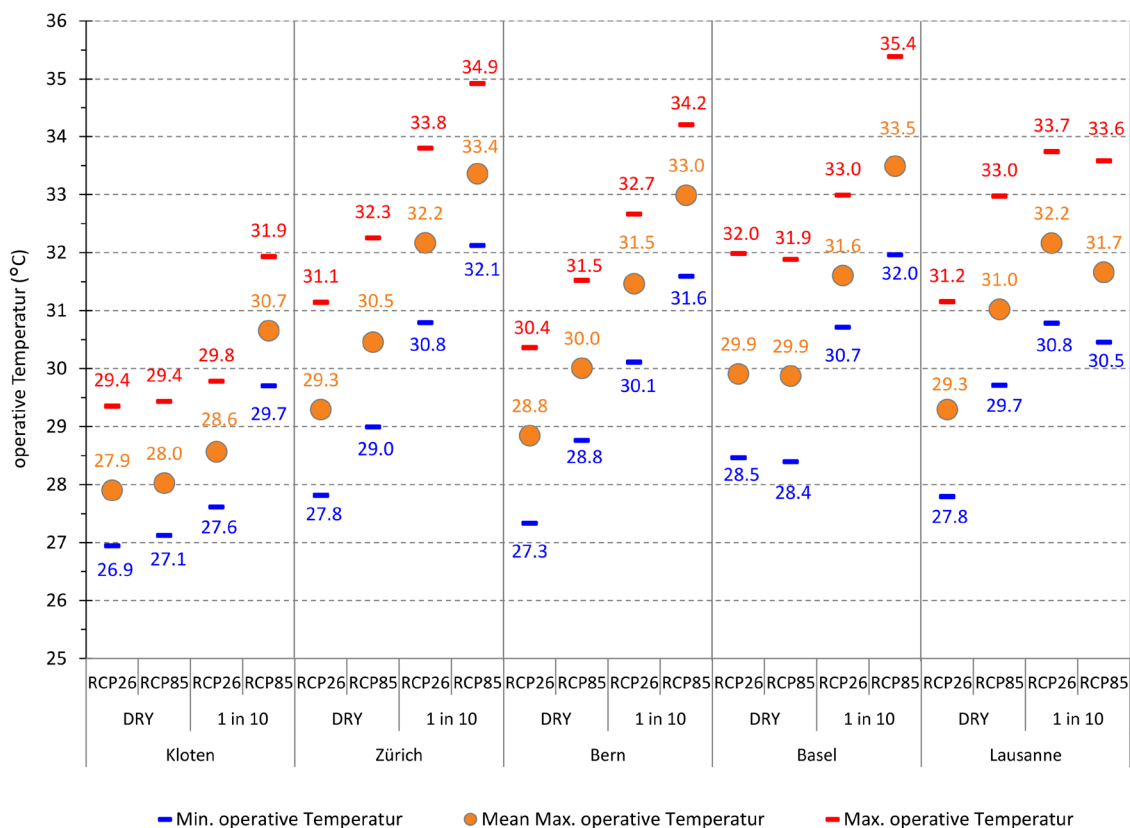


Abbildung 28: Temperaturen im Wohngebäude für Kloten und für Stadtstationen während Nutzung 3110 h (Periode: 16.4. – 15.10.)

7.3.2 Bürogebäude

7.3.2.a) Energie und Leistung

Bei den DRY für die Zukunft nimmt bei allen Stationen in **Abbildung 29** erwartungsgemäss der Heizenergiebedarf gegenüber den historischen Daten ab und der Kühlenergiebedarf zu. Ebenfalls ist der Heizwärmebedarf für RCP8.5 geringer als für RCP2.6 und der Kühlenergiebedarf grösser. Der Heizenergiebedarf zeigt für die drei dargestellten Stationen im Vergleich zu den historischen Daten des Merkblatts SIA 2028:2010 eine Abnahme im DRY RCP2.6 sowie eine weitere Reduktion im DRY RCP8.5. In der Regel reduziert sich der Wärmeleistungsbedarf dementsprechend. Auffallend ist die Leistungszunahme bei der Station Kloten im DRY RCP2.6 im Vergleich zum Merkblatt SIA 2028:2010. Diese Leistungszunahme ist bedingt durch eine einmalige kalte Phase im Winter, in der am Morgen die Lüftung im Vorlauf von 2 Stunden zur Nutzung einschaltet und zusammen mit der Heizung die Leistung von 17.3 W/m^2 bezieht.

Der Kühlenergiebedarf ist erwartungsgemäss bei den historischen Daten des Merkblatts SIA 2028:2010 jeweils am kleinsten und nimmt bei allen Stationen vom niedrigen Emissionsszenario – RCP2.6 – zum hohen Emissionsszenario – RCP8.5 – nochmal zu. Die «1 in 10» warmen Sommer

7 Gebäudesimulationen

haben zudem einen höheren Kühlenergiebedarf als die entsprechenden DRYs. Der Kühlleistungsbedarf verhält sich analog zum Kühlenergiebedarf. Die Leistungszunahme der DRY gegenüber den historischen Daten beträgt für Kloten gut 30%, für Lugano zwischen 25% und 50%. Bei Davos tritt für beide DRYs ein kleiner bis mittlerer Kühlleistungsbedarf auf gegenüber fast keinem Bedarf bei den historischen Daten. Gemäss den Überhitzungsstunden kann die Kühlung grösstenteils vermieden werden (**Abbildung 29**). Das kann als Basis für empfohlene künftige Auslegungen dienen. Demgegenüber sind nochmals wesentlich höhere Leistungen beim «1 in 10»-Jahr feststellbar.

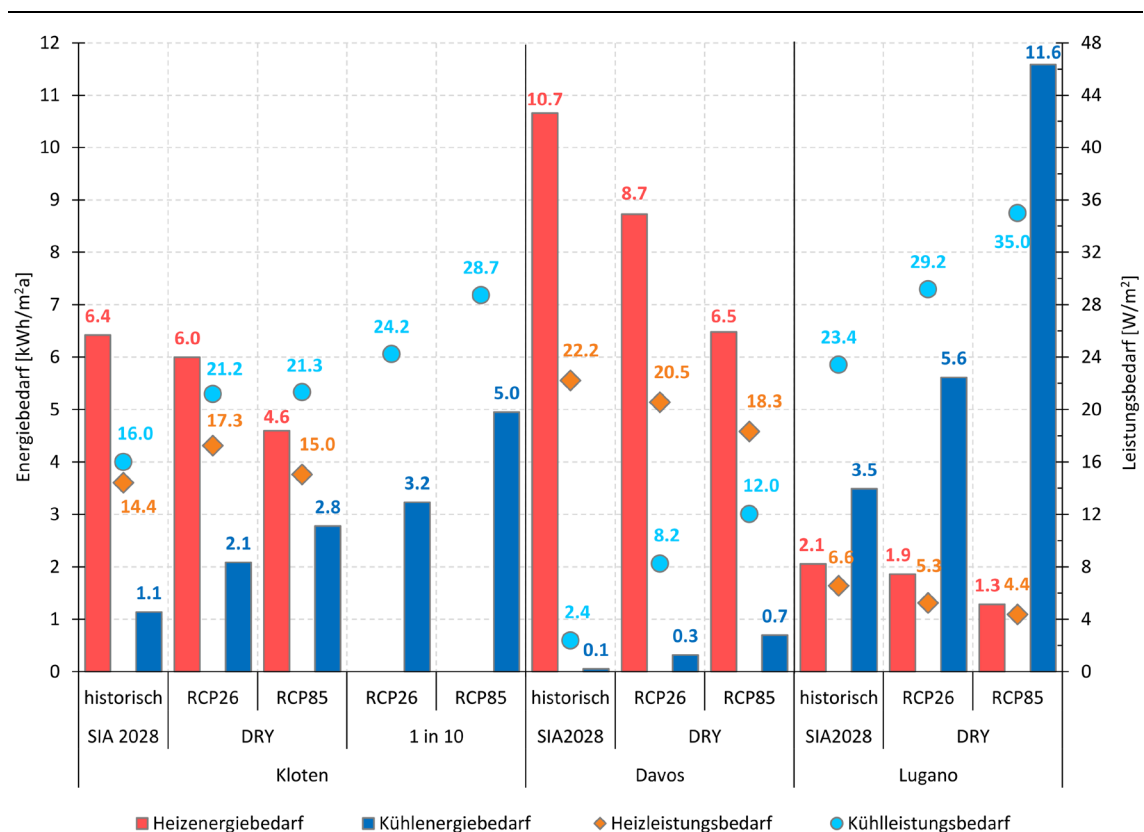


Abbildung 29: Energie- und Leistungsbedarf Bürogebäude (Periode: 1.1. – 31.12.)

7.3.2.b) Überhitzung

Die ersten Simulationen zur Beurteilung der Überhitzung wurden an allen Stationen ohne Nachtauskühlung durchgeführt, weil eine Nachtauskühlung von der Umgebung sowie aus Sicherheitsgründen nicht immer möglich ist. Dabei wurde festgestellt, dass ohne Nachtauskühlung bereits mit den historischen Daten gemäss dem Merkblatt SIA 2028:2010 (in **Abbildung 30** beschriftet als «hist. ONK») das Bürogebäude während der ganzen Nutzungsdauer von 1'430 h überhitzt und somit nicht komfortabel nutzbar ist. Deshalb wurden alle weiteren Simulationen mit einer Tag- und Nachtauskühlung durch die beiden seitlich angeordneten Fenster durchgeführt. Die Spezifikation zur Gebäudeauskühlung ist im Anhang B zu finden. In Kloten werden – selbst mit diesem optimalen Fensterlüftungsregime – bereits mit den historischen Klimadaten Überhitzungsstunden 1 erreicht, die im Mittel die

Grenze von 100 h zwar nicht überschreiten, im Einzelfall jedoch das Maximum von 108 h erreichen. Der Mittelwert Überheizungsstunden 2 bleibt in allen Fällen, ausser «1 in 10» RCP 8.5, nahe 0.

Am Standort **Zürich** wurde für das Bürogebäude auch der Hitzeinseleffekt mit den Klimadaten «1 in 10» warmer Sommer für die beiden Szenarien RCP2.6 und RCP8.5 berechnet. Im Vergleich zur Umlandstation Kloten kann eine markante Zunahme der Überheizungsstunden von 97 h (Umland «1 in 10» RCP2.6 verglichen mit «1 in 10» RCP2.6 für Stadtstation) und 134 h (Umland «1 in 10» RCP8.5 verglichen mit «1 in 10» RCP8.5 für Stadtstation) festgestellt werden. Auch die Überheizungsstunden 2 weisen nennenswerte Werte auf.

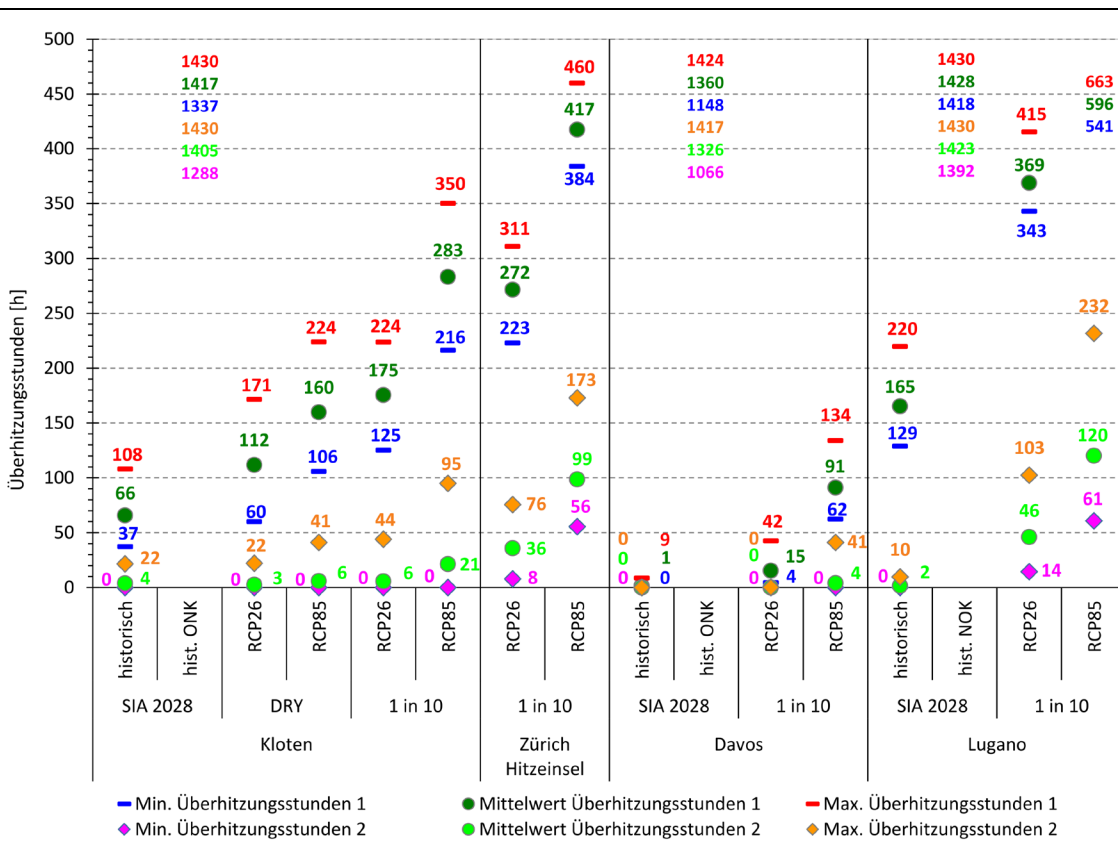


Abbildung 30: Vergleich der Überheizungsstunden Bürogebäude während Nutzung 1'430 h (Periode: 16.4. – 15.10.) für Umlandstationen und die Stadtstation Zürich-Kaserne («Zürich Hitzeinsel»).

Mit Nachtauskühlung werden in **Davos** nur für den «1 in 10» warmen Sommer RCP8.5 kritische Werte der Überheizungsstunden 1 von mehr als 100 h (max. 134 h) erreicht. Die Überheizungsstunden sind im Vergleich zum Wohngebäude bedeutend geringer, da bei der Simulation im Büro eine andere Verschattungsregelung gemäss Anhang B angewandt wurde.

In **Lugano** sind die Überheizungsstunden bereits mit den historischen Klimadaten gemäss Merkblatt SIA 2028:2010 mit einem Mittelwert Überheizungsstunden 1 von 165 h sehr hoch. In Zukunft steigen die Überheizungsstunden nochmals deutlich an, für die simulierten Referenzjahre «1 in 10» bis auf einen maximalen Wert von 663 h.

7 Gebäudesimulationen

7.3.2.c) Temperaturen

Das Muster der operativen Temperaturen in **Abbildung 31** ist ähnlich zu demjenigen der in **Abbildung 30** gezeigten Überhitzungsstunden. Auch bei der Betrachtung der Temperaturen ist in den Referenzjahren gemäss Merkblatt SIA 2028:2010 ersichtlich, dass ohne Nachtauskühlung die Komfortansprüche mit Temperaturen grösser 35.1 °C nicht erreicht werden können («hist. ONK»). Mit den historischen Klimadaten gemäss Merkblatt SIA 2028:2010 (mit Nachtauskühlung) erreicht die Mean Max. operative Temperatur sowohl in Kloten als auch in Lugano bereits Werte von nahezu 30 °C. In Kloten steigt die Mean Max. operative Temperatur für die DRYs für die Zukunft leicht an. Im «1 in 10» warmen Sommer RCP8.5 für Kloten nehmen die operativen Temperaturen nochmals markant um mehr als 2 °C zu. Der Temperaturanstieg für die Stadtstation in Zürich beträgt im Vergleich zur Umlandstation Kloten für das «1 in 10» 2.4 bis 3 °C. In Lugano sind die Temperaturen im Vergleich zu Kloten erwartungsgemäss leicht höher.

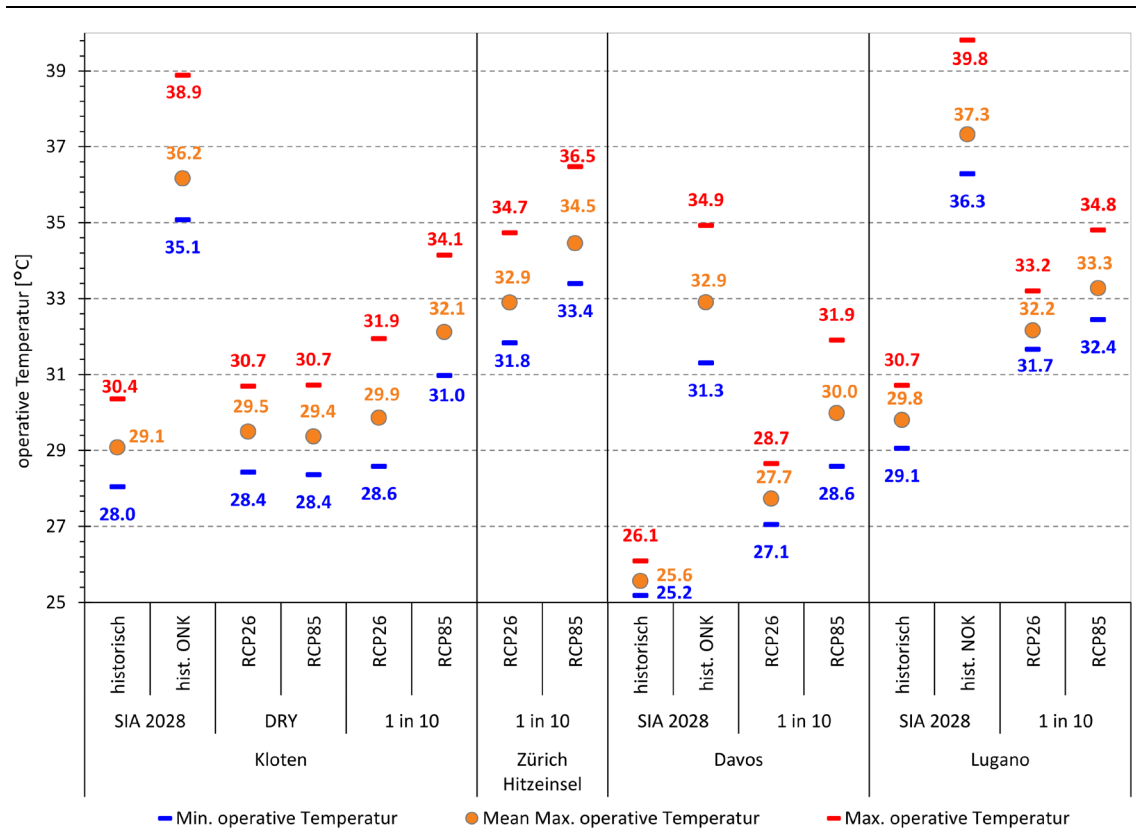


Abbildung 31: Temperaturen im Bürogebäude während Nutzung 1'430 h (Periode: 16.4. – 15.10.)

7.3.3 Schulgebäude

7.3.3.a) Energie und Leistung

Der Heizenergiebedarf des Schulgebäudes (**Abbildung 32**) entspricht den Erwartungen. Der Verlauf wie auch die Grössenordnung sind im Mustergebäude sehr ähnlich wie beim Bürogebäude.

Wie bereits im Bürogebäude, wird beim Wärmeleistungsbedarf ein Anstieg bei DRY RCP2.6 im Vergleich zu den Referenzjahren gemäss Merkblatt SIA 2028:2010 mit gleicher Begründung festgestellt.

Der Kühlleistungsbedarf in **Kloten** verhält sich ähnlich wie beim Bürogebäude. Hingegen ist der Kühlenergiebedarf beim Schulgebäude im Vergleich zum Bürogebäude sehr viel tiefer, weil das Schulgebäude gemäss den verwendeten Standard-Nutzungsdaten nach Merkblatt SIA 2024:2021 im warmen Monat Juli nicht genutzt (Ferien) und somit auch nicht gekühlt wird. In **Davos** besteht bei allen simulierten Referenzjahren kaum Kühlenergiebedarf. Der geringe Kühlleistungsbedarf ist vernachlässigbar. In **Lugano** ist der Anstieg des Kühlenergiebedarfs von DRY RCP2.6 zu DRY RCP8.5 auffallend stark.

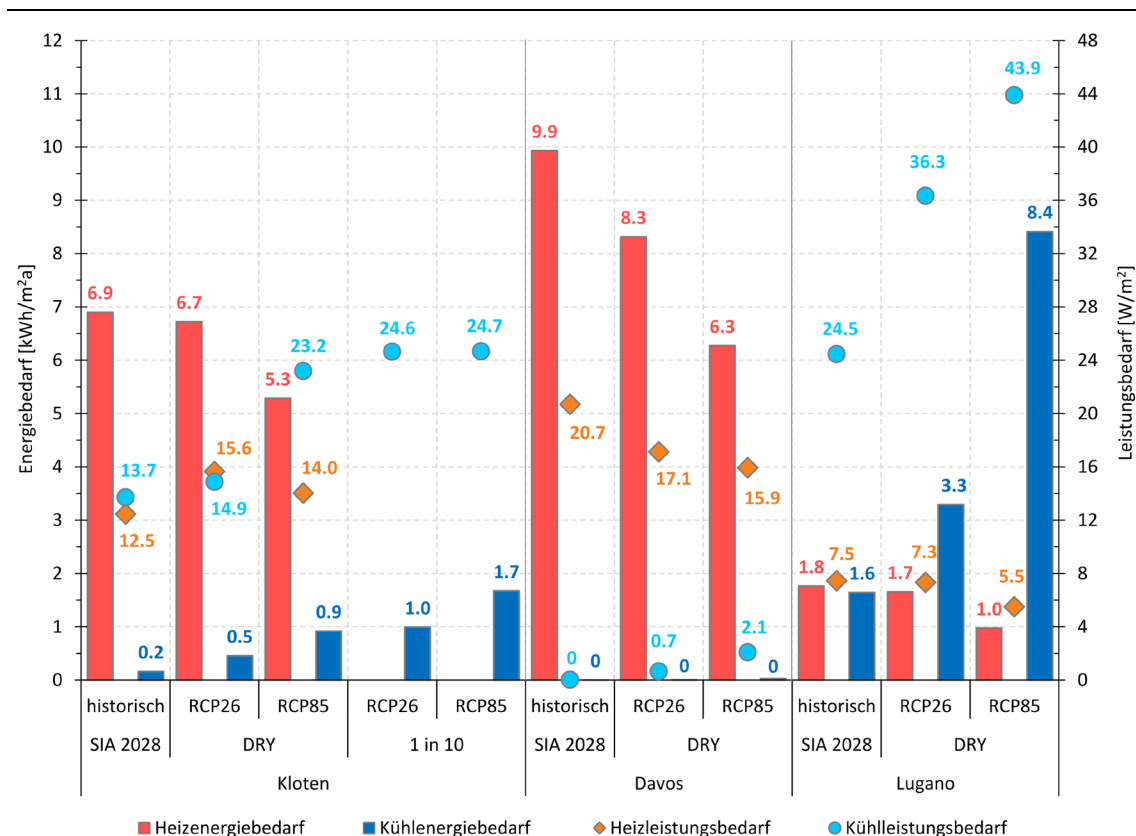


Abbildung 32: Energie- und Leistungsbedarf Schulgebäude (Periode: 1.1. – 31.12.)

7 Gebäudesimulationen

7.3.3.b) Überhitzung

Wie beim Bürogebäude wurden beim Schulgebäude die ersten Simulationen ohne Nachtauskühlung (hist. ONK) durchgeführt. Das Schulgebäude überhitzt ohne Nachtauskühlung überall während der ganzen Nutzungsdauer von 1'200 h und ist somit ebenfalls nicht komfortabel nutzbar (**Abbildung 33**).

In **Kloten** gibt es bei aktiver Nachtauskühlung in keiner Variante Überhitzungsstunden 2 (0 h). Bei den historischen Klimadaten gemäss Merkblatt SIA 2028:2010 werden maximal 17 h Überhitzungsstunden 1 erreicht. Für den «1 in 10» warmen Sommer RCP8.5 wird ein Maximum von 113 Überhitzungsstunden 1 erreicht.

Davos weist für das «1 in 10» RCP8.5 maximal 12 Überhitzungsstunden 1 auf und ist somit bezüglich des thermischen Komforts nicht kritisch.

In **Lugano** werden im Schulgebäude deutlich mehr Überhitzungsstunden als in Kloten erreicht. Zudem werden hier die Überhitzungsstunden 2 grösser als 0, was sich mit den Beobachtungen im Betrieb heutiger Schulhäuser deckt.

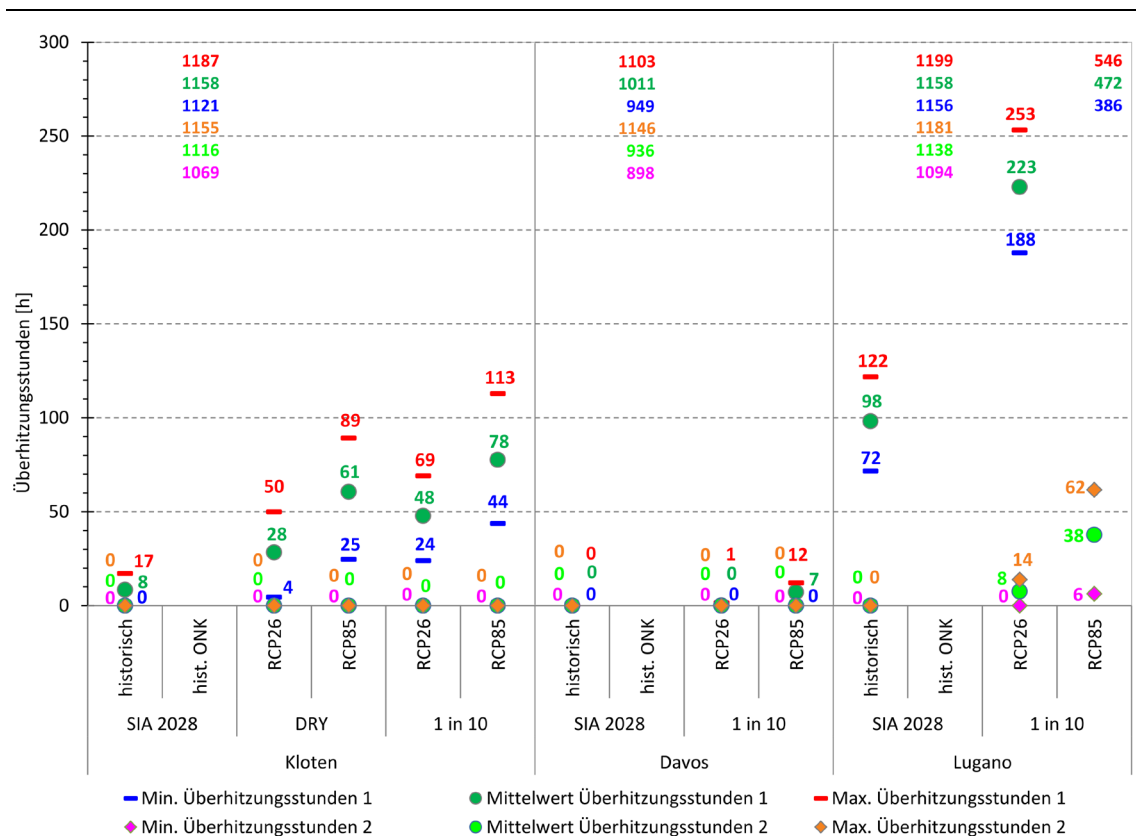


Abbildung 33: Überhitzungsstunden im Schulgebäude während Nutzung 1200 h (Periode: 16.4. – 15.10.)

7.3.3.c) Temperaturen

Auch bei der Auswertung der Temperaturen, welche ohne Nachtauskühlung bei allen Referenzjahren über 30 °C ansteigen, ist ersichtlich, dass eine Nachtauskühlung unumgänglich für den Betrieb ist. Bei allen Stationen zeigt das Mustergebäude bei den operativen Temperaturen ein ähnliches Verhalten wie bei den Überhitzungsstunden, womit höhere Überhitzungsstunden an einem Standort direkt mit einer höheren operativen Temperatur einhergehen.

Bei **Davos** ist lediglich das «1 in 10» RCP8.5 mit der maximalen operativen Temperatur von 28.6 °C an 12 h leicht über der Grenzkurve nach **Abbildung 22**.

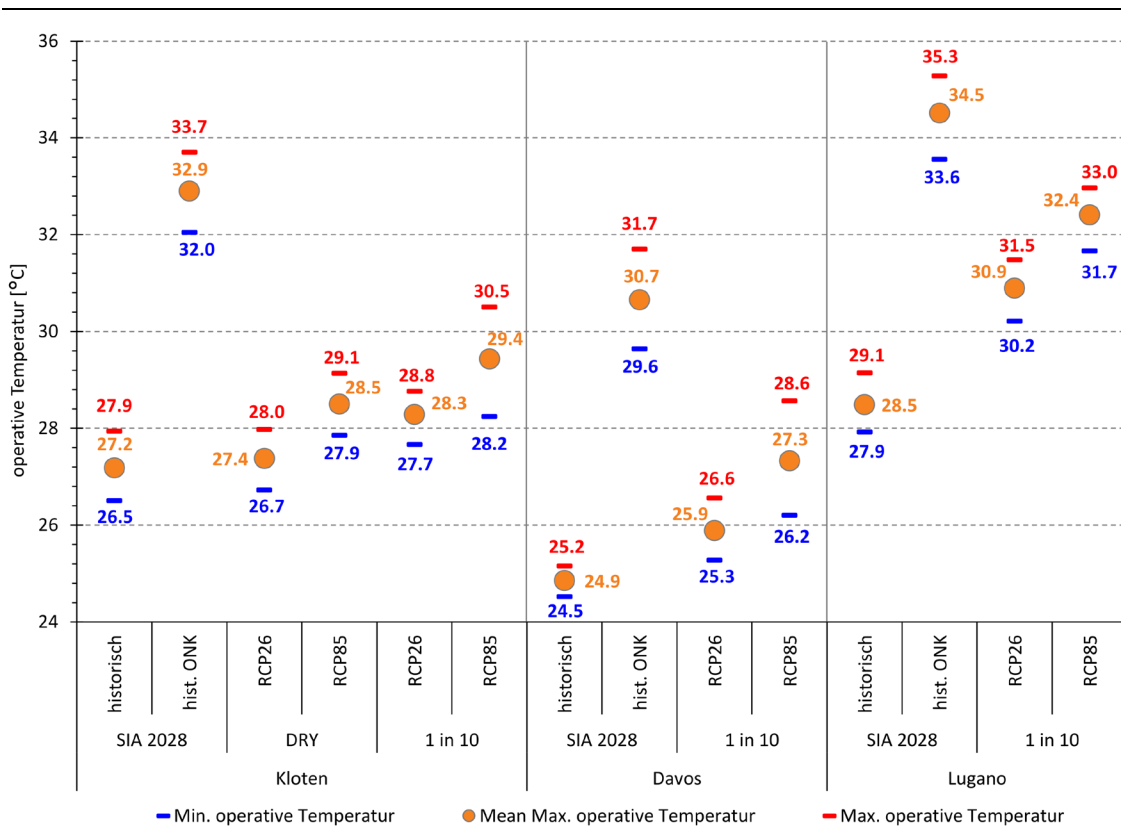


Abbildung 34: Temperaturen im Schulgebäude während Nutzung 1200 h (Periode: 16.4. – 15.10.)

8 Diskussion

8 Diskussion

8.1 Schlussfolgerungen

Ziel der Projekte «Klimaangepasstes Bauen - Grundlagen für die Zukunft» und A.15 «Aktuelle Klimadaten für Bauplanende» war, stündliche Klimadatenätze für die Zukunft zu erstellen, welche die bestehenden Daten gemäss Merkblatt SIA 2028:2010 ergänzen sollen. Zudem wurden diese Klimadatenätze mit Hilfe von Gebäudesimulationen evaluiert, plausibilisiert und erste Anwendungsempfehlungen aus den Resultaten abgeleitet.

8.1.1 Erstellte Referenzjahre

Der erarbeitete Datensatz umfasst Referenzjahre für insgesamt 45 Messstationen. Dabei handelt es sich um 41 Umlandstationen (40 Stationen gemäss Merkblatt SIA 2028:2010 und zusätzlich Zürich-Affoltern) sowie 4 Stadtstationen. Die Referenzjahre für die Stadtstationen erlauben es, die erhöhten Temperaturen auf Grund des Hitzeinseleffekts in innerstädtischen Gebieten zu berücksichtigen (Gehrig et al., 2018). Grundlage für die Erstellung der Referenzjahre für das zukünftige Klima sind die fehlerkorrigierten, lokalen Datensätze aus den Schweizer Klimaszenarien CH2018 (CH2018, 2018) (NCCS, 2018). Diese basieren auf mehreren Simulationen verschiedener Klimamodelle, welche unterschiedliche Annahmen zur zukünftigen Entwicklung der globalen Treibhausgasemissionen in Betracht ziehen. Bei der Erstellung der Referenzjahre für die Zukunft wurden folgende zwei Szenarien berücksichtigt: Kein Klimaschutz (RCP8.5) und konsequenter Klimaschutz (RCP2.6). Es wurde ein Zeithorizont in naher Zukunft um «2035» (2020-2049) und ein Zeithorizont Mitte des Jahrhunderts um «2060» (2045-2074) betrachtet. Für den Zeitraum um «2035» wird nur ein Emissionsszenario, RCP8.5, bereitgestellt, da sich die Auswirkungen auf das Klima in der Schweiz zwischen den Szenarien kaum unterscheiden. Für den Zeitraum «2060» werden beide Szenarien bereitgestellt, um den möglichen Raum der zukünftigen Klimaentwicklung aufzuspannen. Für jede Station wird für die erwähnten Zeiträume und Emissionsszenarien ein Referenzjahr für das typische Jahr der Zukunft, das sogenannte Design Reference Year (DRY), bereitgestellt. Ausserdem wurde auch ein warmes Sommerhalbjahr, der sogenannte «1 in 10» warme Sommer erstellt, welcher bezüglich der Temperatur die sommerlichen Bedingungen repräsentiert, die einmal alle zehn Jahre übertroffen werden.

Die gewählte Methode für das DRY orientiert sich stark am Merkblatt SIA 2028:2010. Der Hauptunterschied besteht darin, dass Referenzjahre nicht direkt aus den Beobachtungen gezogen werden. Die Beobachtungen werden, mit Hilfe eines Delta-Change Ansatzes, in einem ersten Schritt in die Zukunft skaliert. Der Delta-Change Ansatz beruht darauf, ein Klimaänderungssignal - das Delta - aus

der historischen und einer zukünftigen Periode aus den Klimaszenarien CH2018 zu bestimmen. Dieses Delta wird in einem nachfolgenden Schritt auf die Beobachtungen angewendet um skalierte («zukünftige») Beobachtungen erhalten. Das weitere Vorgehen ist analog zum Erstellen der DRY für das Merkblatt SIA 2028:2010, wobei das zu repräsentierende Klima wieder durch die Klimaszenarien CH2018 vorgegeben wird. Die Auswahl des DRY berücksichtigt Temperatur, relative Feuchte und Globalstrahlung. Zudem wird für das DRY an Umlandstationen die monatlich durchschnittliche Dauer von Hitzeereignissen berücksichtigt. Für Stadtstationen wird zusätzlich noch die Anzahl Tropennächte berücksichtigt. Der «1 in 10» warme Sommer berücksichtigt in der Auswahl die Temperatur der Monate Juni bis August sowie die Dauer von Hitzeereignissen über das ganze Sommerhalbjahr (16. April – 15. Oktober). Analog zum DRY werden für Stadtstationen zusätzlich die Anzahl Tropennächte berücksichtigt. Eine Übersicht zu den mittleren Sommer- und Wintertemperaturen, sowie der Anzahl Hitzetage, Tropennächte und Frosttage ist in **Tabelle A4, Tabelle A5, Tabelle A6, Tabelle A7**, respektive **Tabelle A8** gegeben.

8.1.2 Evaluation der Referenzjahre

Die Methoden wurden so gewählt, dass die Referenzjahre eine möglichst gute Repräsentation der Evaluationskriterien, sogenannte Klimaindikatoren, zeigen. Die Evaluation der Referenzjahre für Umland- (Kapitel 5) und Stadtstationen (Kapitel 6) zeigt, dass die Referenzjahre die zukünftige Klimatologie von Temperatur, relativer Feuchte und Globalstrahlung gut repräsentieren und in der Qualität den bestehenden DRY aus dem Merkblatt SIA 2028:2010 nicht nachstehen. Ebenfalls wurde mit zusätzlichen Auswahlkriterien eine Möglichkeit gefunden, Hitzeperioden (und Tropennächte für die Stadt) besser zu repräsentieren. Das typische Jahr sowie auch das «1 in 10» warme Sommerhalbjahr zeigen etwas grössere Fehler für städtische Stationen als für ländliche Stationen. Dies kann sowohl an den kürzeren Beobachtungsreihen liegen als auch daran, dass für die Stadt nur vier Stationen untersucht wurden, während viel mehr Umlandstationen evaluiert wurden.

Die erstellten Referenzjahre wurden auch einzeln mit den zukünftigen Bedingungen aus den Klimaszenarien CH2018 verglichen. So zeigt die obere Grafik in **Abbildung 35** die mittlere Sommertemperatur der Klimaszenarien und Beobachtungen an der Station Lugano. Die unteren zwei Grafiken zeigen die Monatsmitteltemperatur für das DRY in Lugano aus dem Merkblatt SIA 2028:2010 und für beide zukünftigen Zeiträume und Emissionsszenarien (nur RCP8.5 für 2035). Ein Vergleich der mittleren Sommertemperatur zwischen den Beobachtungen und dem DRY aus dem Merkblatt SIA 2028:2010 zeigt eine gute Übereinstimmung mit einer Abweichung von 0.2°C zwischen dem DRY und der klimatologisch berechneten mittleren Sommertemperatur für die Periode 1984-2003. Für die zukünftigen Zeiträume ist jeweils der 25%-75% Quantil Bereich (der sogenannte interquartile range - IQR) der 30-jährigen Klimatologie der Modellsimulationen angegeben. Die mittlere Sommertemperatur der erstellten Referenzjahre für die Zukunft liegen in diesem Bereich, womit gezeigt wird, dass die DRY die in CH2018 projizierten typischen Bedingungen gut repräsentieren.

8 Diskussion

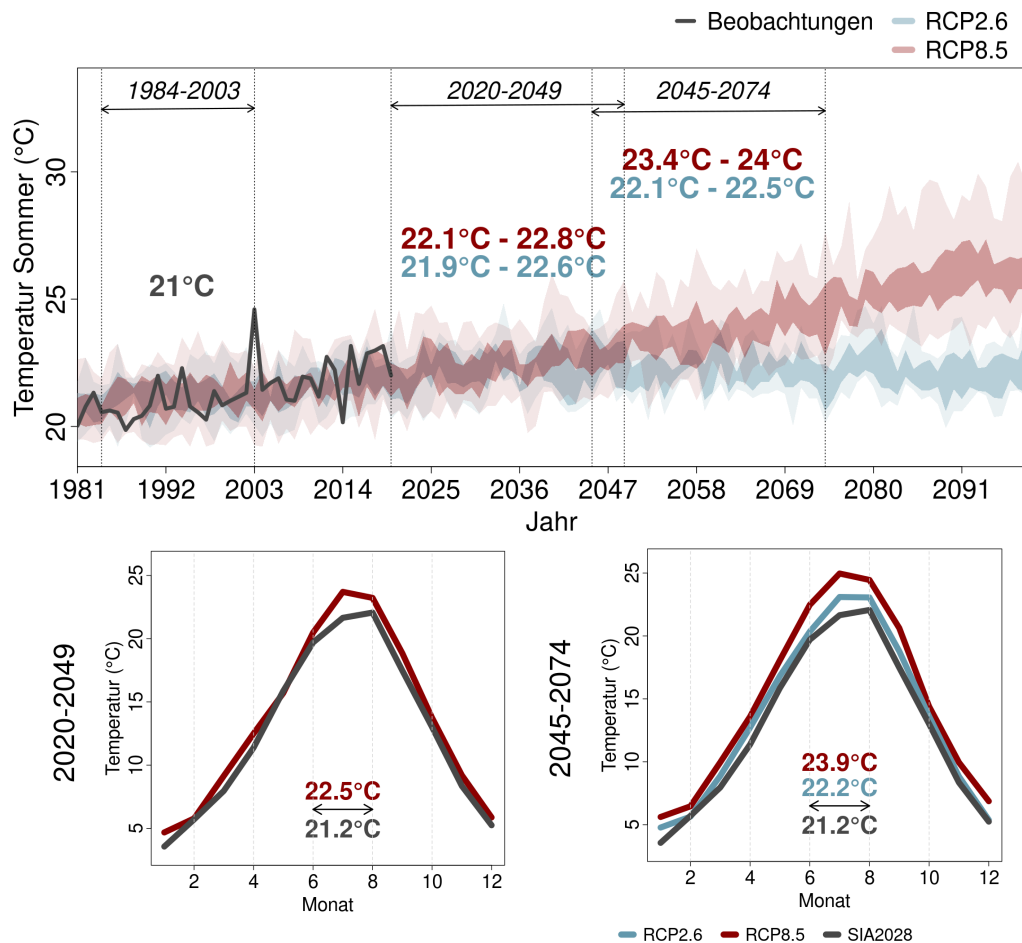


Abbildung 35: Die Grafik oben zeigt die über den Sommer (Juni-August) gemittelte Temperatur für Lugano für die Beobachtungen von 1981-2020 sowie für die Klimaszenarien von 1981-2099. Für die Szenarien ist die Bandbreite aller Modellsimulationen als helle Fläche gezeigt. Die dunklere Fläche gibt den 25%-75%-Quantil Bereich (IQR) an, in welchem die mittleren 50% der Modelldaten liegen. Die angegebenen Werte sind das 20-Jahre Mittel für den historischen Zeitraum von 1984-2003 für die Beobachtungen und der 25%-75% Bereich der Modellsimulationen für das 30-Jahre Mittel für die zwei zukünftigen Zeiträume 2020-2049 und 2045-2074 für beide Emissionsszenarien RCP2.6 und RCP8.5. Die Grafiken unten zeigen die Monatsmitteltemperatur für die DRY für Lugano aus dem Merkblatt SIA 2028:2010 und für die Zeiträume 2035 (unten links) und 2060 (unten rechts) für beide Emissionsszenarien (nur RCP8.5 für 2035). Die angegebenen Werte entsprechen der mittleren Sommertemperatur für alle DRYs.

8.1.3 Vergleich Umland- und Stadtstationen

Der Vergleich der Szenarien für das Stationspaar aus städtischer und ländlicher Station in Basel zeigt einen Unterschied in der Tagesmitteltemperatur von etwa 0.6°C-0.8°C über die Sommermonate gemittelt (Juni-August; **Abbildung 36**). Dieser Unterschied wird ebenfalls in den DRY repräsentiert. Die wärmeren Temperaturen an der Stadtstation sind hauptsächlich auf die Temperaturen in der Nacht durch die verminderte Nachtauskühlung aufgrund der dichten Besiedlung in der Stadt zurückzuführen. Die Tagesminimaltemperaturen im Sommer in der Stadt von Basel sind etwa 0.8°C-1.3°C wärmer als an der Umlandstation, dies wird ebenfalls von den Referenzjahren gut wiedergegeben (**Abbildung 37**). Bei der Tagesmaximaltemperatur zeigen sich hingegen für die Stationen in Basel kaum Unterschiede (nicht gezeigt).

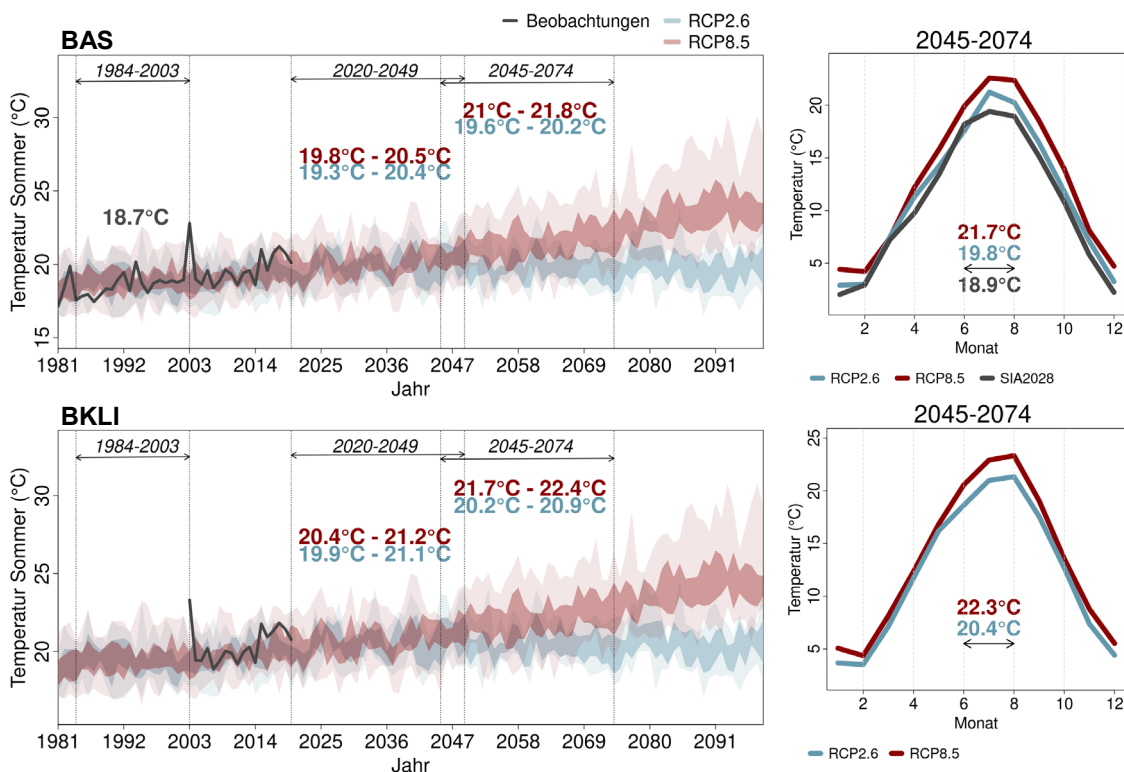


Abbildung 36: Vergleich Umland/Stadt Tagesmitteltemperatur für Basel-Binningen (BAS, oben) und Basel-Klingelbergstrasse (BKLI, unten).

Der Vergleich mit den anderen Stationspaaren zeigt grössere Differenzen zwischen den Tagesminimaltemperaturen im Sommer für die Paare SMA-NABZUE (2.2°C-2.3°C, **Abbildung 38**) und BER-NABBER (1.8°C-1.9°C, **Abbildung A6**) während für PUY-NABLAU die Differenz am kleinsten ist (0.5°C-0.6°C, **Abbildung A5**). Dies ist bedingt durch die unterschiedliche Lage der Stationen. Während PUY und BAS bereits in der Nähe von städtischen Überbauungen liegen, ist SMA erhöht und BER ausserhalb der Stadt gelegen und von grösseren Grünflächen umgeben. Dies bewirkt die grösseren Temperaturunterschiede in Zürich und Bern im Vergleich zu den anderen Städten. Gemeinsam haben alle Stationspaare, dass die Unterschiede in den Nachttemperaturen am grössten sind.

8 Diskussion

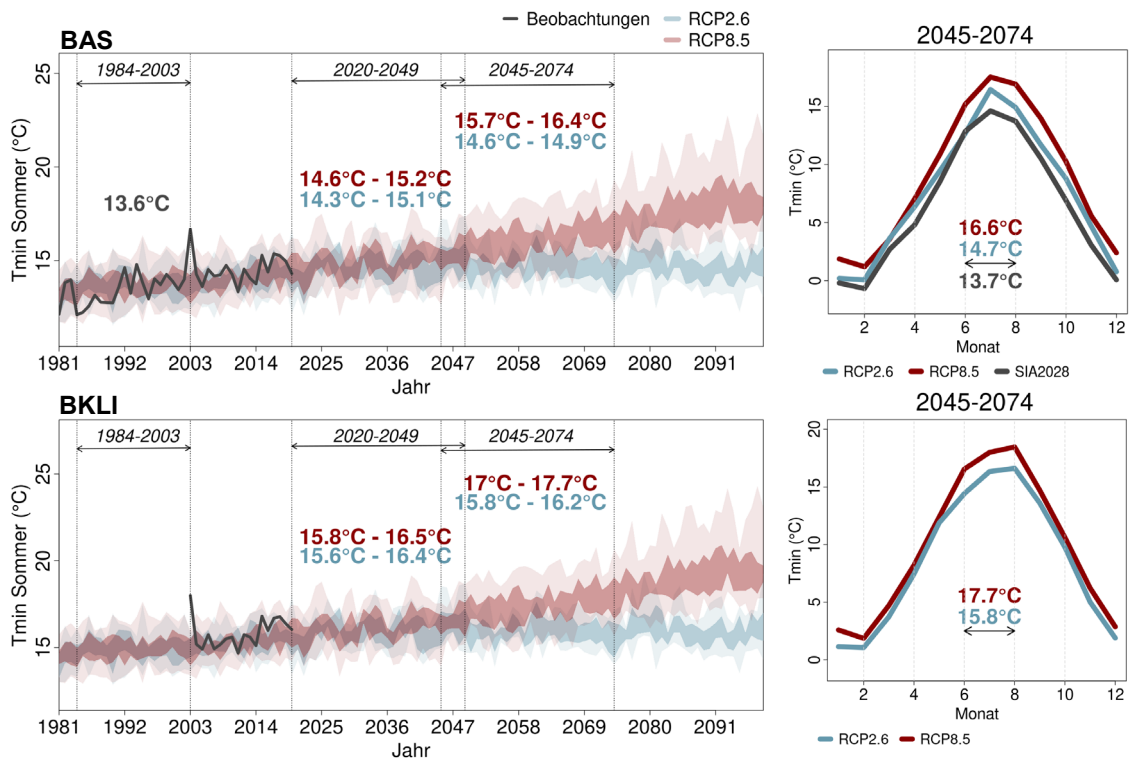


Abbildung 37: Vergleich Umland/Stadt Tagesminimaltemperatur für Basel-Binningen (BAS, oben) und Basel-Klingelbergstrasse (BKLI, unten)

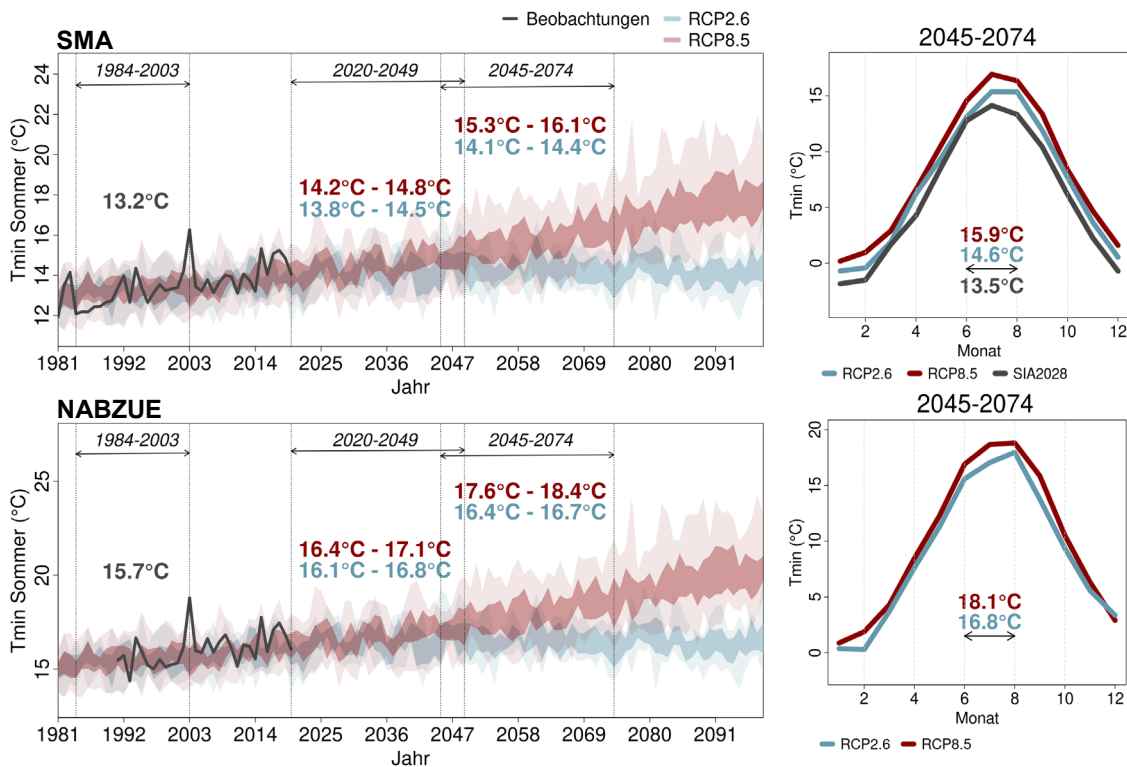


Abbildung 38: Vergleich Umland/Stadt Tagesminimaltemperatur für Zürich-Fluntern (SMA, oben) und Zürich-Kaserne (NABZUE, unten)

8.1.4 Plausibilisierung der Datensätze

Die extensive Evaluation der unterschiedlichen Methoden, einerseits auf der klimatologischen Seite anhand der Hauptparameter und anhand von Klimaindikatoren und andererseits auch anhand der verschiedenen Gebäudesimulationen, schafft ein hohes Vertrauen in die generierten Datensätze, auch wenn diese, wie weiter unten besprochen wird, auch einige Nachteile mit sich bringen. Zudem wurden anhand der Gebäudesimulationen die Daten plausibilisiert, heisst, die Resultate sind sinnvoll und unseren Erwartungen entsprechend. Einzelne «Unstimmigkeiten» (siehe Kapitel 8.2.2 «Nachteile der gewählten Methode») konnten diskutiert und im Detail verstanden werden.

8.1.5 Resultate aus den Gebäudesimulationen

Aus den Testsimulationen lassen sich folgende Erkenntnisse ableiten:

Für Umlandstationen im Schweizer Mittelland – hier am Beispiel Kloten dargelegt – können bei **Wohngebäuden** in typischen Jahren (DRY) die Überheizungsstunden ohne Kühlung mit geeigneten Massnahmen (Sonnenschutz und insbesondere Nachtauskühlung durch natürliche Lüftung) auch künftig im tolerierbaren Bereich gehalten werden. In einzelnen, exponierten Räumen kann es zu höheren Temperaturen kommen. Dies gilt aber nur, wenn Innentemperaturen über 26°C als tolerierbar betrachtet werden, was zum Beispiel in der Studie ResCool (Koschenz et al., 2021) aus gesundheitlicher Sicht in Frage gestellt wird.

8 Diskussion

Bei Gebäuden, welche der Architektur des Beispielobjektes entsprechen, reichen im innerstädtischen Bereich – mit der Berücksichtigung des potenziellen Wärmeinseleffekts – solche Betriebsstrategien in der Regel nicht aus. Es müsste eine aktive Kühlung vorgesehen bzw. es müssen die für eine Nachrüstung notwendigen Vorkehrungen getroffen werden.

Für Sommertemperaturen mit einer Auftretenshäufigkeit von 1-mal in 10 Jahren gelten die obigen Feststellungen nicht. Die Überhitzungsstunden überschreiten die tolerierbare Grenze. Ohne aktive Kühlung wird es – wie bereits heute in warmen Jahren feststellbar – selbst im Umland zu überhöhten Raumtemperaturen kommen.

Bei Wohngebäuden in der untersuchten Bauweise sind in den Niederungen der Alpensüdseite – am Beispiel Lugano dargelegt – die heute gültigen Komfortanforderungen ohne Kühlung nicht erfüllbar.

An höher gelegenen, alpinen Standorten – am Beispiel Davos dargelegt – können die Komfortanforderungen in Wohngebäuden auch künftig ohne aktive Kühlung eingehalten werden, selbst in aussergewöhnlich warmen Sommerhalbjahren.

Typische **Bürogebäude** sind im Mittelland mit geeigneten Massnahmen (Sonnenschutz und insbesondere bezüglich Dauer und Öffnungsfläche uneingeschränkte Nachtauskühlung durch natürliche Lüftung) bereits heute an der Grenze der Nutzbarkeit ohne aktive Kühlung. Sie fallen mindestens in die Kategorie «Kühlung erwünscht» gemäss Norm SIA 382/1:2014 (künftig SIA 380/2). Folglich sind sie künftig selbst in typischen zu erwartenden Jahren nicht mehr ohne aktive Kühlung betreibbar.

Bürogebäude sind künftig höchstens an höher gelegenen Standorten, wie Davos, ohne aktive Kühlung möglich. In aussergewöhnlich warmen Sommerhalbjahren kommen sie selbst dort zumindest beim Szenario RCP8.5 an die Grenze.

Schulgebäude sind unter der Voraussetzung der uneingeschränkten Umsetzbarkeit der Massnahmen (Sonnenschutz und insbesondere unbeschränkte Nachtauskühlung durch natürliche Lüftung) im Mittelland ohne aktive Kühlung betreib- und nutzbar. Diese gilt aber nur, wenn Temperaturen über 26°C zugelassen werden, was aus Sicht der Produktivität nicht sinnvoll scheint (Seppänen et al., 2006). In besonders warmen Sommerhalbjahren gibt es exponierte Räume, wo eine Kühlung erwünscht ist. Ein wichtiger Einflussfaktor ist dabei die (in der Simulation, gemäss Standardnutzung nach Merkblatt SIA 2024:2021) nicht vorhandene Nutzung während der Sommerferien (Juli). Da heute zu diesen Zeiten oft andere Nutzerinnen und Nutzer die Räume beanspruchen und gleichzeitig oftmals Hitzeperioden auftreten, ist die Annahme der nicht vorhandenen Nutzung im konkreten Projekt jedoch im Detail zu klären.

In der Praxis ergeben sich aber schon heute oft Überhitzungsprobleme in Schulen, da die unbeschränkte Nachtauskühlung in der Praxis oft nicht umgesetzt wird oder werden kann. Planende tun deshalb gut daran, gründlich zu hinterfragen, ob ein solches Konzept umsetzbar ist. Andernfalls muss der Einsatz einer aktiven Kühlung in Betracht gezogen werden.

Schulgebäude in den Niederungen der Alpensüdseite benötigen hingegen bereits heute eine aktive Kühlung, was sich künftig entsprechend akzentuieren wird. Höher gelegene Standorte sind unproblematisch.

8.2 Vor- und Nachteile der gewählten Methode

8.2.1 Vorteile der gewählten Methode

Die vorliegende Methode erlaubt es, die Verteilung der verschiedenen meteorologischen Parameter entsprechend dem neuesten Stand des Wissens bez. der zukünftigen Klimaänderung in der Schweiz direkt zu nutzen. Indem die auf die MeteoSchweiz-Messstandorte fehlerkorrigierten Klimaszenarien aus CH2018 als Zielverteilung der Parameter angenommen werden, wird sichergestellt, dass sich ändernde Häufigkeiten zum Beispiel von Hitzeperioden oder deren Länge in den Klimaszenarien auch entsprechend abgebildet werden und somit explizit in der Auswahl der Referenzjahre berücksichtigt werden.

Die Methode erlaubt, zusätzliche Indikatoren zu den drei Hauptvariablen wie z.B. Hitzeperioden oder Anzahl Tropennächte explizit als Kriterien in die Auswahl der Referenzjahre einfließen zu lassen und diese zu evaluieren. In diesem Projekt wurden verschiedene Methoden getestet und eine der Besten bez. relevanter Indikatoren für die finale Bereitstellung gewählt. Die erstellten Referenzjahre bilden somit unterschiedliche relevante Variablen zuverlässig ab. Dies wäre nicht möglich gewesen, wären die historischen Referenzjahre gemäss dem Merkblatt SIA 2028:2010 durch einen Delta-Change Ansatz direkt in die Zukunft skaliert worden.

8.2.2 Nachteile der gewählten Methode

Die Klimadaten für die DRY RCP8.5 sind generell (über einzelne Monate oder das Jahr gemittelt) wärmer als die DRY RCP2.6. Dasselbe gilt für die «1 in 10» warmen Sommer verglichen mit den DRYs desselben Emissionsszenarios. Deswegen ist die Annahme, dass die Gebäude für die jeweils wärmeren Referenzjahre höhere Innenraumtemperaturen, mehr Überhitzungsstunden, höheren Kühlleistungsbedarf, und so weiter zeigen. Diesbezüglich wurden aber in wenigen Fällen leichte «Inkonsistenzen» in den Resultaten der Gebäudesimulationen gefunden. Das ist insbesondere bei Gebäudeindikatoren der Fall, die sensitiv auf einzelne Hitze-Ereignisse reagieren. Solch ein Indikator ist z.B. der in Kapitel 7.3.1.d) «Hitzeinseleffekt» aufgeführte Indikator «Empfundene Temperatur». Wie in **Abbildung 28** ersichtlich, ist die empfundene Temperatur für die Stadtstation in Basel im Zeitraum 2060 für das typische Jahr (DRY) für RCP2.6 ähnlich hoch wie für RCP8.5, und in Lausanne bez. des «1 in 10» warmen Sommers für RCP2.6 sogar höher als für RCP8.5. Dies liegt daran, dass der Indikator «Empfundene Temperatur» die maximal (während einer Stunde) über das Jahr auftretende Temperatur eines Raumes abbildet, und somit sehr sensitiv auf momentane klimatische Bedingungen reagiert. Werden jedoch Gebäudeindikatoren betrachtet, die weniger sensitiv reagieren, wie zum Beispiel die Anzahl Überhitzungsstunden (siehe **Abbildung 27**), welche über das Sommerhalbjahr summiert werden, dann ergeben sich die erwarteten Zusammenhänge.

Konkret sehen wir bei den DRY für Basel im Zeitraum 2060 für RCP2.6 und RCP8.5, dass sich die Temperaturen der Referenzjahre über den Sommer betrachtet deutlich (und wie erwartet) unterscheiden (**Abbildung 39**, Werte für das Temperaturmittel Juni-August oben links). Auch im Monatsmittel und für die Tagesmittel, minimale und maximale Temperaturen ist das Referenzjahr RCP8.5 deutlich wärmer als das Referenzjahr RCP2.6 (nicht gezeigt). Allerdings liegen die Werte der Glo-

8 Diskussion

balstrahlung recht nahe beieinander (**Abbildung 39**, oben rechts). Besonders ab der zweiten Julihälfte ist die Globalstrahlung im Referenzjahr für RCP2.6 höher als für RCP8.5. Die sehr hohe Temperatur (30.9°C) gegen Ende Juli in RCP8.5 wird von keiner besonders hohen Strahlung begleitet (Globalstrahlung 308 W/m², Direktstrahlung normal 289 W/m²). Bereits am nächsten Tag folgt eine deutliche Abkühlung mit tieferen Strahlungswerten. Folglich sind die hohen empfundenen Temperaturen in RCP2.6 gegenüber RCP8.5 zurückzuführen auf eine Kombination der Temperatur und Strahlungswerte. Der Effekt wird dadurch verstärkt, dass in RCP2.6 besonders die Direktstrahlung ab der zweiten Julihälfte grösser ist (**Abbildung 39**, unten links). Gegen Ende August zeigt das Referenzjahr RCP2.6 zwei recht warme aufeinanderfolgende Tage, welche ebenfalls mit hohen Strahlungswerten (insbesondere Direktstrahlung) auftreten. Die hohen empfundenen Temperaturen in RCP2.6 treten zu diesem Zeitpunkt auf (siehe Kapitel 7.3.1.d)).

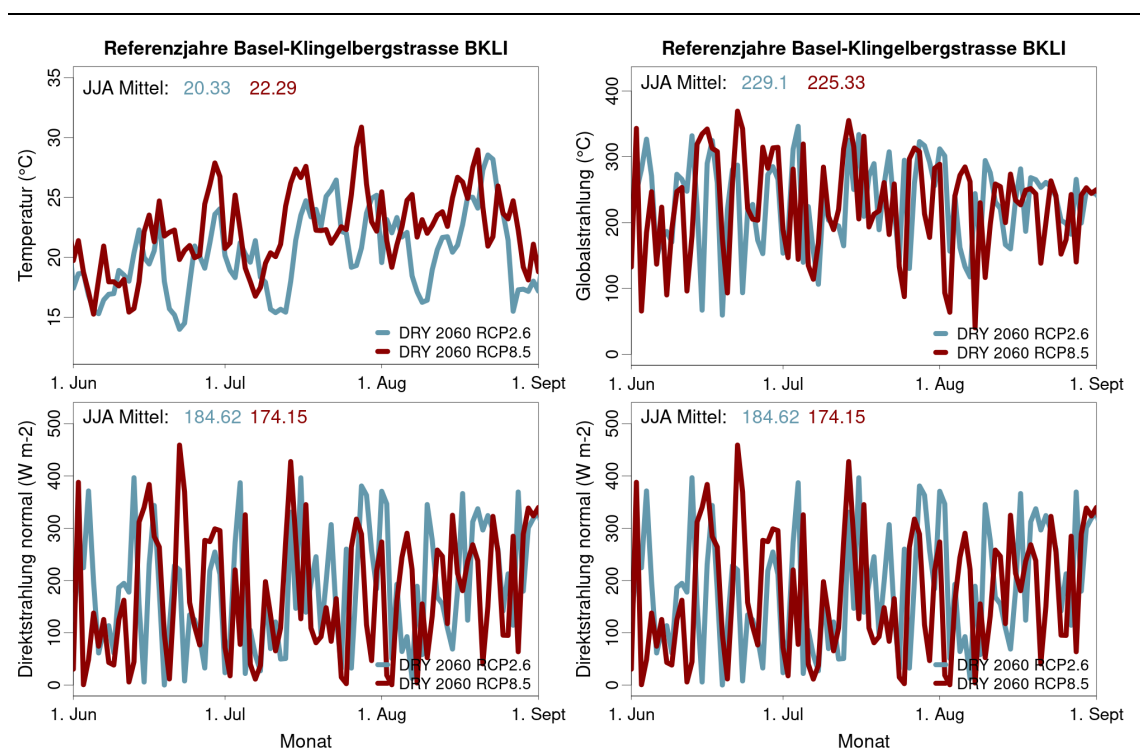


Abbildung 39: Zeitreihe des DRY für Basel-Klingelbergstrasse (BKLI) für den Zeitraum 2060 für die Emissionsszenarien RCP2.6 und RCP8.5. Der Mittelwert über die Monate Juni-August (JJA) ist jeweils oben links angegeben.

Für die Stadtstation in Lausanne unterscheiden sich die über den Sommer gemittelten Temperaturen des «1 in 10» warmen Sommers für RCP2.6 und RCP8.5 deutlich (siehe Werte oben in der linken Grafik in **Abbildung 40**). Jedoch zeigt das Referenzjahr für den «1 in 10» warmen Sommer für RCP2.6 Ende Juli drei aufeinanderfolgende Tage mit hohen stündlichen Maximaltemperaturen (welche gleichzeitig mit hohen Strahlungswerten auftreten). Die Strahlung für die «1 in 10» warmen Sommer ist vergleichbar zwischen RCP2.6 und RCP8.5, allerdings treten für RCP8.5 keine ähnlich hohen Tagesmaximaltemperaturen auf. Für die Tagesmitteltemperaturen sind die Spitzenwerte zwischen den Referenzjahren für RCP2.6 und RCP8.5 vergleichbar. In den Tagesminimaltemperaturen hingen-

gen zeigt RCP8.5 deutlich mehr Tropennächte als RCP2.6, was sich bei der Anzahl Überhitzungsstunden (**Abbildung 27**) zeigt. Folglich ist die «Inkonsistenz» bezüglich der maximal empfundenen Temperatur im Gebäude zurückzuführen auf kurzzeitig sehr hohe Tagesmaximaltemperaturen im «1 in 10» warmen Sommer für RCP2.6.

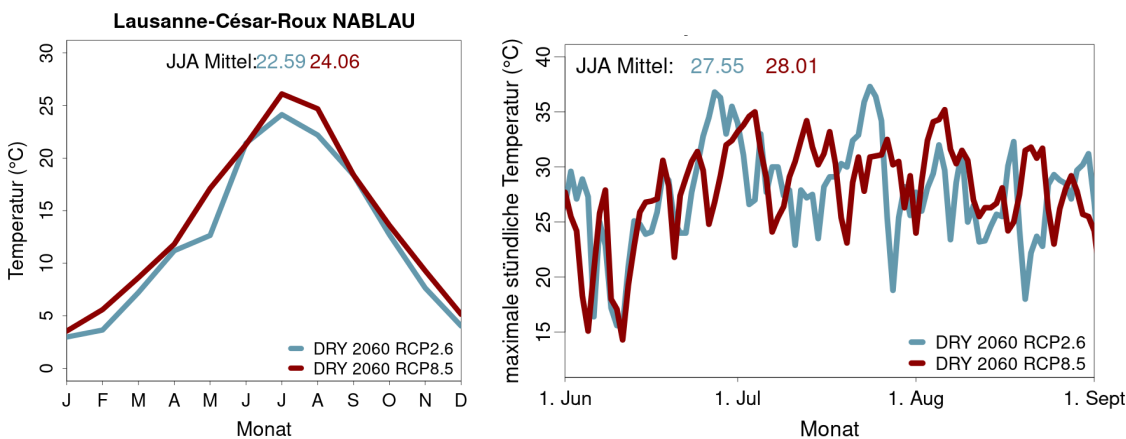


Abbildung 40: Zeitreihe des «1 in 10» warmen Sommers für die Stadtstation in Lausanne (NABLAU) für den Zeitraum 2060 RCP2.6 und RCP8.5. Links ist die monatlich gemittelte Temperatur gezeigt, rechts jeweils die maximale stündliche Temperatur eines Tages. Oben in den Grafiken sind jeweils die über die Monate Juni bis August gemittelten Tages- resp. (stündlichen) Tagesmaximaltemperaturen angegeben.

Mit der gewählten Methode werden die Referenzjahre für jeden Zeitraum und jedes RCP separat bestimmt. Dies führt dazu, dass teilweise Monate aus unterschiedlichen Jahren (im Falle des DRY) resp. unterschiedliche Jahre (im Falle des «1 in 10» warmen Sommers) für die Erstellung der Referenzjahre genutzt werden (d.h. in Basel Juli 1995 für das DRY in 2060 RCP2.6 und Juli 1994 für 2060 RCP8.5 und in Lausanne Juli 1985 für den «1 in 10» warmen Sommer 2060 RCP2.6 und Juli 1995 für RCP8.5). Dies kann dazu führen, dass in einzelnen sensitiven Indikatoren (z.B. Maxima) der Gebäudesimulationen intuitiv «falsche» Resultate erfolgen, also tiefere Indikatorwerte für RCP8.5 als für RCP2.6 liefert. Dies wäre nicht der Fall, hätte man die heutigen DRY durch ein mittleres Klimaänderungssignal in die Zukunft gebracht. Wie weiter oben erwähnt, hätte dieser Ansatz jedoch den Nachteil mit sich gebracht, dass Änderungen in der Häufigkeit und Dauer von Hitzeperioden nicht berücksichtigt worden wären.

8.3 Wetter- vs. Klimadaten

Oben genannte Nachteile wie zum Beispiel der Einfluss einzelner Hitzeereignisse haben nicht nur mit der gewählten Methode, sondern auch mit der Fragestellung selbst zu tun. Es soll hier nochmals erwähnt werden, dass ein (heutiges als auch) zukünftiges typisches Jahr verschiedene Bedingungen zu erfüllen hat: unter anderem soll das gewählte Jahr typisch sein im Sinne davon, dass es die Klimatologie möglichst gut abbilden soll. Andererseits soll es auch realistisch sein, dies heisst reale Wetterphänomene enthalten sowie physikalisch konsistent sein unter den verschiedenen Parametern. Während eine Klimatologie oft durch einen Mittelwert über einen längeren Zeitraum (mind. 30

8 Diskussion

Jahre) bestimmt ist, sollen Referenzjahre einerseits das Klima durch ein einziges Jahr widerspiegeln und andererseits, wie oben erwähnt, realistische Wetterphänomene physikalisch konsistent wiedergeben. Dies führt dazu, dass die erstellten Referenzjahre per Definition eigentlich Wetterdaten wiedergeben und somit auch einzelne zufällige Wetterphänomene enthalten. Die Daten sind, im streng klimatologischen Sinne, somit keine Klimadaten, sondern Wetterdaten, die ein gewisses Klima möglichst gut wiedergeben. Im Falle dieses Projektes kann dies, wie in Kapitel 8.2 erläutert, zu gewissen «Inkonsistenzen» führen, da für denselben Zeitraum 2060 Daten für zwei unterschiedliche Emissionsszenarien zur Verfügung gestellt werden. Dies kann, wie oben erwähnt, für einzelne Indikatoren, welche sehr sensitiv bez. Einzelereignissen sind, zu unerwarteten Ergebnissen führen (z.B. höhere empfundene Temperatur in RCP2.6 als in RCP8.5). Im Allgemeinen zeigen jedoch die allermeisten Indikatoren aus den Gebäudesimulationen wie auch die klimatologischen Analysen, dass die gewählten Referenzjahre das zukünftige Klima auf sehr sinnvolle Art nachbilden und geeignet sind, um zu überprüfen, ob die Gebäude(technik)planung auch unter den Klimaszenarien robust ist.

8.4 Nutzung historischer Jahre

Um das Innenraumklima bei aussergewöhnlichen Ereignissen für das heutige Klima zu untersuchen, werden oftmals auch historische Jahre verwendet. Beispielsweise werden extreme Bedingungen bezüglich der sommerlichen Wärme häufig anhand der Jahre 2003 und 2018 simuliert. Ob dies auch für das zukünftige Klima möglich ist – sprich historische Extremjahre verwendet werden können, um zukünftige Bedingungen abzubilden – muss für den jeweiligen Fall geklärt werden. In einer ersten empirischen Analyse wurden die Jahre 2003 und 2018 für die Station Basel-Binningen mit dem zukünftigen Klima für den Zeitraum 2060 gemäss dem Emissionsszenario RCP8.5 verglichen. Dabei zeigte die Einordnung bezüglich der mittleren Sommertemperatur (Tagesmitteltemperaturen gemittelt über die Monate Juni-August), dass das Jahr 2018 ungefähr im 50%-Quantil (=Median) und das Jahr 2003 im 90%-Quantil der erwarteten Sommertemperaturen für RCP8.5 2060 aus CH2018 liegt. Eine Einordnung bezüglich der Dauer der längsten (jährlichen) Hitzeperiode von 12 Tagen in 2003 und 11 Tagen in 2018 ergab, dass solche Ereignisse etwa im 80%- (2003), respektive 76%-Quantil (2018) liegen (Unsicherheitsbereich der Modellsimulationen vom 43%-93%-Quantil respektive 36%-93%-Quantil). Es ist also insbesondere zu beachten, dass historische Extremjahre im zukünftigen Klima als weniger extrem gelten werden. Ausserdem kann ein einzelnes beobachtetes Jahr nicht das zukünftige Klima in allen Ausprägungen wiedergeben. In 2003 traten neben der langen Hitzeperiode im August bereits im Juni ungewöhnlich hohe Temperaturen auf (Bader, 2004). Das Jahr 2018 war nicht nur bezüglich der Hitze aussergewöhnlich, sondern es wurden auch Rekorde der Sonnenscheindauer gemessen und das Jahr war ausserdem sehr trocken (MeteoSchweiz, 2018). Um die Bedingungen bezüglich verschiedener, für den Gebäudebau relevanten Kriterien zu repräsentieren, wurden bei den DRYs für die Zukunft einzelne Monate ausgewählt und mehrere Kriterien berücksichtigt und bei den Referenzjahren für den «1 in 10» warmen Sommer wurde der Fokus auf die Temperatur im Sommer gelegt. Deswegen sollen, wo möglich, die hier erstellten Referenzjahre verwendet werden, da hier die Einordnung im zukünftigen Klima bekannt ist. Bei der Verwendung von historischen Jahren ist es wichtig, dass zuerst die relevanten Kriterien identifiziert und eingeordnet werden.

8.5 Ausblick

Weitere Ansätze für die Generierung von stündlichen Referenzjahren existieren, so zum Beispiel die direkte Erstellung von stündlichen Klimaszenarien anhand von Klimamodellen oder durch die Nutzung von Wettergeneratoren. Ersteres wird im Projekt CH202x erstmals für die Schweiz explizit erarbeitet, es müssen allerdings noch Methoden erarbeitet werden, Fehler auf stündlicher Basis zu korrigieren. Der zweite Ansatz birgt das Problem der Konsistenz zwischen den Variablen, funktionierende Ansätze sind zum heutigen Zeitpunkt keine bekannt. Zurzeit sind nur Stationsdaten vorhanden und der Planer muss selber entscheiden, welche Station für das lokale Klima seines Gebäudes repräsentativ ist. Eine Erweiterung auf räumliche Referenzjahre (z.B. 1km-Gitter für die Schweiz) könnte dies ersetzen. Hierzu fehlen aktuell aber noch die räumlichen Inputdaten wie Feuchtegitter oder stündliche Temperaturgitter für das heutige Klima.

Die SIA-Normen im Bereich der Bauphysik und der Energie- und Gebäudetechnik enthalten Bezüge zum Merkblatt SIA 2028:2010, arbeiten also auf der Basis historischer Daten. Die Berücksichtigung der im vorliegenden Projekt erarbeiteten Daten wird schrittweise im Rahmen der Revisionen eingeführt. Ein erster Schritt diesbezüglich ist in der (gegenwärtig in der Endphase der Erarbeitung stehenden) Norm SIA 380/2 «Energetische Berechnungen von Gebäuden – Dynamisches Verfahren für Bedarfsabklärungen, Leistungs- und Energiebedarf» (Revision der bisherigen Norm SIA 382/2:2011, mit Elementen aus der Norm SIA 382/1:2014) enthalten. Darin ist ein Hinweis auf die vorhandenen, alternativen Daten und die Anwendungsempfehlung in einem normativen Anhang zur Bedarfsermittlung für die Kühlung enthalten.

Literaturverzeichnis

Bader, S., 2009: Die extreme Sommerhitze im aussergewöhnlichen Witterungsjahr 2003. Arbeitsbericht 200, MeteoSchweiz.

BAFU, 2020: Kenngrössen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz 1990-2018. Bern, Schweiz: Bundesamt für Umwelt, BAFU.

BBR und DWD, 2017: Ortsgenaue Testreferenzjahre von Deutschland für mittlere, extreme und zukünftige Witterungsverhältnisse. Offenbach, Deutschland: Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) und Deutscher Wetterdienst (DWD).

Burgstall, A., 2019: Representing the Urban Heat Island Effect in Future Climates. Scientific Report MeteoSwiss, 105.

CH2011, 2011: Swiss Climate Change Scenarios CH2011. Zurich, Switzerland: published by C2SM, MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and OcCC.

CH2018, 2018: Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report. Zurich: National Centre for Climate Services.

Feigenwinter, I., Kotlarski, S., Casanueva, A., Fischer, A. M., Schwierz, C., und Liniger, M. A., 2018: Exploring quantile mapping as a tool to produce user-tailored climate scenarios for Switzerland. Technical Report MeteoSwiss, 270.

Gehrig, R., König, N., und Scherrer, S., 2018: Städtische Wärmeinseln in der Schweiz - Klimatologische Studie mit Messdaten in fünf Städten. Fachbericht MeteoSchweiz, 273.

Koschenz, Markus; Domingo-Irigoyen, S.; Niffeler, M.; Ragettli, M.; Flückiger, B.; Kafadar, M.; Widmer, C. und Wehrli, K, 2021: ResCool: Klimaanpassung von Neu-, Um- und bestehenden Wohnbauten - effiziente Kühlkonzepte. Im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE und Bundesamtes für Umwelt BAFU, Horw.

MeteoSchweiz, 2018: Klimabulletin Jahr 2018. <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/service-und-publicationen/publikationen.subpage.html/de/data/publications/2019/1/klimabulletin-jahr-2018.html>

NCCS, 2018: CH2018 - Klimaszenarien für die Schweiz. Zürich: National Centre for Climate Services.

Perez, R. R., Ineichen, P., Maxwell, E. L., Seals, R. D., und Zelenka, A., 1991: Dynamic models for hourly global-to-direct irradiance conversion. Pergamon: 1991 Solar World Congress, Proc. 1991 Biennial Congress ISES, Arden/Burley/Coleman Eds., Vol.1/Part II.

Perez, R. R., Ineichen, P., Maxwell, E. L., Seals, R. D., und Zelenka, A., 1992: Dynamic global-to-direct conversion models. ASHRAE Transactions, Research Series.

Ragetti, M. S., Vicedo-Cabrera, A. M., Schindler, C., und Rössli, M., 2017: Exploring the association between heat and mortality in Switzerland between 1995 and 2013. Environmental research, S. 158:703-709. doi:10.1016/j.envres.2017.07.021

Rajczak, J., Kotlarski, S., Salzmann, N., und Schär, C., 2016: Robust climate scenarios for sites with sparse observations: a two-step bias correction approach. International Journal of Climatology (36), S. 1226-1243. doi:1002/joc.4417

Seppänen, O., Fisk, W. J., und Lei, Q. H., 2006: Room Temperature and Productivity in Office Work. Healthy Buildings: Creating a Healthy Indoor Environment for People, Proceedings. <https://escholarship.org/uc/item/9bw3n707>

Settembrini, G., Domingo-Irigoyen, S., Heim, T., Jurt, D. Z., Seerig, A., Zweifel, G., und Menti, U. P., 2017: KlimaBau - Planen angesichts des Klimawandels: Energiebedarf und Behaglichkeit heutiger Wohnbauten bis ins Jahr 2100. Bern, Schweiz: Bundesamt für Energie, Bundesamt für Umwelt (BFE No. SI/501318-01). www.hslu.ch/climabau

Norm SIA 180, 2014: Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden. Zürich, Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA).

Merkblatt SIA 2024, 2015: Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik. Zürich, Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA).

Merkblatt SIA 2024, 2021: Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik. Zürich, Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA).

Norm SIA 382/1, 2014: Lüftungs- und Klimaanlageanlagen - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen. Zürich, Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA).

Norm SIA 382/2, 2011: Klimatisierte Gebäude – Leistungs- und Energiebedarf. Zürich, Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA).

Merkblatt SIA 2028, 2010: Merkblatt SIA 2028 - Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik. Zürich, Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein (SIA).

SN EN ISO 15927-4, 2005: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Gebäuden - Berechnung und Darstellung von Klimadaten - Teil 4: Stündliche Daten zur Abschätzung des Jahresenergiebedarfs für Heiz- und Kühlsysteme (ISO 15927-4:2005). Zürich, Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.

Danksagung

Danksagung

Wir danken allen Projektpartnerinnen und –partnern für die äusserst konstruktive Zusammenarbeit. Zudem möchten wir uns bei den Institutionen, welche uns ihre langjährigen Messungen in Innenstädten für die Nutzung zur Verfügung gestellt haben, bedanken: das Nationale Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe (NABEL), die Universität Basel sowie die Haute École du Paysage, D'ingénierie Et D'architecture De Genève (HEPIA).

Anhang 1: Referenzjahre

A Anhang 1: Referenzjahre

Übersicht Stationen

Folgend werden zusätzliche Informationen zu den Stationen gelistet. Die Tabellen werden im Hauptteil des Berichtes erwähnt.

Tabelle A1: Übersicht zu den Stadtstationen und Umlandstationen, sowie den ausgewerteten Zeiträumen für diese. Üblicherweise wurde der Zeitraum 1981-2010 ausgewertet. Bei kürzeren Messreihen wurde davon abgewichen, die entsprechenden Jahren sind in rot markiert (trifft für alle Stadtstationen zu)

Station	Abkürzung	Geographische Koordinaten	Höhe ü. M. [m]	Lage ¹	Ausgewerteter Zeitraum
Adelboden	ABO	46-30 / 07-34	1320	E	1984-2010
Aigle	AIG	46-20 / 06-55	381	F	1981-2010
Altdorf	ALT	46-52 / 08-38	449	F	1981-2010
Basel-Binningen	BAS	47-33 / 07-35	316	A	1981-2010
Bern-Zollikofen	BER	46-56 / 07-25	565	F*	1981-2010
Buchs-Aarau	BUS	47-23 / 08-05	387	F	1985-2010
Chur	CHU	46-52 / 09-32	555	F	1981-2010
Davos	DAV	46-49 / 09-51	1590	AE	1981-2010
Disentis	DIS	46-42 / 08-51	1190	S	1981-2010
Engelberg	ENG	46-49 / 08-25	1035	S	1983-2010
Genève-Cointrin	GVE	46-15 / 06-08	420	F	1981-2010
Glarus	GLA	47-02 / 09-04	515	T	1981-2010
Grand-St-Bernard	GSB	45-52 / 07-10	2472	P	1982-2010
Güttingen	GUT	47-36 / 09-17	440	F	1981-2010
Interlaken	INT	46-40 / 07-52	580	F	1981-2010
La-Chaux-de-Fonds	CDF	47-05 / 06-48	1019	F	1981-2010
La-Frétaz	FRE	46-50 / 06-35	1202	SE	1981-2010
Locarno-Monti	OTL	46-10 / 08-47	366	S*	1981-2010
Lugano	LUG	46-00 / 08-58	273	U*	1981-2010
Luzern	LUZ	47-02 / 08-18	456	F*	1981-2010
Magadino	MAG	46-10 / 08-53	197	F	1981-2010

Montana	MVE	46-19 / 07-29	1508	S	1981-2010
Neuchâtel	NEU	47-00 / 06-57	485	A*	1981-2010
Payerne	PAY	46-49 / 06-57	490	F	1981-2010
Piotta	PIO	46-31 / 08-41	1007	F	1981-2010
Pully	PUY	46-31 / 06-40	461	S*	1981-2010
Robbia	ROB	46-21 / 10-04	1078	T	1981-2010
Rünenberg	RUE	47-26 / 07-53	610	F	1984-2010
San Bernardino	SBE	46-28 / 09-11	1639	M	1982-2010
St. Gallen	STG	47-26 / 09-24	779	NW	1982-2010
Samedan	SAM	46-32 / 09-53	1705	F	1981-2010
Schaffhausen	SHA	47-41 / 08-37	437	E*	1982-2010
Scuol	SCU	46-48 / 10-17	1298	S	1981-2010
Sion	SIO	46-13 / 07-20	482	F	1981-2010
Ulrichen	ULR	46-30 / 08-19	1345	F	1981-2010
Vaduz	VAD	47-08 / 09-31	460	F	1981-2010
Wynau	WYN	47-15 / 07-47	422	F	1981-2010
Zermatt	ZER	46-02 / 07-45	1638	W	1982-2010
Zürich-Affoltern	REH	47-26 / 08-31	444	F	1981-2010
Zürich-Kloten	KLO	47-29 / 08-32	425	F	1981-2010
Zürich-Fluntern	SMA	47-23 / 08-34	556	S*	1981-2010
Zürich-Kaserne	NABZUE	47-23 / 08-32	409	I	1998-2020
Bern-Bollwerk	NABBER	46-57 / 07-26	536	I	1999-2020
Basel-Klingelbergstrasse	BKLI	47-34 / 07-34	285	I	2003-2020
Lausanne-César-Roux	NABLAU	46-31 / 06-38	538	I	1991-2020

¹Lage:

A = Anhöhe

M = Talabschluss

S = Südhanglage

W = Westhanglage

E = Osthanglage

N = Nordhanglage

T = geneigtes Tal

I = Innenstadt

F = Ebene, flaches Tal

P = Passage

U = Seeufer

* städtische Überbauung / Agglomeration

Anhang 1: Referenzjahre

Tabelle A2: Stadt-Umland Stationspaare und verwendete Zeiträume für die Berechnung des Delta für Stadtstationen.

Stadt	Stadtstation	Umlandstation	Messperiode	Historischer Zeitraum Klimaszenarien
Zürich	NABZUE	SMA	1998-2020	1994-2023
Bern	NABBER	BER	1999-2020	1996-2025
Basel	BKLI	BAS	2003-2020	1997-2026
Lausanne	NABLAU	PUY	1991-2020	1991-2020

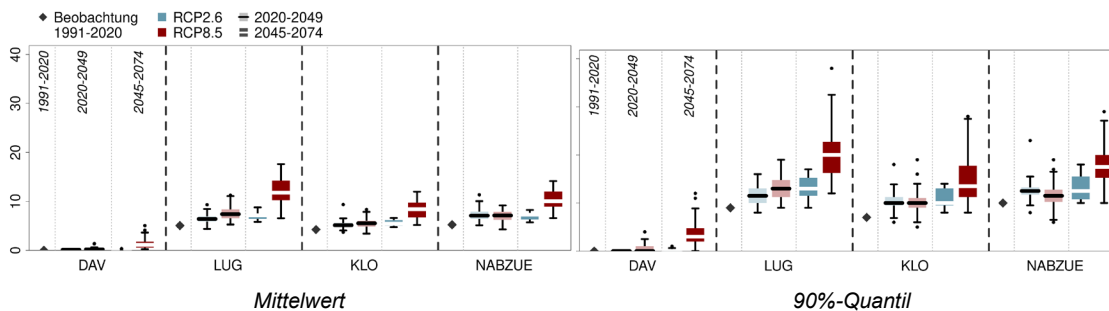
Tabelle A3: Umlandstationen nach Subregion für die Schweiz und Liechtenstein.

Region	Stationen
Mittelland	BAS, BER, BUS, GUT, GVE, KLO, LUZ, NEU, PAY, PUY, REH, RUE, SHA, SMA, STG, WYN
Nordostschweiz	BAS, BER, BUS, GUT, KLO, LUZ, REH, RUE, SHA, SMA, STG, WYN
Westschweiz	GVE, NEU, PAY, PUY
Südschweiz	LUG, MAG, OTL
Voralpen	AIG, ALT, GLA, INT, VAD
Bünden	DAV, DIS, SAM, SCU
Alle	ABO, AIG, ALT, BAS, BER, BUS, CDF, CHU, DAV, DIS, ENG, FRE, GLA, GSB, GUT, GVE, INT, KLO, LUG, LUZ, MAG, MVE, NEU, OTL, PAY, PIO, PUY, REH, ROB, RUE, SAM, SBE, SCU, SHA, SIO, SMA, STG, ULR, VAD, WYN, ZER

Evaluation der Referenzjahre

Folgend werden zusätzliche Abbildung zur Evaluation der Referenzjahre gezeigt. Die Abbildungen sind im Hauptteil des Berichtes erwähnt.

Dauer längstes Hitzeereignis (#Tage)



Anzahl Tropennächte (#Tage)

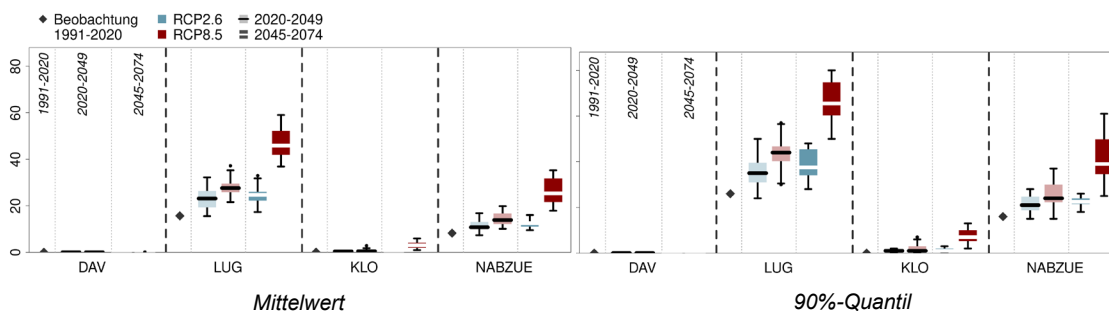


Abbildung A1: Dauer des längsten Hitzeereignisses (oben) und Anzahl Tropennächte (unten) in den Beobachtungen und für zwei zukünftige Zeiträume aus den CH2018 Klimaszenarien. Gezeigt ist der Mittelwert (links) und das 90%-Quantil (rechts) für vier Stationen. Der Boxplot zeigt den Median der Werte der einzelnen Modellketten (dicke Linien, schwarz für den Zeitraum 2020-2049 und weiss für den Zeitraum 2045-2074), den IQR (farbige Rechtecke, blaue Schattierungen für RCP2.6 und rote Schattierungen für RCP8.5) und die minimalen und maximalen Werte bis zur 1,5-fachen Länge der Box ($Q1 - 1.5 \text{ IQR}$, respektive $Q3 + 1.5 \text{ IQR}$; dünne schwarze vertikale und horizontale Linien). Ausreisser sind durch Punkte gekennzeichnet. Für Davos (DAV) treten keine Tropennächte auf.

Anhang 1: Referenzjahre

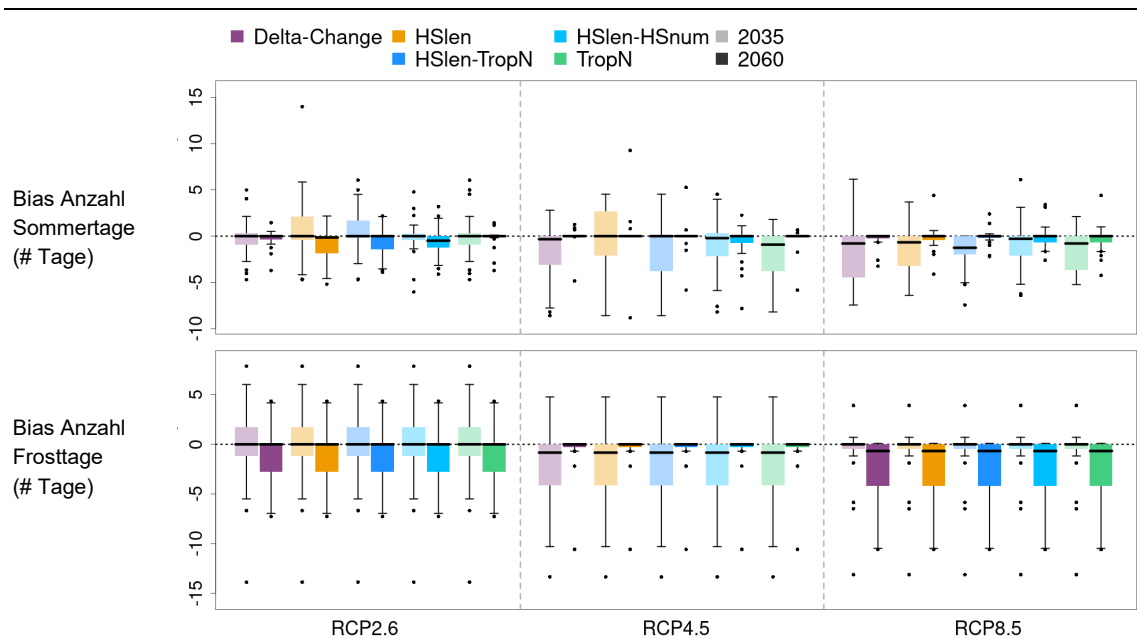


Abbildung A2: Bias der DRY für Stationen im Mittelland bezüglich der Anzahl Sommertage und Anzahl Frosttage. Der Bias für die Anzahl Frosttage ist für alle Varianten gleich, da sich die Auswahlkriterien nur für den Sommer unterscheiden.

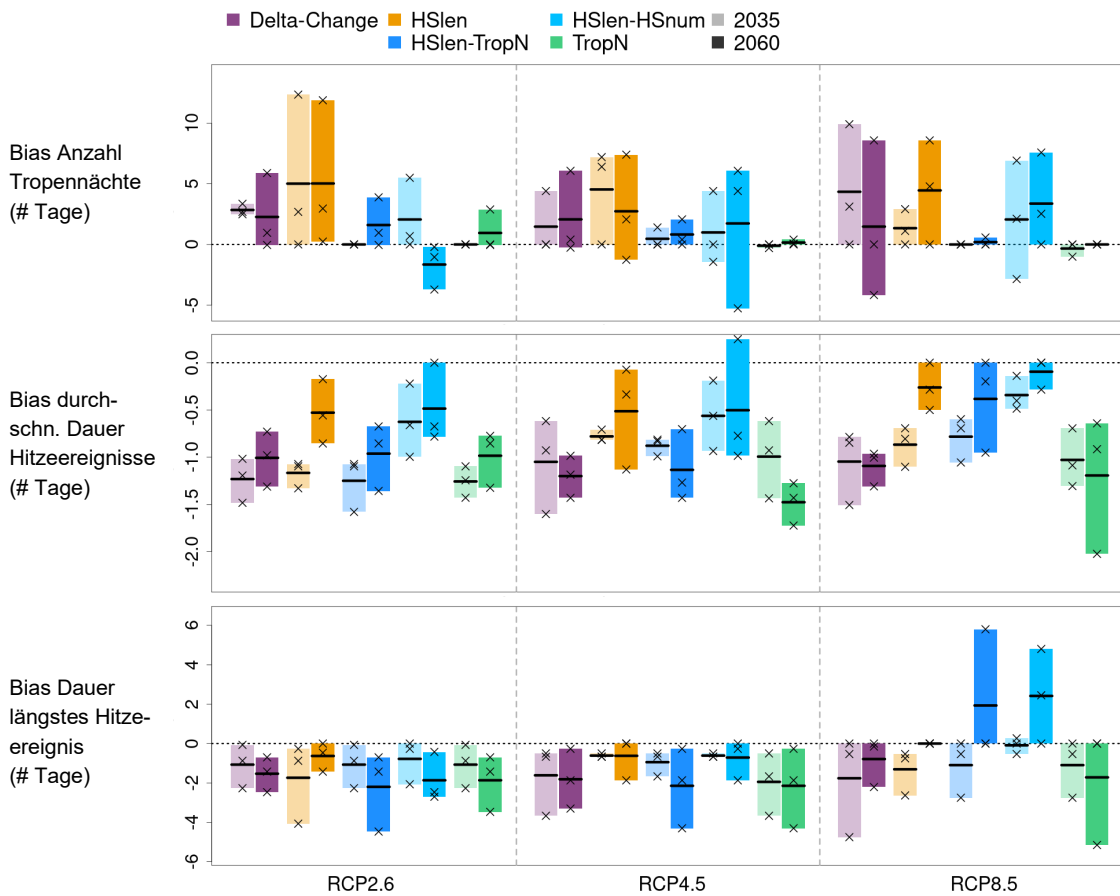


Abbildung A3: Bias der DRY für Stationen in der Südschweiz bezüglich der Anzahl Tropennächte, der durchschnittlichen Dauer von Hitzeereignissen und der Dauer des längsten Hitzeereignisses. Da nur drei Stationen betrachtet werden, wurden die einzelnen Werte mit Kreuzen markiert, die farbigen Rechtecke zeigen den vollen Bereich der Werte für die Stationen und die schwarze horizontale Linie markiert den Mittelwert.

Anhang 1: Referenzjahre

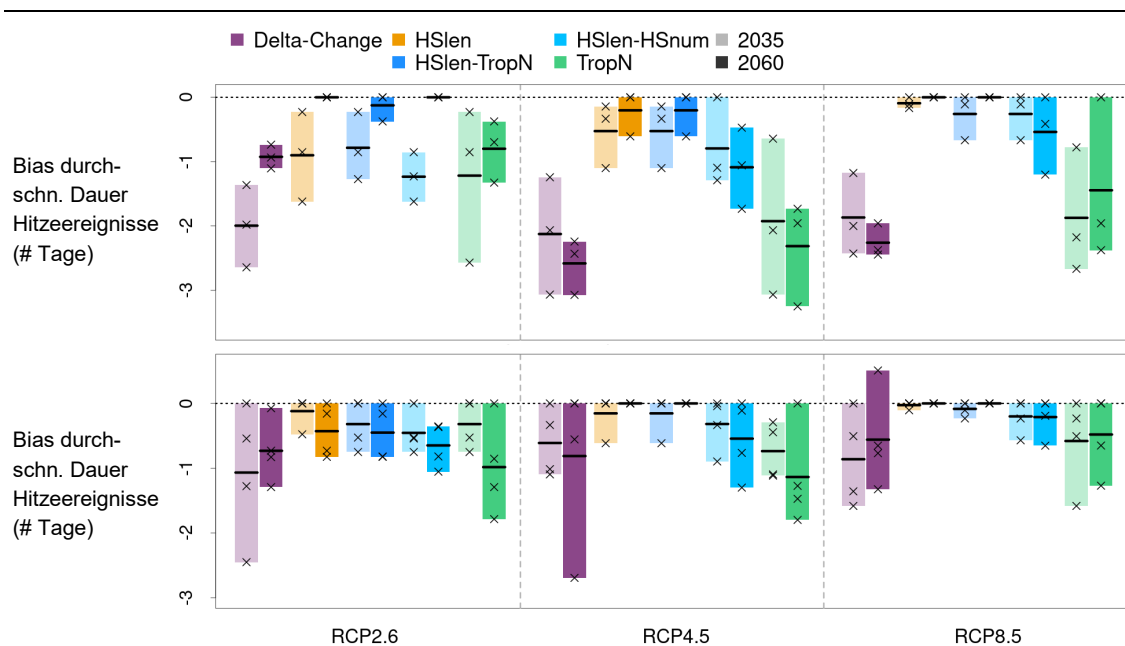


Abbildung A4: Bias des «1 in 10» warmen Sommers bezüglich der durchschnittlichen Dauer von Hitzeereignissen für Stationen in der Südschweiz (oben) und in der Westschweiz (unten). Da nur drei (Südschweiz) respektive fünf (Westschweiz) Stationen betrachtet werden, wurden die einzelnen Werte mit Kreuzen markiert, die farbigen Rechtecke zeigen den vollen Bereich der Werte für die Stationen und die schwarze horizontale Linie markiert den Mittelwert.

Vergleich Umland- und Stadtstationen

Folgend werden weitere Vergleiche der Szenarien und Referenzjahre für Umland- und Stadtstationen gezeigt. Die Abbildungen sind im Hauptteil des Berichtes erwähnt.

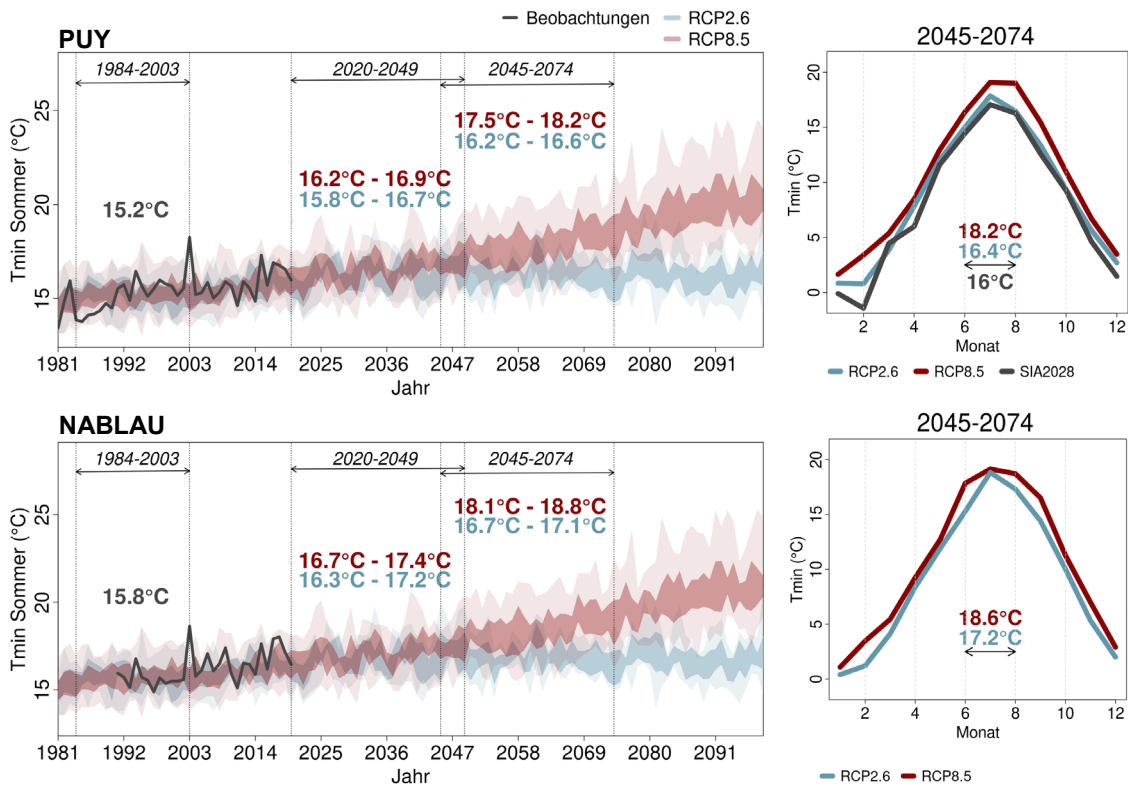


Abbildung A5: Vergleich Umland/Stadt Tagesminimaltemperaturen für Pully (PUY, oben) und Lausanne (NABLAU, unten)

Anhang 1: Referenzjahre

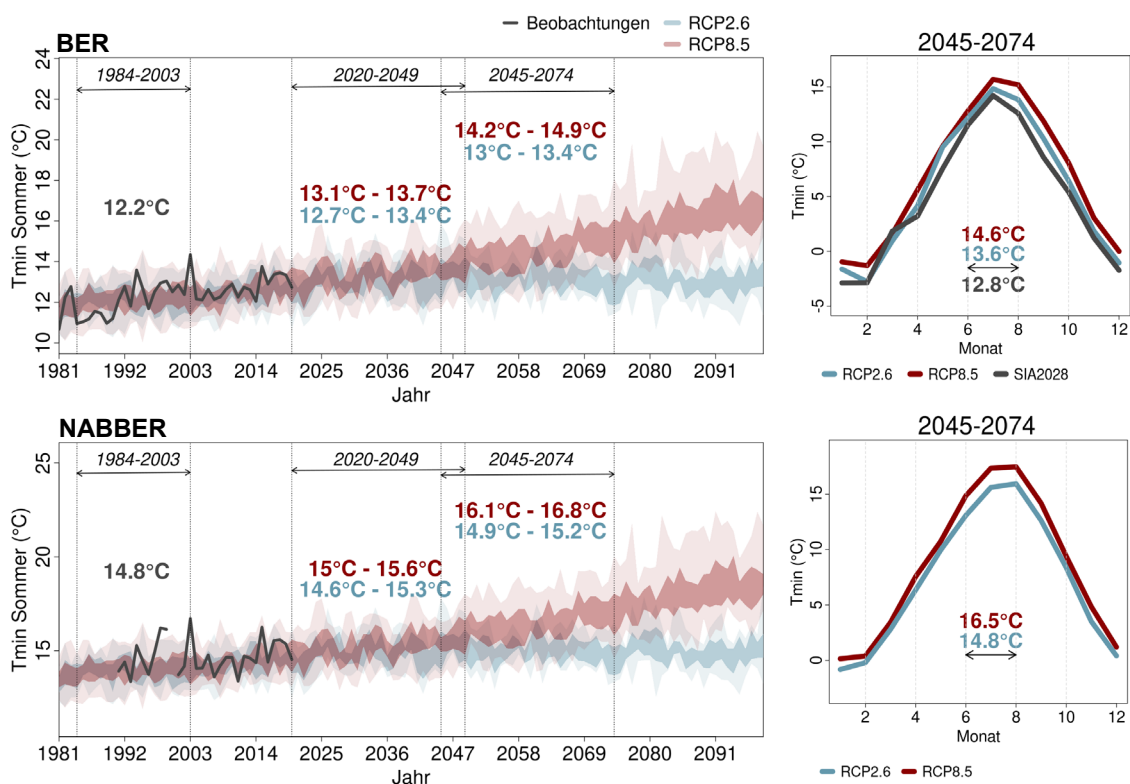


Abbildung A6: Vergleich Umland/Stadt Tagesminimaltemperatur für Bern-Zollikofen (BER, oben) und Bern-Bollwerk (NABBER, unten).

Übersicht gewählte Referenzjahre

In den folgenden Tabellen werden für die erstellten Referenzjahre drei Klimaindikatoren und die mittlere Temperatur der Winter- (DJF) und der Sommermonate (JJA) aufgeführt.

Tabelle A4: Mittlere Temperatur der Sommermonate (JJA) für die erstellten Referenzjahre.

Station	DRY			«1 in 10» warmer Sommer		
	2035 RCP8.5	2060 RCP2.6	2060 RCP8.5	2035 RCP8.5	2060 RCP2.6	2060 RCP8.5
ABO	15.67	15.42	17.69	17.47	16.10	19.02
AIG	19.90	20.01	20.89	20.70	19.92	22.24
ALT	19.55	19.39	20.98	21.34	20.60	23.15
BAS	20.18	19.72	21.63	21.24	20.69	22.75
BER	18.95	18.91	20.33	20.01	20.36	21.62
BUS	19.46	19.36	20.86	19.94	19.95	21.86
CHU	19.71	19.35	21.52	21.11	21.05	22.97
DAV	14.10	13.82	15.95	15.17	14.96	17.73
DIS	16.66	16.27	18.28	18.23	17.70	20.83
ENG	15.68	15.78	17.45	17.12	16.78	19.01
GVE	20.63	19.86	21.98	22.17	21.70	23.23
GLA	18.91	18.55	20.01	19.87	19.65	21.94
GSB	9.60	9.41	11.82	11.65	11.01	13.93
GUT	19.22	18.85	20.22	20.35	19.74	21.82
INT	18.66	18.50	20.08	20.17	19.52	21.70
CDF	15.82	15.16	17.32	17.52	16.98	18.79
FRE	15.18	14.86	16.39	16.69	16.23	18.19
OTL	22.69	22.82	23.70	23.58	23.40	24.91
LUG	22.49	22.19	23.98	23.56	23.14	25.02
LUZ	19.68	19.05	20.85	20.93	20.56	22.88
MAG	22.33	21.64	23.73	22.92	22.90	24.02
MVE	16.02	15.95	17.62	17.64	17.33	19.92
NEU	20.46	19.75	21.90	21.31	21.44	23.17
PAY	19.11	19.29	20.41	20.26	19.83	22.07
PIO	18.15	17.88	19.82	19.08	18.93	20.71
PUY	20.54	20.53	22.00	22.22	21.55	23.00
ROB	17.09	16.83	18.12	17.92	17.71	19.72
RUE	18.83	18.48	20.17	19.97	19.55	22.18
SBE	13.55	13.46	15.24	14.90	14.52	16.98
STG	17.71	17.29	18.89	19.22	19.20	21.07

Anhang 1: Referenzjahre

SAM	12.94	12.94	14.31	14.28	14.09	16.02
SHA	19.67	19.60	20.84	21.10	20.30	22.59
SCU	16.83	17.53	20.02	18.96	19.43	21.02
SIO	20.76	20.68	21.76	22.04	21.37	23.35
ULR	15.08	15.00	16.82	16.57	16.05	18.04
VAD	20.00	19.67	21.45	21.37	20.90	22.96
WYN	19.02	18.48	20.01	20.17	19.83	21.06
ZER	14.36	14.37	16.76	16.67	16.33	18.77
REH	19.26	18.96	20.56	20.29	20.26	21.81
KLO	19.26	18.83	20.27	20.17	20.22	22.22
SMA	19.12	18.97	20.53	20.49	20.36	22.23
NABZUE	21.37	20.93	22.59	22.91	21.53	24.43
NABBER	20.32	19.80	21.75	21.88	21.69	23.55
BKLI	20.44	20.33	22.29	21.56	21.28	24.11
NABLAU	21.31	21.27	22.46	22.85	22.59	24.06

Tabelle A5: Mittlere Temperatur der Wintermonate (DJF) für die erstellten Referenzjahre.

Station	DRY		
	2035 RCP8.5	2060 RCP2.6	2060 RCP8.5
ABO	0.89	0.71	2.12
AIG	4.03	3.83	5.29
ALT	3.77	3.87	5.03
BAS	4.51	4.41	5.72
BER	3.19	3.25	4.07
BUS	3.54	2.87	4.61
CHU	2.89	2.85	4.24
DAV	-2.59	-2.59	-1.01
DIS	1.84	1.53	2.93
ENG	0.29	0.16	1.91
GVE	4.66	4.91	5.68
GLA	2.52	2.81	3.74
GSB	-4.68	-4.83	-3.45
GUT	3.27	3.63	4.07
INT	2.48	2.31	3.33
CDF	1.17	0.72	2.59
FRE	0.99	0.96	2.16
OTL	6.16	5.94	7.12
LUG	6.55	6.29	7.45
LUZ	3.76	3.69	4.64
MAG	4.62	4.42	5.74
MVE	0.73	0.45	1.86
NEU	4.23	4.19	5.30
PAY	3.38	3.30	4.49
PIO	1.76	1.32	2.50
PUY	4.97	5.39	6.12
ROB	1.19	0.89	2.48
RUE	3.27	3.41	4.59
SBE	-0.77	-0.89	0.57
STG	3.03	2.63	3.71
SAM	-5.40	-5.24	-4.11
SHA	3.37	3.50	4.32
SCU	-1.52	-2.02	-0.19
SIO	2.85	2.32	4.48

Anhang 1: Referenzjahre

ULR	-3.30	-3.57	-1.85
VAD	4.26	3.51	5.09
WYN	2.91	2.77	3.75
ZER	-1.63	-2.18	-0.73
REH	3.42	3.40	4.26
KLO	2.88	3.34	4.34
SMA	3.64	3.54	4.46
NABZUE	4.56	5.37	5.47
NABBER	3.87	3.59	4.89
BKLI	5.31	5.12	6.43
NABLAU	5.16	4.86	5.96

Tabelle A6: Anzahl Hitzetage für die erstellten Referenzjahre.

Station	DRY			«1 in 10» warmer Sommer		
	2035 RCP8.5	2060 RCP2.6	2060 RCP8.5	2035 RCP8.5	2060 RCP2.6	2060 RCP8.5
ABO	0	0	2	3	1	5
AIG	10	10	15	15	11	33
ALT	7	6	17	21	17	37
BAS	16	8	21	24	25	35
BER	9	6	20	20	21	28
BUS	13	16	27	20	25	34
CHU	14	15	32	31	31	50
DAV	0	0	0	0	0	9
DIS	2	2	7	9	6	17
ENG	0	0	0	6	2	11
GVE	22	18	29	34	33	50
GLA	8	4	13	16	13	31
GSB	0	0	0	0	0	0
GUT	7	5	16	17	15	27
INT	3	5	18	18	17	25
CDF	2	0	1	8	1	8
FRE	0	0	1	0	0	1
OTL	15	23	33	32	44	53
LUG	14	11	34	22	27	52
LUZ	9	7	23	19	16	32
MAG	20	17	39	36	35	57
MVE	0	0	3	1	1	13
NEU	10	6	21	19	19	29
PAY	10	9	20	22	22	33
PIO	0	0	9	3	3	21
PUY	5	7	17	20	10	29
ROB	3	3	6	3	2	14
RUE	5	4	9	13	4	25
SBE	0	0	0	0	0	0
STG	1	2	4	4	4	12
SAM	0	0	0	0	0	9
SHA	13	10	21	23	18	38
SCU	11	12	29	29	27	36
SIO	30	21	34	35	31	67

Anhang 1: Referenzjahre

ULR	0	1	4	5	4	7
VAD	11	8	26	23	20	44
WYN	13	8	22	22	18	34
ZER	0	0	3	1	0	13
REH	11	5	19	27	19	34
KLO	9	7	19	18	18	32
SMA	6	6	19	16	16	34
NABZUE	18	17	29	33	28	42
NABBER	19	15	24	24	22	41
BKLI	12	13	22	27	26	41
NABLAU	12	12	18	23	26	37

Tabelle A7: Anzahl Tropennächte für die erstellten Referenzjahre.

Station	DRY			«1 in 10» warmer Sommer		
	2035 RCP8.5	2060 RCP2.6	2060 RCP8.5	2035 RCP8.5	2060 RCP2.6	2060 RCP8.5
ABO	0	0	0	1	0	5
AIG	2	2	4	3	3	21
ALT	4	5	11	13	8	40
BAS	3	1	18	12	11	29
BER	0	0	3	1	0	15
BUS	0	0	6	2	1	8
CHU	4	2	15	4	4	27
DAV	0	0	0	0	0	0
DIS	1	0	0	0	0	8
ENG	0	0	1	3	0	4
GVE	2	6	10	13	10	31
GLA	2	0	5	1	1	23
GSB	0	0	0	0	0	0
GUT	0	0	6	1	1	18
INT	0	0	4	3	0	12
CDF	0	0	0	2	0	1
FRE	1	0	2	4	0	8
OTL	33	36	51	39	41	65
LUG	27	29	61	41	40	75
LUZ	2	0	5	6	5	28
MAG	18	17	37	29	26	42
MVE	0	0	1	1	0	4
NEU	9	1	24	22	26	37
PAY	1	0	1	1	2	14
PIO	0	0	2	0	0	3
PUY	13	12	27	22	24	55
ROB	0	0	0	0	0	1
RUE	2	0	9	15	3	33
SBE	0	0	0	0	0	0
STG	2	1	4	6	6	17
SAM	0	0	0	0	0	0
SHA	2	0	8	5	2	15
SCU	0	0	2	0	0	3
SIO	0	1	6	4	4	14

Anhang 1: Referenzjahre

ULR	0	0	0	0	0	0
VAD	7	7	21	12	12	37
WYN	0	0	4	0	0	8
ZER	0	0	0	0	0	0
REH	0	0	8	4	0	11
KLO	0	0	1	0	0	10
SMA	3	1	8	7	7	27
NABZUE	14	19	30	23	30	41
NABBER	7	5	18	8	12	26
BKLI	9	9	28	22	19	39
NABLAU	18	17	40	36	27	58

Tabelle A8: Anzahl Frosttage für die erstellten Referenzjahre.

Station	DRY		
	2035 RCP8.5	2060 RCP2.6	2060 RCP8.5
ABO	113	116	90
AIG	51	52	38
ALT	55	55	39
BAS	40	46	33
BER	69	70	55
BUS	57	61	35
CHU	72	71	53
DAV	165	154	141
DIS	97	95	87
ENG	97	104	81
GVE	50	52	36
GLA	66	61	55
GSB	206	202	186
GUT	63	56	38
INT	75	78	68
CDF	106	101	85
FRE	99	97	79
OTL	6	8	3
LUG	5	12	2
LUZ	47	62	38
MAG	51	57	41
MVE	119	121	89
NEU	27	42	19
PAY	67	70	44
PIO	89	95	83
PUY	27	28	23
ROB	117	118	84
RUE	53	55	43
SBE	152	158	129
STG	67	63	49
SAM	205	200	178
SHA	63	57	47
SCU	142	144	119
SIO	70	77	54

Anhang 1: Referenzjahre

ULR	163	164	146
VAD	49	63	34
WYN	56	65	48
ZER	160	151	136
REH	64	63	45
KLO	78	71	50
SMA	49	49	36
NABZUE	36	33	26
NABBER	53	49	41
BKLI	28	34	18
NABLAU	26	37	23

Anhang 2: Gebäudesimulationen

B Anhang 2: Gebäudesimulationen

Spezifikationen Wohngebäude

Sonnenschutz

Es wird folgender äusserer Sonnenschutz eingesetzt:

Aussenliegender Sonnenschutz Fassadenmarkise Stoff:

Windwiderstandsklasse:

Windstabil bis 40 km/h

Abminderungsfaktor g-Wert

0.22

Abminderungsfaktor g-Wert Total (g-Glas = 0.6)

0.15

Abminderungsfaktor T und Tvis:

0.72

Sonnenschutzregelung siehe **Abbildung B1**

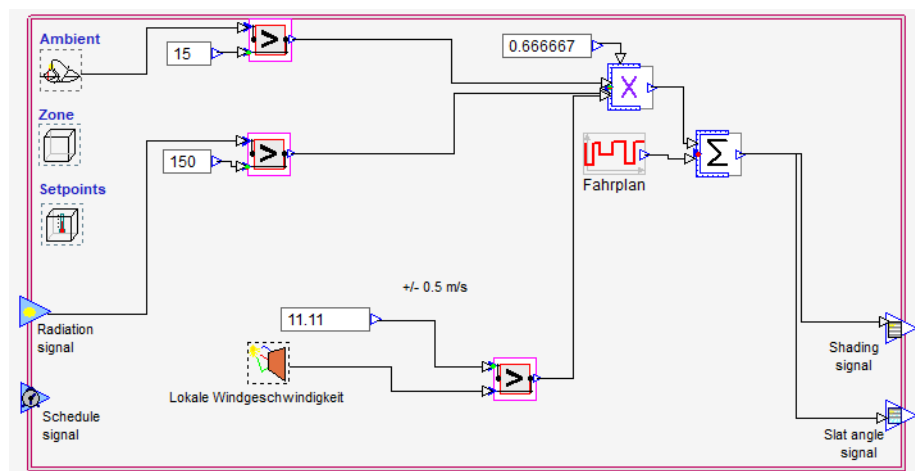


Abbildung B1: Sonnenschutzregelung Wohngebäude. Fahrplan Ausgang Sommer vom 16.4. bis 15.10. ist 0.

Verschattung

Verschattung Horizont: keine

Verschattung durch drei umliegende Bauten und Balkone gemäss Skizze in **Abbildung B2:**

- 2 Gebäude Südost: Höhe 15 m,
- 1 Gebäude Südwest: Höhe 18.6 m,
- 3 Balkone integriert pro Etage 2.4 x 4.6 bis 5.1 m

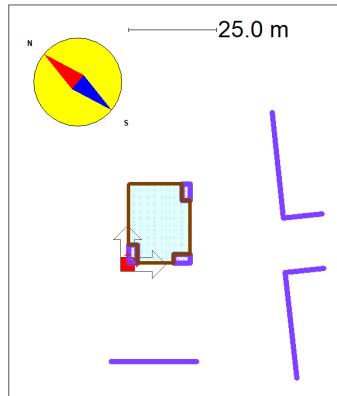


Abbildung B2: Skizze umliegende Bauten und Balkone des Wohngebäudes

Fensterflächen:

Fensteranteil: 53 % (NW 37.9%, NO 58.7%, SO 64.2%, SW 53.9%)

Fensteröffnungen:

Feste Zeiten der möglichen Öffnung, wenn die Raumlufttemperatur zu warm ist (siehe **Abbildung B3**):

6:00 – 7:00 Uhr und 18:00 bis 22:00 Uhr, Öffnung max. 100%

Während der Fensteröffnung wird der Kühlsollwert von 26 °C auf 22 °C gesenkt.

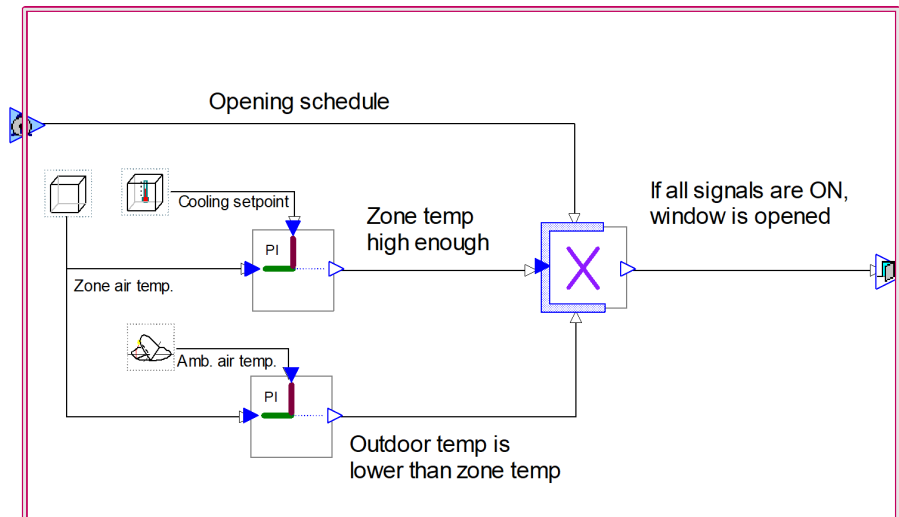


Abbildung B3: Fensteröffnungsregelung Wohngebäude

Anhang 2: Gebäudesimulationen

Spezifikationen Bürogebäude, Schulgebäude

Fensterflächen:

- a) Bei einer Aussenwand: 50% Glasanteil der Fassadeninnenfläche (SIA Standard)
25% Rahmenanteil von Fensterfläche (SIA Standard)
- b) Bei zwei Aussenwänden: je 50% Glasanteil bei 25% Rahmenanteil (nicht SIA Standard)

Fensteröffnungen:

- a) Bei einer Aussenwand: Büro: 2 x 2.5% Fenster der Bodenfläche, Öffnung 100%
Schule: 2 x 2.5% Fenster der Bodenfläche, Öffnung 50%
- b) Bei zwei Aussenwänden: Büro: 2 x 2.5% und 1 x 2.5% Fenster der Bodenfläche, Öffnung 100%
Schule: 2 x 2.5% und 1 x 2.5% Fenster der Bodenfläche, Öffnung 50%

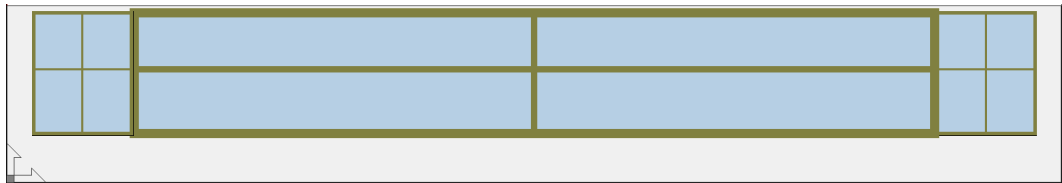


Abbildung B4: Aussenwand mit Fensterband und seitlichen Lüftungsflügel (Höhe Wand 3 m, Brüstung 0.8 m, Fensterhöhe 2.1 m)

Fensteröffnungsregelung:

Regelung gemäss **Abbildung B5**. Fahrplan Sommer: 16.4. bis 15.10., Fahrplan Tagesnutzung: nach Nutzung Gebäude

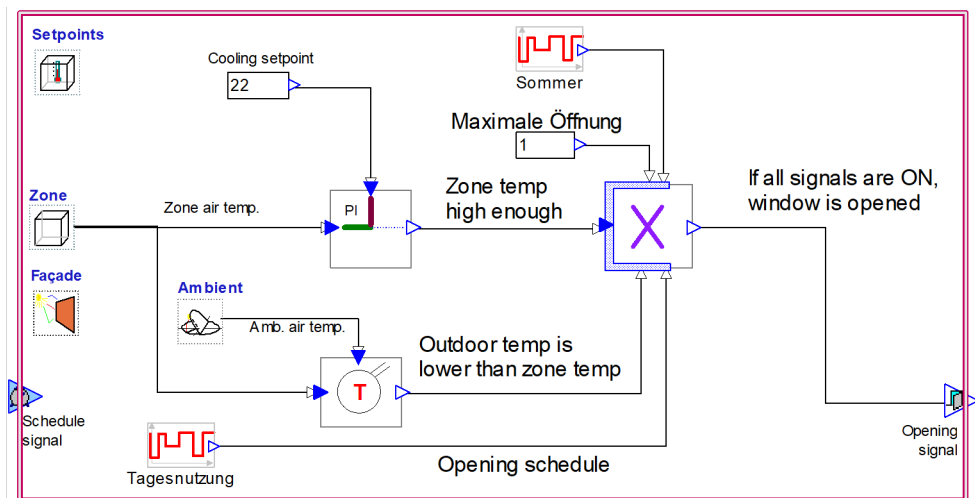


Abbildung B5: Fensteröffnungsregelung Bürogebäude/Schulgebäude

Sonnenschutz

Sonnenschutzregelung gemäss **Abbildung B6**.

Es wird folgender äusserer Sonnenschutz eingesetzt:

Aussenliegender Sonnenschutz bei jedem Fenster als RAF-Storen:

Windwiderstandsklasse:	6 (92 km/h) bis 3 m Breite
Abminderungsfaktor g-Wert	0.23
Abminderungsfaktor g-Wert Total (g-Glas = 0.6)	0.138
Abminderungsfaktor T und Tvis:	0.1
Sonnenschutzregelung:	SIA 180:2014 Anhang C.3

Fahrplan Sommer: 16.4. bis 15.10.

Fahrplan Tagesnutzung: nach Nutzung Gebäude.

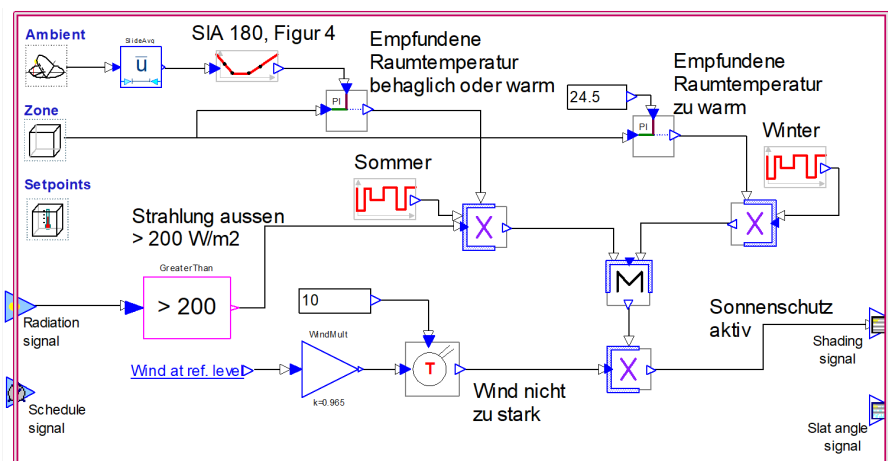


Abbildung B6: Sonnenschutzregelung Bürogebäude/Schulgebäude

Verschattung

Verschattung umliegende Bauten: keine (freistehend)

Verschattung Horizont: keine

Konstruktionen

Die Konstruktionen entsprechen beim Bürogebäude und beim Schulgebäude den Grenzwerten der Tabelle 3 prSIA 380/2:2021

Anhang 2: Gebäudesimulationen

Aussenwand (Büro, Schule)

Der Aufbau erfolgt von innen nach aussen

Tabelle B1: Aufbau Aussenwand Büro/Schule

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Innenputz	0.7	1400	1000	0.015
Modulbackstein	0.44	1100	940	0.15
Polystyrol expandiert (EPS)	0.033	30	1450	0.15
Aussenputz	0.87	1800	1000	0.015
Summe				0.33
U-Wert	[W/m ² K]			0.2

Aussenwand gegen Erdreich (Büro, Schule)

Der Aufbau erfolgt von innen nach aussen

Tabelle B2: Aufbau Aussenwand gegen Erdreich Büro/Schule

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Beton armiert mit 2% Stahl	2.5	2400	1000	0.25
Polystyrol extrudiert (XPS)	0.033	33	142	0.1
Summe				0.35
U-Wert	[W/m ² K]			0.3

Dach (Büro, Schule)

Der Aufbau erfolgt von aussen nach innen.

Tabelle B3: Aufbau Dach Büro/Schule

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Erdreich Sand und Kies	2.0	2000	1050	0.1
Polystyrol expandiert (EPS)	0.034	30	1450	0.16
Beton armiert mit 2% Stahl	2.5	2400	1000	0.25
Innenputz	0.7	1400	1000	0.015
Summe				0.525
U-Wert	[W/m ² K]			0.2

Dach, abgehängter Decke (bei Korridor 100%, Büro 50 % der Fläche) (Büro, Schule)

Der Aufbau erfolgt von aussen nach innen.

Tabelle B4: Aufbau Dach, abgehängter Decke Büro/Schule

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Erdreich Sand und Kies	2.0	2000	1050	0.1
Polystyrol expandiert (EPS)	0.034	30	1450	0.16
Beton armiert mit 2% Stahl	2.5	2400	1000	0.25
Luftschicht Wärmestrom aufwärts	1.875	1.23	1008	0.25
Akustic EP1	0.032	70	1030	0.02
Summe				0.78
U-Wert	[W/m ² K]			0.17

Boden gegen Erdreich (Büro, Schule)

Der Aufbau erfolgt von oben nach unten

Tabelle B5: Aufbau Boden gegen Erdreich Büro/Schule

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Linoleum	1.7	1200	1400	0.01
Zementmörtel	1.5	2200	1000	0.06
Beton armiert mit 2% Stahl	2.5	2400	1000	0.25
Polystyrol extrudiert (XPS)	0.034	34	1450	0.1
Summe				0.42
U-Wert	[W/m ² K]			0.3

Anhang 2: Gebäudesimulationen

Zwischendecke Büros (50% der Fläche) (Büro, Schule)

Der Aufbau erfolgt von oben nach unten

Tabelle B6: Aufbau Zwischendecke Büros (50% der Fläche) Büro/Schule

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Linoleum	1.7	1200	1400	0.01
Zementmörtel	1.5	2200	1000	0.06
Polystyrol expandiert (EPS)	0.033	30	1450	0.02
Steinwolle	0.036	100	1030	0.02
Beton armiert mit 2% Stahl	2.5	2400	1000	0.25
Innenputz	0.7	1400	1000	0.015
Summe				0.375
U-Wert	[W/m ² K]			0.64

Zwischendecke Korridor 100%, Büro 50% der Fläche (Büro, Schule)

Der Aufbau erfolgt von oben nach unten

Tabelle B7: Aufbau Zwischendecke Korridor 100%, Büro 50% der Fläche Büro/Schule

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Linoleum	1.7	1200	1400	0.01
Zementmörtel	1.5	2200	1000	0.06
Polystyrol expandiert (EPS)	0.033	30	1450	0.02
Steinwolle	0.036	100	1030	0.02
Beton armiert mit 2% Stahl	2.5	2400	1000	0.25
Luftschicht Wärmestrom aufwärts	1.875	1.23	1008	0.25
Akustic EP1	0.032	70	1030	0.02
Summe				0.63
U-Wert	[W/m ² K]			0.43

Zwischendecke gegen unconditioniert (Keller) (Büro, Schule)

Der Aufbau erfolgt von oben nach unten.

Tabelle B8: Aufbau Zwischendecke gegen unconditioniert Büro/Schule

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Linoleum	1.7	1200	1400	0.01
Zementmörtel	1.5	2200	1000	0.06
Polystyrol expandiert (EPS)	0.033	30	1450	0.02
Steinwolle	0.036	100	1030	0.02
Beton armiert mit 2% Stahl	2.5	2400	1000	0.25
Polystyrol expandiert (EPS)	0.033	30	1450	0.08
Innenputz	0.7	1400	1000	0.015
Summe				0.455
U-Wert	[W/m ² K]			0.3

Innenwand nicht tragend (Büro, Schule)

homogen

Tabelle B9: Aufbau Innenwand nicht tragend Büro/Schule

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Gipskarton	0.25	900	1000	0.015
Glaswolle / Metallständer	0.035	30	1030	0.1
Gipskarton	0.25	900	1000	0.015
Summe				0.13
U-Wert	[W/m ² K]			0.3

Innenwand tragend (Büro, Schule)

homogen

Tabelle B10: Aufbau Innenwand tragend Büro/Schule

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Innenputz	0.7	1400	1000	0.015
Beton armiert mit 2% Stahl	2.5	2400	1000	0.2
Innenputz	0.7	1400	1000	0.015
Summe				0.23
U-Wert	[W/m ² K]			2.7

Anhang 2: Gebäudesimulationen

Aussenwand gegen Erdreich (Wohngebäude)

Der Aufbau erfolgt von innen nach aussen.

Tabelle B11: Aufbau Aussenwand gegen Erdreich Wohngebäude

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Innenputz	0.7	1400	1000	0.015
Modulbackstein	0.17	750	1000	0.175
Polystyrol expandiert (EPS)	0.03	18	1450	0.16
Aussenputz	0.86	1800	1000	0.015
Summe				0.365
U-Wert	[W/m ² K]			0.15

Dach (Wohngebäude)

Der Aufbau erfolgt von aussen nach innen.

Tabelle B12: Aufbau Dach Wohngebäude

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Swisspor PUR Premium	0.02	30	1400	0.120
Beton armiert mit 2% Stahl	2.500	2400	1000	0.260
Innenputz	0.700	1400	1000	0.015
Summe				0.395
U-Wert	[W/m ² K]			0.16

Boden gegen Erdreich (Wohngebäude)

Der Aufbau erfolgt von oben nach unten

Tabelle B13: Aufbau Boden gegen Erdreich Wohngebäude

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Isover	0.032	80	1030	0.04
Beton armiert mit 2% Stahl	2.5	2400	1000	0.24
Swisspor PIR	0.023	35	1400	0.12
Summe				0.40
U-Wert	[W/m ² K]			0.15

Zwischendecke (Wohngebäude)

Der Aufbau erfolgt von oben nach unten

Tabelle B14: Aufbau Zwischendecke Wohngebäude

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Klebparkett	0.17	780	1700	0.015
Anhydritunterlagsboden (Bodenheizung)	1.2	2000	1000	0.075
Isover PS 81	0.032	80	1030	0.020
EPS	0.033	20	1450	0.020
Beton armiert mit 2% Stahl	2.500	2400	1000	0.260
Summe				0.39
U-Wert	[W/m ² K]			0.58

Zwischendecke gegen unkoditioniert (Keller) (Wohngebäude)

Der Aufbau erfolgt von oben nach unten

Tabelle B15: Aufbau Zwischendecke gegen unkoditioniert (Keller) Wohngebäude

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Klebparkett	0.17	780	1700	0.015
Anhydritunterlagsboden (Bodenheizung)	1.2	2000	1000	0.075
Isover PS 81	0.032	80	1030	0.020
Swisspor PUR Alu	0.023	35	1400	0.100
Beton armiert mit 2% Stahl	2.500	2400	1000	0.240
Summe				0.450
U-Wert	[W/m ² K]			0.18

Anhang 2: Gebäudesimulationen

Innenwand 1 (Wohngebäude)

homogen

Tabelle B16: Aufbau Innenwand 1 Wohngebäude

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Gipskartonplatte	0.25	900	1000	0.026
Luftspalt	0.17	1.2	1006	0.029
Leichte Isolierung	0.036	20	750	0.040
Luftspalt	0.17	1.2	1006	0.062
Gipskartonplatte	0.25	900	1000	0.026
Summe				0.183
U-Wert	[W/m ² K]			0.47

Innenwand 2 (Wohngebäude)

homogen

Tabelle B17: Aufbau Innenwand 2 Wohngebäude

Bezeichnung	λ [W/mK]	Dichte [kg/m ³]	c_p [J/kgK]	Dicke [m]
Gipskartonplatte	0.250	900	1000	0.013
Luftspalt	0.170	1.2	1006	0.032
Leichte Isolierung	0.036	20	750	0.040
Gipskartonplatte	0.250	900	1000	0.026
Luftkammer	0.170	1.2	1006	0.028
Gipskartonplatte	0.250	900	1000	0.026
Leichte Isolierung	0.036	20	750	0.040
Luftspalt	0.170	1.2	1006	0.032
Gipskartonplatte	0.250	900	1000	0.013
Summe				0.183
U-Wert	[W/m ² K]			0.47

Fenster

Es wird von einer Verglasung gemäss **Tabelle B18** ausgegangen.

Tabelle B18: Verglasung Wohngebäude, Bürogebäude und Schulgebäude













Bezeichnung	Gebäude Wohngebäude	Bürogebäude/ Schulgebäude	Einheit
U-Wert Glas (Dreifachverglasung)	0.7	0.74	W/(m ² K)
U-Wert Rahmen (inkl. allen Wärmebrücken)	1.1	1.5	W/(m ² K)
Leibungstiefe	0.2	0.2	m
Rahmenanteil	15	25	%
g-Wert	0.51	0.6	-
τ -solar	0.42	0.51	-
τ -visibel	0.71	0.7	-

Anhang 2: Gebäudesimulationen

Wärmebrücken

In der Simulation werden die Wärmebrücken gemäss **Tabelle B19** berücksichtigt.

Tabelle B19: Wärmebrücken Wohnen, Büro und Schule

Wärmebrücke	Gebäude	Wohngebäude	Bürogebäude/ Schulgebäude	Einheit	Bild
Aussenboden / Aussenwand		0.02	0.058	W/(m K)	
Aussenwand / Innenwand		0	0.028	W/(m K)	
Aussenwand / Aussenwand		0.04	0.075	W/(m K)	
Einfassung Aussenfenster		0.12	0.2	W/(m K)	
Einfassung Aussentür		0.12	0.2	W/(m K)	
Dach / Aussenwand		0.01	0.068	W/(m K)	
Aussenwand / Zwischendecke		0.02	0.077	W/(m K)	
Balkonplatte / Aussenwand		0.28	0	W/(m K)	
Aussenboden / Innenwand		0.05	0.027	W/(m K)	
Dach / Innenwand		0	0.026	W/(m K)	
Aussenwand / Aussenwand (einspringende Ecke)		-0.8	-0.075	W/(m K)	
Gebäudehülle (Flächenzuschlag zur Gebäudehülle)		0	0	W/(m² K)	

Heizung

In den Berechnungen wird ein Heizgerät mit genügend Leistung verwendet.

Warmwasser

Kein Warmwasser.

Klimaaggregat

Bei den Varianten mit Kühlung wird ein Kühlgerät mit genügend Leistung verwendet.

Lüftungsanlage

Aussenluftvolumenstrom	Summe der einzelnen Zonen
Wärmerückgewinnung	Büro- und Schulgebäude: 70 % (Standard Merkblatt SIA 2024:2021) Wohngebäude: 85 %
Max. Zulufttemperatur	- °C (kein Luftherhitzer, kein Luftkühler)
Min. Zulufttemperatur	- °C (kein Luftherhitzer, kein Luftkühler)
Betriebszeiten	Büro, Schule: gemäss Nutzung mit 2 h vor- und 2 h Nachlauf Wohngebäude: dauernd ein

Anhang 2: Gebäudesimulationen

Regelung

Temperaturregelung in jeder Zone mit PI Regelung der Raumlufttemperatur

Für die Berechnungen werden folgende Nutzungen in den Zonen verwendet:

Grossraumbüro (Merkblatt SIA 2024:2021)

Personen

Personenfläche: 10 m²/P
Aktivität: 1.2 met
Bekleidung: 1.0 clo Winter, 0.5 clo Sommer

Geräte

Leistung: 15 W/m²
LW Strahlungsanteil: 0.2

Beleuchtung

Leistung 9.8 W/m²
Konvektiver Anteil: 30%
Regelung: Sollwert und Zeitplan

Lüftung

Aussenluftvolumenstrom: 2.5 m³/(hm²) (360 m³/h)
Zulufttemperatur: - Sommer; - Winter (kein Luftherhitzer oder Luftkühler)
Steuerung: KVS-geregelt
Wärmerückgewinnung 70 %
Nachtauskühlung Basisversion keine, sonst Aussenluftvolumenstrom

Heizung

System: ideale Heizung
Leistung: doppelte Normheizlast gemäss SIA 2024:2021 => 2 x 12.6 = 25.2 W/m²

Kühlung

System: ideale Kühlung
Leistung: doppelte Normkühllast gemäss SIA 2024:2021 => 2 x 37.6 = 75.2 W/m²

Raumluft Sollwerte

Sommer: 26 °C
Winter: 21 °C

Raumfeuchte

Sollwert: - r.F.

Natürliche Infiltration

Aussenluft-Volumenstrom: 0.15 m³/(hm²) (Bezogen auf die Bodenfläche)

Einzel-, Gruppenbüro (Merkblatt SIA 2024:2021)*Personen*

Personenfläche:	14 m ² /P
Aktivität:	1.2 met
Bekleidung:	1.0 clo Winter, 0.5 clo Sommer

Geräte

Leistung:	11 W/m ²
LW Strahlungsanteil:	0.2

Beleuchtung

Leistung	12.5 W/m ²
Konvektiver Anteil:	30%
Regelung:	Sollwert und Zeitplan

Lüftung

Aussenluftvolumenstrom:	1.8 m ³ /(hm ²) (65 m ³ /h)
Zulufttemperatur:	- Sommer; - Winter (kein Luftherhitzer oder Luftkühler)
Steuerung:	KVS-geregelt
Wärmerückgewinnung	70 %
Nachtauskühlung	Basisversion keine, sonst Aussenluftvolumenstrom

Heizung

System:	ideale Heizung
Leistung:	doppelte Normheizlast gemäss SIA 2024:2021 => 2 x 19.8 = 39.6 W/m ²

Kühlung

System:	ideale Kühlung
Leistung:	doppelte Normkühllast gemäss SIA 2024:2021 => 2 x 45.4 = 90.8 W/m ²

Raumluft Sollwerte

Sommer:	26 °C
Winter:	21 °C

Raumfeuchte

Sollwert:	- r.F.
-----------	--------

Natürliche Infiltration

Aussenluft-Volumenstrom:	0.15 m ³ /(hm ²) (Bezogen auf die Bodenfläche)
--------------------------	---

Anhang 2: Gebäudesimulationen

Verkehrsfläche (12.01: Merkblatt SIA 2024:2021) (Büro, Schule)

Personen

Belegung:	0
Aktivität:	1.2 met
Bekleidung:	1.0 clo Winter, 0.5 clo Sommer

Geräte

Leistung:	0 W/m ²
-----------	--------------------

Beleuchtung

Leistung	3.5 W/m ²
Konvektiver Anteil:	30%
Regelung:	Sollwert und Zeitplan

Lüftung

Aussenluftvolumenstrom:	0.5 m ³ /(hm ²) (54 m ³ /h)
Zulufttemperatur:	- Sommer; - Winter (kein Luftherhitzer oder Luftkühler)
Steuerung:	1-stufig (KVS)
Wärmerückgewinnung	70 %
Nachtauskühlung	Basisversion keine, sonst Aussenluftvolumenstrom

Heizung

System:	doppelte Normheizlast gemäss SIA 2024:2021 => 2 x 7 = 14 W/m ²
---------	---

Kühlung

System:	keine Kühlung
Leistung:	0 W/m ²

Raumluft Sollwerte

Sommer:	- °C
Winter:	21 °C

Nachtauskühlung

Fensterlüftung	keine
----------------	-------

Natürliche Infiltration

Aussenluft-Volumenstrom:	0.15 m ³ /(hm ²) (bezogen auf die Bodenfläche)
--------------------------	---

Wohnen Mehrfamilienhaus (Merkblatt SIA 2024:2015)*Personen*

Personenfläche:	30 m ² /P
Aktivität:	1.2 met
Bekleidung:	1.0 clo Winter, 0.5 clo Sommer

Geräte

Leistung:	8 W/m ²
LW Strahlungsanteil:	0.2

Beleuchtung

Leistung	2.7 W/m ²
Konvektiver Anteil:	30%
Regelung:	Sollwert und Zeitplan

Lüftung

Aussenluftvolumenstrom:	1.0 m ³ /(hm ²) (360 m ³ /h)
Zulufttemperatur:	- Sommer; - Winter (kein Luftherhitzer oder Luftkühler)
Steuerung:	KVS-geregelt
Wärmerückgewinnung	85 %
Nachtauskühlung	Fensterlüftung 6:00 – 7:00 Uhr und 18:00 – 22:00 Uhr

Heizung

System:	ideale Heizung
Leistung:	200 W/m ²

Kühlung

System:	ideale Kühlung Die Kühlung ist im Winter (16.10. bis 15.4.) gesperrt
Leistung:	200 W/m ²

Raumluft Sollwerte

Sommer:	26 °C
Winter:	21 °C

Raumfeuchte

Sollwert:	- r.F.
-----------	--------

Natürliche Infiltration

Aussenluft-Volumenstrom:	0.15 m ³ /(hm ²) (bezogen auf die Bodenfläche)
--------------------------	---

Anhang 2: Gebäudesimulationen

Verkehrsfläche (Merkblatt SIA 2024:2015)

Personen

Belegung:	32 m ² /P
Aktivität:	1.2 met
Bekleidung:	1.0 clo Winter, 0.5 clo Sommer

Geräte

Leistung:	0 W/m ²
-----------	--------------------

Beleuchtung

Leistung	7.0 W/m ²
Konvektiver Anteil:	30%
Regelung:	Sollwert und Zeitplan

Lüftung

Aussenluftvolumenstrom:	keine mechanische Lüftung
-------------------------	---------------------------

Heizung

System:	200 W/m ²
---------	----------------------

Kühlung

System:	keine Kühlung
Leistung:	0 W/m ²

Raumluft Sollwerte

Sommer:	- °C
Winter:	21 °C

Nachtauskühlung

Fensterlüftung	keine
----------------	-------

Natürliche Infiltration

Aussenluft-Volumenstrom:	0.15 m ³ /(hm ²) (bezogen auf die Bodenfläche)
--------------------------	---

Untergeschoss*Personen*

Belegung: 0
 Nettogeschossfläche /Person 0 m²

Geräte

Leistung: 0 W/m²

Beleuchtung

Leistung 0 W/m²

Lüftung

Aussenluftvolumenstrom: 0 m³

Heizung

System: ohne Heizung

Kühlung

System: ohne Kühlung

Raumluft Sollwerte

Sommer: - °C

Winter: - °C

Nachtauskühlung

Fensterlüftung keine

Natürliche Infiltration

Aussenluft-Volumenstrom: 0.15 m³/(hm²) (bezogen auf die Bodenfläche)

Anhang 2: Gebäudesimulationen

Zeitpläne

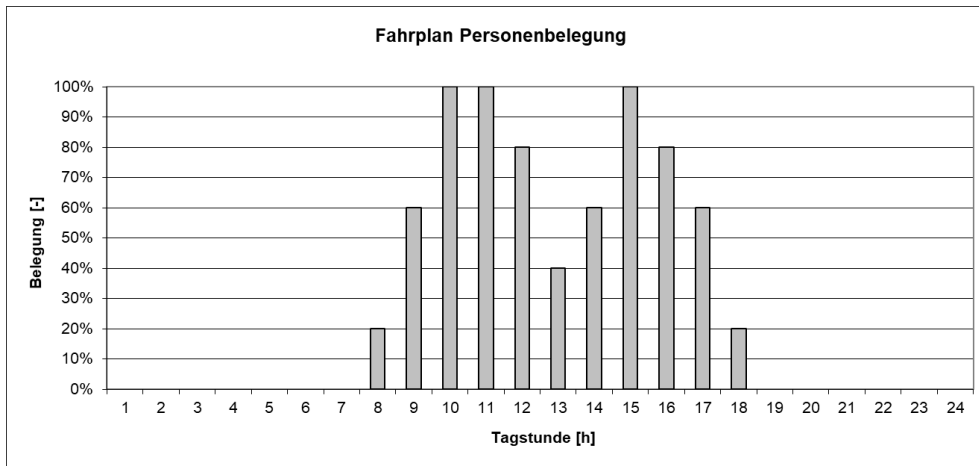


Abbildung B7: Personenprofil Einzel-, Gruppenbüro, Grossraumbüro

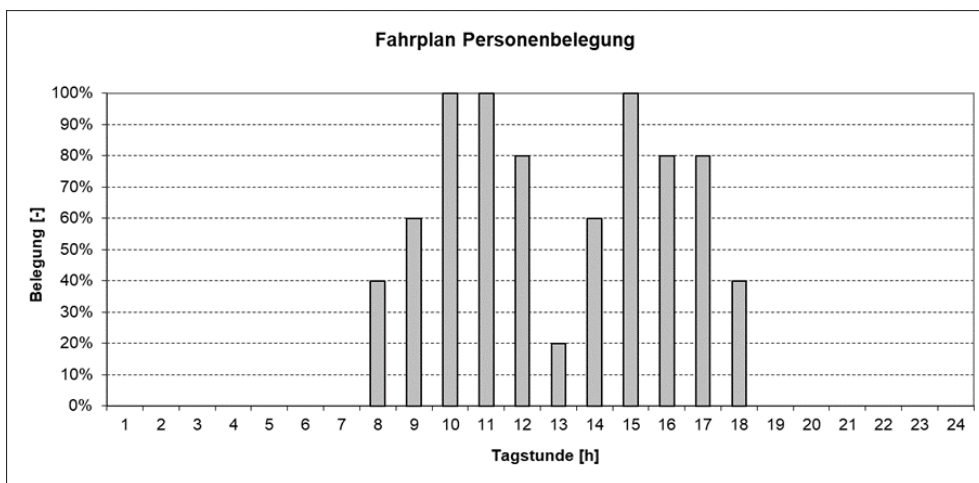


Abbildung B8: Personenprofil Schulzimmer

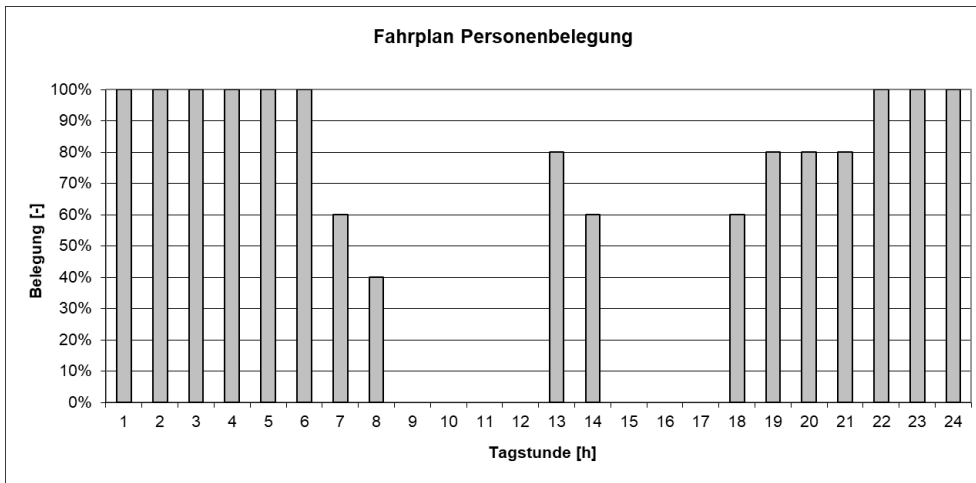


Abbildung B9: Personenprofil Wohngebäude

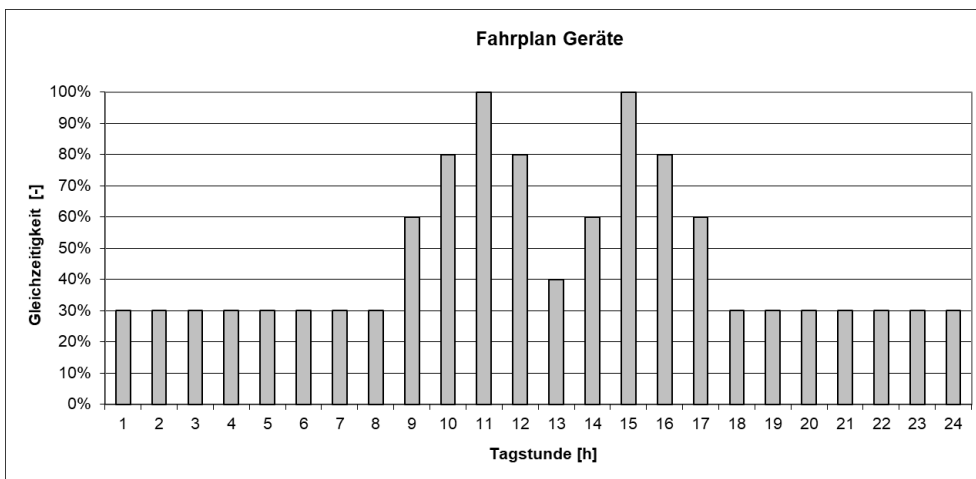


Abbildung B10: Geräteprofil Einzel-, Gruppenbüro, Grossraumbüro

Anhang 2: Gebäudesimulationen

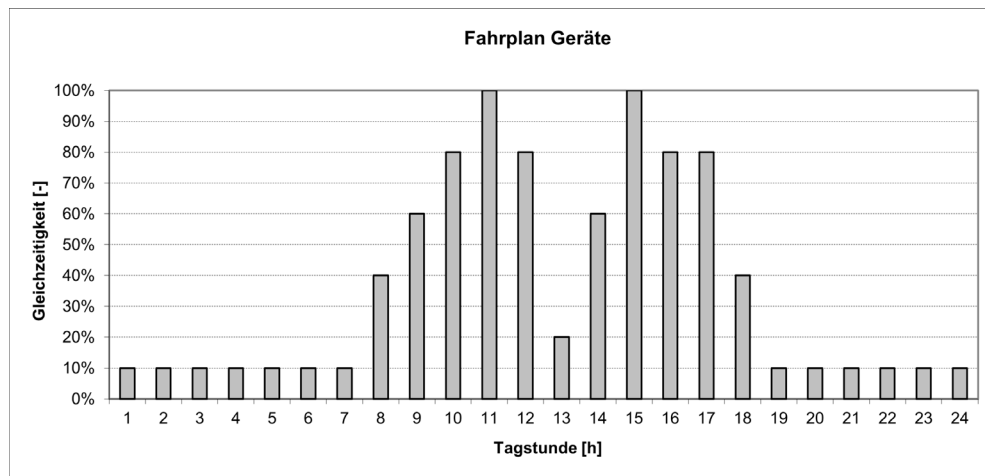


Abbildung B11: Geräteprofil Schulzimmer

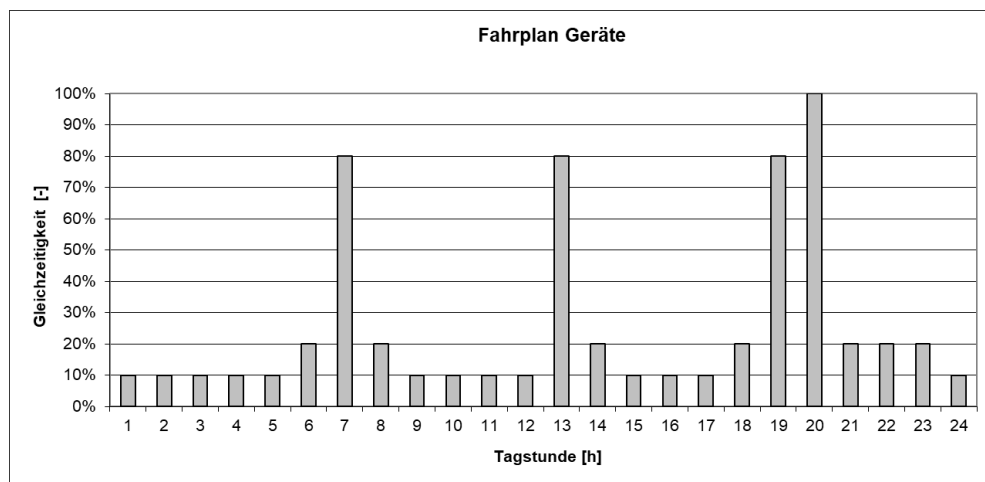


Abbildung B12: Geräteprofil Wohngebäude

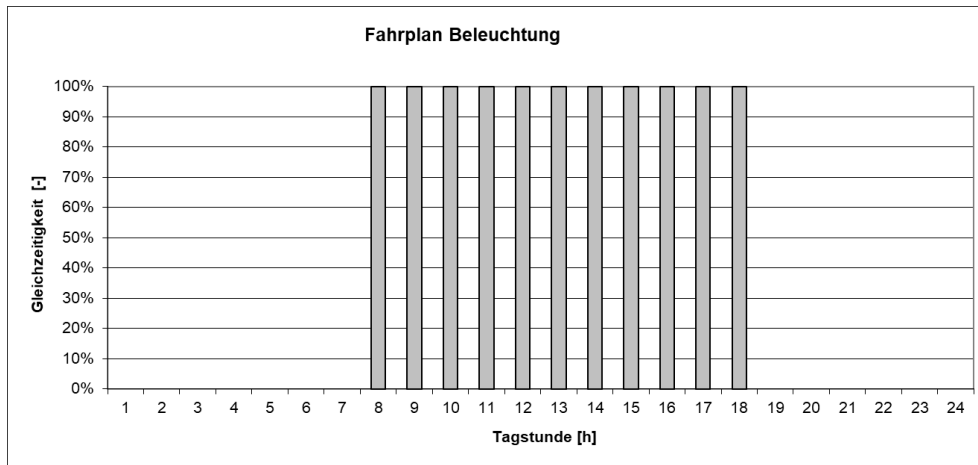


Abbildung B13: Zeitplan Beleuchtung: Geräteprofil Einzel-, Gruppenbüro, Grossraumbüro, Erschliessung (Mo – Fr, (Sa und So nicht belegt))

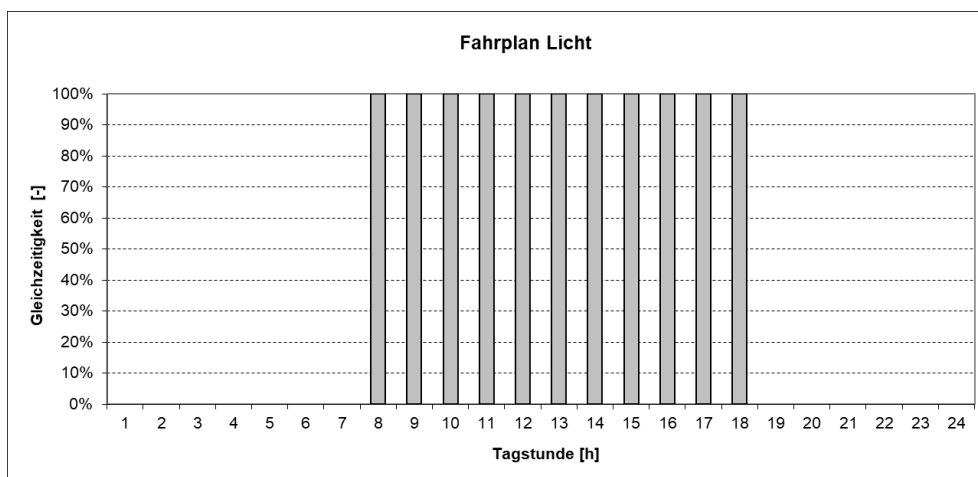


Abbildung B14: Zeitplan Beleuchtung: Schulzimmer

Anhang 2: Gebäudesimulationen

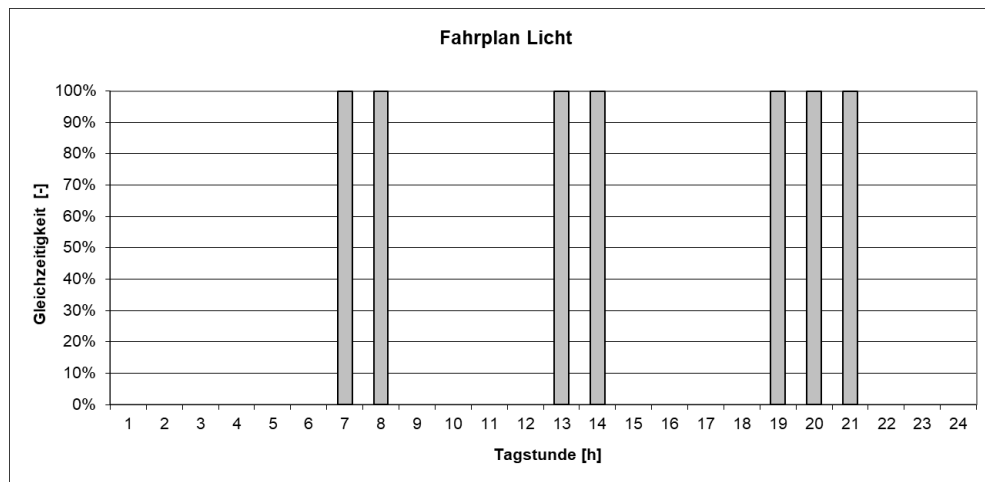


Abbildung B15: Zeitplan Beleuchtung: Wohngebäude

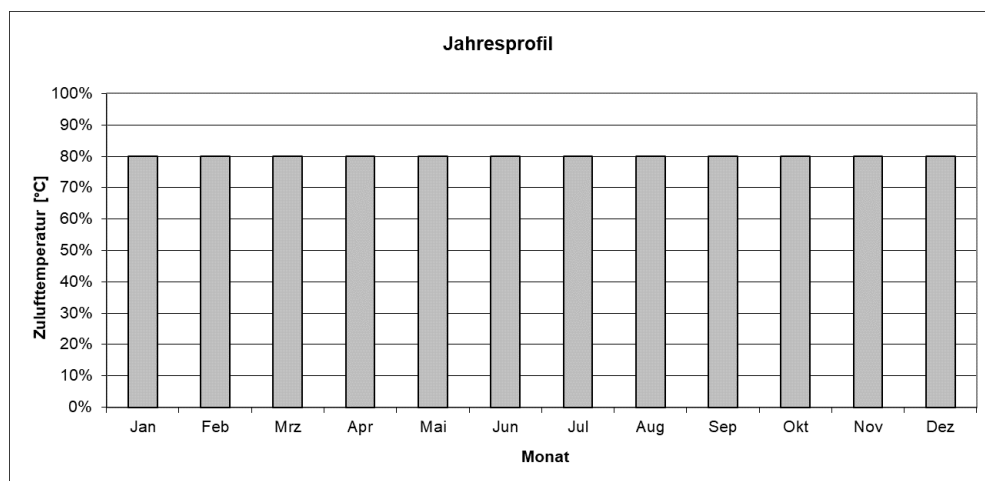


Abbildung B16: Jahresprofil : Geräte und Personenprofil der Zonen Einzel-, Gruppenbüro, Grossraumbüro, Erschliessung

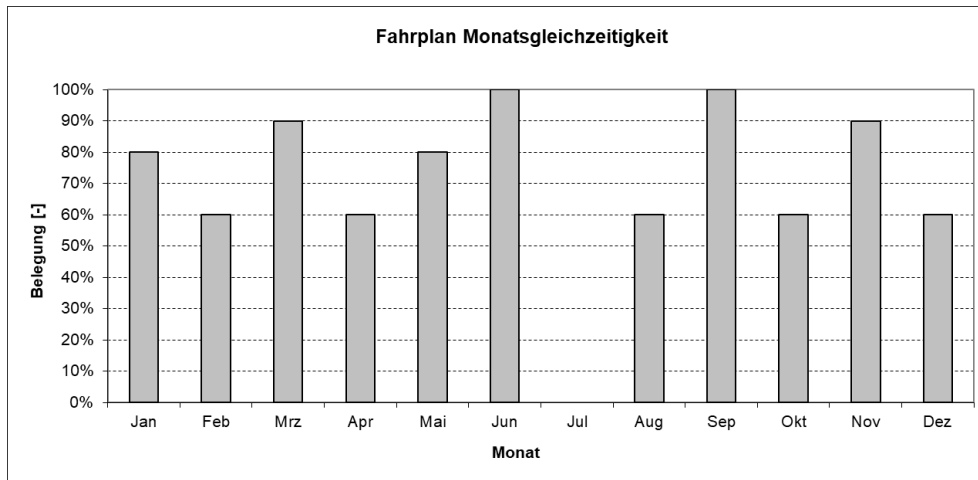


Abbildung B17: Jahresprofil: Geräte und Personenprofil der Zonen im Schulgebäude

Anhang 2: Gebäudesimulationen

Durchgeführte Simulationen

In der Tabelle gemäss **Abbildung B18** sind alle durchgeführten Simulationen aufgeführt. In diesem Bericht sind die Ergebnisse der grün markierten Felder in Kapitel 7.3 aufgeführt.

Version	Variante	NAK	RCP	Typ	Wohnen								Büro				Schule				Summe		
					Kloten	Davos	Lugano	Zürich	Basel	Lausanne	Bern	Kloten	Zürich	Davos	Lugano	Kloten	Zürich	Davos	Lugano				
2035 V1.2	1	RCP 2.6	Energie & Leistung	1	1	1														3			
			Komfort	1	1	1															3		
			RCP 8.5	Energie & Leistung	1	1	1															3	
2060 V1.2	1	RCP 2.6	Energie & Leistung	1	1	1															3		
			Komfort	1	1	1																3	
			RCP 8.5	Energie & Leistung	1	1	1															3	
2060 V1.3	median	1	RCP 2.6	Energie & Leistung	1	1	1					1		1	1	1		1	1	9			
			Komfort	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9		
			RCP 8.5	Energie & Leistung	1	1	1				1		1	1	1	1	1	1	1	1	9		
		Komfort	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9		
		0	RCP 2.6	Energie & Leistung									1		1	1	1		1	1	6		
			Komfort									1		1	1	1		1	1	6			
	RCP 8.5		Energie & Leistung								1		1	1	1		1	1	6				
	1 in 10	1	RCP 2.6	Energie & Leistung	1	1	1					1		1	1	1		1	1	6			
				Komfort	1	1	1					1		1	1	1		1	1	9			
				RCP 8.5	Energie & Leistung	1	1	1				1		1	1	1	1		1	1	5		
		Komfort	1	1	1				1		1	1	1	1	1		1	1	9				
		0	RCP 2.6	Energie & Leistung									1		1	1	1		1	1	6		
Komfort											1		1	1	1		1	1	6				
RCP 8.5	Energie & Leistung									1		1	1	1		1	1	6					
extreme	1	RCP 2.6	Energie & Leistung	1	1	1														3			
			Komfort	1	1	1															3		
			RCP 8.5	Energie & Leistung	1	1	1														3		
	Komfort	1	1	1																3			
	UHI 2060 V2.0	median	1	RCP 2.6	Energie & Leistung																0		
				Komfort																		4	
RCP 8.5				Energie & Leistung																	0		
Komfort																					4		
0			RCP 2.6	Energie & Leistung																		0	
			Komfort																			0	
	RCP 8.5	Energie & Leistung																		0			
1 in 10	1	RCP 2.6	Energie & Leistung																		0		
			Komfort																			5	
			RCP 8.5	Energie & Leistung																		0	
	Komfort																			5			
	0	RCP 2.6	Energie & Leistung																		0		
		Komfort																			0		
RCP 8.5		Energie & Leistung																		0			
extreme	1	RCP 2.6	Energie & Leistung																		0		
			Komfort																		0		
			RCP 8.5	Energie & Leistung																		0	
	Komfort																			0			
	SIA 2028	historisch	0	RCP 2.6	Energie & Leistung																	0	
				Komfort																			6
RCP 8.5				Energie & Leistung	1	1	1						1		1	1	1		1	1	9		
Komfort			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13		
VS			RCP 2.6	Energie & Leistung																			1
			Komfort																				2
	RCP 8.5	Energie & Leistung	1	1	1																2		
Summe					19	18	19	7	7	7	7	21	2	16	16	20		16	16	191			
Total Simulationen					191																		

Abbildung B18: Durchgeführte Simulationen

MeteoSchweiz
Operation Center 1
CH-8044 Zürich-Flughafen
T +41 58 460 99 99
www.meteoschweiz.ch

MeteoSvizzera
Via ai Monti 146
CH-6605 Locarno Monti
T +41 58 460 97 77
www.meteosvizzera.ch

MétéoSuisse
7bis, av. de la Paix
CH-1211 Genève 2
T +41 58 460 98 88
www.meteosuisse.ch

MétéoSuisse
Chemin de l'Aérogologie
CH-1530 Payerne
T +41 58 460 94 44
www.meteosuisse.ch

