



Schlussbericht vom 31.7.2020

SolResHC – Solar Resources for heating and cooling

SPF contribution to IEA PVPS Task 16/
SolarPACES Task V "Solar resource for high
penetration and large scale applications"



Quelle: ©SPF Rapperswil 2018 – Teilnehmende des 3. Experten-Workshops PVPS Task 16 in Rapperswil



Datum: 31.07.2020

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger/innen:

HSR Hochschule für Technik Rapperswil
SPF Institut für Solartechnik
Oberseestrasse 10
8640 Rapperswil
www.spf.ch

Autoren:

Christof Biba, SPF, christof.biba@spf.ch
Jeremias Schmidli, SPF, jeremias.schmidli@spf.ch
Daniel Carbonell, SPF, dani.carbonell@spf.ch
Mercedes Rittmann-Frank, mercedes.rittmann@spf.ch
Michel Haller, SPF, michel.haller@spf.ch

BFE-Projektbegleitung:

Stefan Oberholzer, stefan.oberholzer@bfe.admin.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501511-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Mit zunehmendem Anteil der Erneuerbaren Energien an der Energieversorgung weltweit nimmt die Notwendigkeit zu, Erträge solcher Anlagen vorherzusagen. Das Messen meteorologischer Daten und deren Bewertung sind eine Grundlage für eine bessere Vorhersage der Energieerträge aus solarthermischen und photovoltaischen Anlagen. In diesem Umfeld agiert die IEA PVPS Task 16.

Das SPF beteiligt sich bei der Untersuchung von bodengestützten Messmethoden zur Erfassung der Einstrahlung und der Auseinandersetzung mit dem Einfluss unterschiedlicher Jahresverläufe der Einstrahlung auf die Vorhersagequalität.

In der ersten Thematik sind weitestgehend Erfahrungen und Messdaten aus vergangenen Untersuchungen in das Projekt eingeflossen und mit den anderen Teilnehmenden ausgetauscht worden. Insbesondere wurden die Strahlungsmessungen von kostengünstigen Systemen verglichen mit Messungen eines Pyrheliometers, eines Pyranometers und eines Schattenringpyranometers. Die Abweichungen bei der Direkt-Normalstrahlung wurden analysiert und Schätzungen für zu erwartende Fehler angegeben.

Bezüglich unterschiedlicher Jahresverläufe wurden verschiedene Wetterdatensätze für TRNSYS-Simulationen von Solar-Eis Systemen untersucht. Simulationen mit gemessenen Daten wurden für verschiedene Standorte in der Schweiz durchgeführt, wobei Messungen aus den Jahren 2004-2017 verwendet wurden. Die gleichen Daten wurden mit verschiedenen Methoden auf ein Jahr reduziert. Einerseits wurden in einem simplen Verfahren Zeitabschnitte (Stunden, Tage und Monate) aufgrund der mittleren Strahlung aneinandergereiht, andererseits wurden "Typical Meteorological Years" (TMY) erstellt, bei welchen 12 möglichst repräsentative Monate aneinandergereiht werden. Des Weiteren wurden Datensätze von Meteonorm und von der SIA verwendet. Die Simulationen wurden dann bezüglich der Systemeffizienz bewertet. Insbesondere das stündliche Mittelungsverfahren, das TMY Verfahren, sowie die SIA Daten haben dabei zu besonders genauen Abschätzungen geführt. Aufgefallen ist ausserdem, dass zwischen den verschiedenen Jahren einer Simulation sehr grosse Unterschiede bestehen. So kann sich der "Seasonal Performance Factor" um über 100% ändern, wenn bezüglich Energieeffizienz das schlechteste mit dem besten Jahr verglichen wird.

Neben der Durchführung des PVPS Task 16 Meetings in Rapperswil im Jahr 2018, gab es aktive und passive Teilnahmen an verschiedenen Treffen und Konferenzen, welche im Zusammenhang mit dem PVPS Task 16 standen.

Résumé

Avec la part croissante des énergies renouvelables dans l'approvisionnement énergétique mondial, le besoin de prévoir les rendements de ces systèmes s'accroît. La mesure des données météorologiques et leur évaluation constituent une base pour une meilleure prédiction des rendements énergétiques des systèmes solaires thermiques et photovoltaïques. IEA PVPS Task 16 opère dans cet environnement.

Le SPF est impliqué dans l'étude des méthodes de mesure au sol pour l'enregistrement de l'irradiation et l'examen de l'influence des différents modèles d'irradiation annuelle sur la qualité des prévisions.

Dans le premier cas, les expériences et les données de mesure des enquêtes passées ont été largement intégrées au projet et échangées avec les autres participants. En particulier, les mesures de rayonnement des systèmes à faible coût ont été comparées aux mesures d'un pyrhéliomètre, d'un pyranomètre et d'un pyranomètre à anneau d'ombre. Les écarts dans le rayonnement normal direct ont été analysés et des estimations des erreurs attendues ont été données.



En ce qui concerne les différents cours annuels, différents ensembles de données météorologiques pour les simulations TRNSYS des systèmes de glace solaire ont été étudiés. Des simulations avec des données mesurées ont été réalisées pour différents endroits en Suisse, en utilisant des mesures des années 2004-2017. Les mêmes données ont été réduites à un an en utilisant des méthodes différentes. D'une part, des périodes de temps (heures, jours et mois) ont été enchaînées selon une procédure simple en raison du rayonnement moyen, d'autre part, des "Typical Meteorological Years" (TMY) ont été créées, dans lesquelles 12 mois, aussi représentatifs que possible, sont enchaînées. En outre, des ensembles de données de Meteonorm et de la SIA ont été utilisés. Les simulations ont ensuite été évaluées par rapport à l'efficacité du système. La méthode de la moyenne horaire, la méthode TMY, ainsi que les données SIA ont notamment permis d'obtenir des estimations très précises. On remarque également qu'il y a de très grandes différences entre les différentes années d'une simulation. Par exemple, le "Seasonal Performance Factor" peut varier de plus de 100 % si l'on compare la pire année à la meilleure en termes d'efficacité énergétique.

En plus de la conception de la PVPS Task 16 à Rapperswil en 2018, il y a eu une participation active et passive à diverses conférences liées à la PVPS Task 16.

Summary

With the increasing share of renewable energies in the global energy supply, the need to predict the yields of such systems is growing. Measuring and evaluating meteorological data provides a basis for better forecasting of energy yields from solar thermal and photovoltaic systems. The IEA PVPS Task 16 operates in this environment.

The SPF participates in the investigation of ground-based measurement methods for recording irradiance and the analysis of the influence of different annual irradiance patterns on the prediction quality.

In the first topic, experience and measurement data from past investigations have been incorporated into the project to a large extent and exchanged with the other participants. In particular, the radiation measurements of low-cost systems were compared with measurements of a pyrheliometer, a pyranometer and a shadow ring pyranometer. The deviations in the direct normal radiation were analysed and estimates for expected errors were given.

In the former topic, experience and measurement data from past investigations have been incorporated into the project to a large extent and exchanged with the other participants. In particular, the radiation measurements of low-cost systems were compared with measurements of a pyrheliometer, a pyranometer and a shadow ring pyranometer. The deviations in the direct normal radiation were analysed and estimates for expected errors were given.

Regarding the interannual variability, different weather data sets were investigated for TRNSYS simulations of solar ice systems. Simulations with measured data were carried out for various locations in Switzerland, using measurements from the years 2004-2017. The same data were reduced to one year using different methods. On the one hand, time periods (hours, days and months) were strung together in a simple procedure due to the average radiation, on the other hand, Typical Meteorological Years (TMY) were created, in which 12 months were strung together as representative as possible. Furthermore, data sets from Meteonorm and from the SIA were used. The simulations were then evaluated with respect to system efficiency. The hourly median year method, the TMY method, as well as the SIA data led to the most accurate estimates. It is also noticeable that there are very large differences between the different years of a simulation, so the Seasonal Performance Factor can change by more than 100% from the worst to the best year in terms of energy efficiency.

Besides the PVPS Task 16 meeting in Rapperswil in 2018, there was active and passive participation in various meetings and conferences related to the PVPS Task 16.



Take-home messages

- Günstige bodengestützte Einstrahlungsmessegräte mit ausreichender Genauigkeit sind verfügbar.
- Hourly Median Year (HMY) Methode, Typical Meteorological Year (TMY) Methode, sowie die Design Reference Years von SIA (SIA-DRY) ergeben die genaueste Abschätzung des Seasonal Performance Factors für Solar-Ice Systeme.
- Wenn ein einjähriger Datensatz (HMY, TMY oder SIA-DRY) für Seasonal Performance Factor Abschätzungen von Solar-Ice Systemen genommen wird, muss mit Abweichungen in der Größenordnung von bis zu 20% gegenüber einer Simulation mit Messdaten von mehreren Jahren gerechnet werden.
- Zwischen einzelnen Jahren einer Solar-Ice Simulation mit mehrjährigen Messdaten können Unterschiede von über 100% zwischen dem tiefsten und dem höchsten Seasonal Performance Factor liegen.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	3
Résumé.....	3
Summary	4
Take-home messages	5
Inhaltsverzeichnis	6
1 Einleitung	8
1.1 Ausgangslage und Hintergrund	8
1.2 Motivation des Projektes	8
1.3 Projektziele	9
2 Anlagenbeschrieb, Vorgehen und Methode	9
2.1 Subtask 1.1: Vorgehen Strahlungsmessung	9
2.2 Subtask 2.4: Standorte und Wetterdaten	10
2.2.1 Mittelung der 14-Jahres-Wetterdaten	11
2.2.2 Typical Meteorological Year (TMY)	11
2.2.3 SIA Design Reference Years (SIA-DRY)	12
2.2.4 Meteonorm-Daten.....	12
2.2.5 Vergleich der Datensätze	12
2.3 Subtask 2.4: Simulations-Methodik	13
2.3.1 TRNSYS Modell	14
2.3.2 Definitionen.....	15
3 Ergebnisse und Diskussion	15
3.1 Subtask 1.1: Arbeiten und Ergebnisse	15
3.2 Subtask 2.4: Arbeiten und Ergebnisse	16
3.2.1 Simulation mit realen Wetterdaten	16
3.2.2 Vergleich mit synthetischen Wetterdatensätzen	18
4 Schlussfolgerungen und Fazit	20
4.1 Subtask 1.1: Fazit und Ausblick	20
4.2 Subtask 2.4: Fazit und Ausblick	20
5 Ausblick und zukünftige Umsetzung	21
6 Nationale und internationale Zusammenarbeit	21
6.1 Konferenzen, Synergien und Networking.....	21
7 Literaturverzeichnis und Publikationen	23



Abkürzungsverzeichnis

BFE	Bundesamt für Energie
SPF	Institut für Solartechnik
HSR	Hochschule für Technik Rapperswil
IEA	International Energy Agency (Paris)
PVPS	Photovoltaic Power Systems Program
CSP	Concentrated Solar Power (Technology)
NREL	National Renewable Energy Laboratory (USA)
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
OTL	Locarno-Monti
GVE	Genf-Cointrin
BER	Bern-Liebefeld
BAS	Basel-Binningen
SMA	Zürich-MeteoSchweiz
DAV	Davos
SIA	Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein
DRY	Design Reference Year
HMY	Hourly Median Year
DMY	Daily Median Year
MMY	Monthly Median Year
TMY	Typical Meteorological Year
MN-WS	Meteonorm Wetter-Station
MN-DRY	Meteonorm Test-Reference-Year
SPF_{SHP+}	Seasonal Performance Factor for the complete system



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Im Rahmen des IEA PVPS Task 16 sollen Hindernisse, die einer starken Marktdurchdringung mit solar erzeugtem Strom entgegenstehen, abgebaut werden. Dazu gehören die effiziente Verarbeitung meteorologischer Informationen zur Vorhersage der Energiebeiträge aus Photovoltaik und Solarthermie, insbesondere auch solarer Prozesswärme oder solarthermischer Stromerzeugung über konzentrierende Systeme (CSP) und der Zusammenhang zu anderen erneuerbaren und wetterabhängigen Energiequellen. In den Subtasks werden Methoden zur Messung der Einstrahlung, verfügbare Produkte und der Wert der Vorhersage beleuchtet.

Das SPF ist in nachfolgenden Subtasks aktiv:

Subtask 1 unter der Leitung von Manajit Sengupta (ENREL, USA), (Stefan Wilbert /DLR):

Activity 1.1 – Bodengestützte Messmethoden

Subtask 2 unter der Leitung von Philippe Blanc (MinesParisTech, Frankreich):

Activity 2.4 – Einfluss der Variabilität der Jahresverläufe der Einstrahlung

1.2 Motivation des Projektes

Beitrag zu Activity 1.1 – Bodengestützte Messmethoden:

Dieses Arbeitsfeld umfasst im Wesentlichen die Beurteilung der Insitu-Ermittlung der Direktstrahlung für konzentrierende Solarsysteme zur Erzeugung von Prozesswärme, insbesondere für kostengünstige Varianten.

Beitrag zu Activity 2.4 – Vergleich des Einflusses unterschiedlicher Wetterdatensätze auf die Systemeffizienz von Solar-Eis-Systemen

Vorhergehende Untersuchungen hatten gezeigt, dass es starke Abweichungen zwischen Simulationen von Solar-Eis-Systemen mit synthetischen Wetterdaten und entsprechenden Simulationen mit gemessenen Wetterdaten geben kann [1]. Während im BFE Projekt BigIce für verschiedene Standorte Auswertungen mit temperaturstandardisierten Kalt-, Normal- und Warmjahren durchgeführt werden, sollen im vorliegenden Projekt verschiedene synthetische und auf Messdaten basierende Wetterdaten mit gemessenen Daten verglichen werden. So wird der Einfluss unterschiedlicher Wetterdatensätze auf die Systemeffizienz von Solar-Eis-Systemen untersucht. Zuerst werden verschiedene Datensätze, welche reale, also gemessene, oder synthetische Wetterdaten enthalten, sowie ein Mittelungsverfahren der realen Wetterdaten beschrieben. Die verwendeten Daten wurden von MeteoSchweiz [2], SIA [3], und Meteororm [4] bezogen. Danach werden Simulationen mit realen Wetterdaten, welche Messdaten der letzten 14 Jahre enthalten, für Solar-Eis-Systeme in Mehrfamilienhäusern (MFH) für sechs verschiedene Standorte in der Schweiz durchgeführt. Anschliessend werden für die gleichen Simulationen die synthetischen Datensätze verwendet und die Resultate mit den Ergebnissen der realen Daten verglichen. Ziel ist es, diejenigen synthetischen Wetterdatensätze zu finden, mit welchen die Systemeffizienz der 14-Jahres Simulation am besten abgeschätzt wird.



1.3 Projektziele

Bei zunehmendem Anteil erneuerbarer Energieerzeugung am Energiemix müssen neue Systemmechanismen implementiert werden, um die erzeugte Energie effizient zu nutzen und die Energieerzeugung aus konventionellen Kraftwerken tatsächlich zu substituieren. Dazu gehören neue Speichertechnologien, intelligentes Energiemanagement und als Basis dafür eine möglichst genaue Vorhersage der klimatischen Bedingungen und der daraus resultierenden Leistungen und Energieerträge solarer Energieerzeugung. Ist einer dieser Bausteine unzureichend entwickelt, kommt der Marktausbau ins Stocken. Dieses Projekt hat zum Ziel, die solaren Quellen hinreichend genau zu analysieren, Messmethoden und Vorhersageinstrumente sinnvoll weiter zu entwickeln und zu nutzen und somit dem weiteren Ausbau solarer Energieerzeugung den Weg zu glätten.

2 Anlagenbeschreibung, Vorgehen und Methode

2.1 Subtask 1.1: Vorgehen Strahlungsmessung

Die Auswertung der Strahlungsmessgeräte erfolgt mit den Instrumenten und Prüfständen des SPF-Instituts für Solartechnik in Rapperswil, Schweiz. Als Referenzgerät für die DNI-Messungen wird ein bi-axial nachgeführtes Pyrheliometer verwendet (Abbildung 2.1c). In Abb. 2.1a (links) sind das Pyranometer und ein Pyranometer mit Schattenring dargestellt, die für die Referenzmessung von Globalstrahlung (GHI) bzw. Diffusstrahlung (DHI) auf der horizontalen Ebene verwendet werden. Alle Instrumente werden täglich gereinigt.

Während das Pyrheliometer den DNI direkt über eine zweiachsige Nachführung und eine Sichtbegrenzungsöffnung von 5° misst, berechnen das SPN1 und das RSI den Direktnormaleinstrahlung (DNI) durch die Messung der globalen und der diffusen Einstrahlung und die Information über den Standort und die Sonnenzeit. Im SPN1 (Abb. 2.1a (Mitte)) sind sechs Sensoren auf einer sechseckigen Form und ein Sensor in der Mitte auf einer horizontalen Ebene hinter einer komplexen Abschattungsmaske platziert. Die Form der Abschattungsmaske stellt sicher, dass mindestens einer der Sensoren vollständig abgeschattet und mindestens einer der Sonneneinstrahlung vollständig ausgesetzt ist, was die gleichzeitige Messung von GHI und DHI ermöglicht. Der große Vorteil des SPN1 besteht darin, dass keine beweglichen Teile, die ständig genau ausgerichtet werden müssen, erforderlich sind, was die Wartungskosten senkt. Im RSI-Instrument (Abb. 2.1b) messen zwei auf Silizium basierende Halbleitersensoren den GHI. Alle 30s dreht sich das Schattenband um 360° um die Sensoren, was zu einer momentanen Abschattung führt. Während der Rotationsphase von etwa 1s



Dauer werden Daten in einer Frequenz von 1kHz gesammelt, aus denen ein interner Algorithmus den DHI nach zwei Zyklen (etwa einer Minute) berechnet.

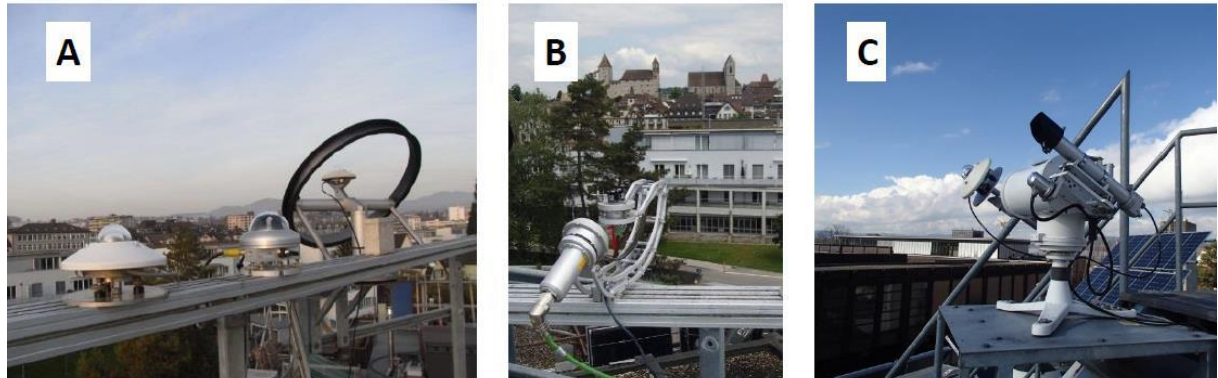


Abbildung 2.1: (A) Pyranometer zur Messung der horizontalen Globalstrahlung (links), "Sunshine Pyranometer SPN1" (Mitte), Pyranometer mit Schattenring zur Messung der horizontalen Diffusstrahlung (rechts). (B) "Rotierendes Schattenband Irradiometer RSI". (C) Nachführ-Pyrheliometer für DNI-Messungen als Referenz. Alle Instrumente sind am SPF-Institut für Solartechnik in Rapperswil, Schweiz, installiert.

Wir haben Daten von etwa einem Jahr (8.8.2015-7.8.2016) in 10 s-Auflösung für das SPN1, das Pyranometer und das Pyrliometer und in 1-Minuten-Auflösung für den RSI aufgezeichnet und die Daten bis zu einer Bestrahlungsstärke von 950W/m² analysiert. Daten, die eine offensichtliche Diskrepanz aufgrund eines Betriebsausfalls zeigten, wurden aus der Studie entfernt.

2.2 Subtask 2.4: Standorte und Wetterdaten

Für die Simulationen der Solar-Eis-Systeme werden Wetterdaten von 7 verschiedenen Schweizer Standorten verwendet. Es wurden solche Wetterstationen ausgewählt, für welche es Testreferenzjahre (Design Reference Years, DRY) gibt, welche vom Schweizer Ingenieur- und Architektenverein (SIA) für Gebäudesimulationen erstellt wurden [3]. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der gewählten Standorte, welche verschiedene geographische sowie klimatische Regionen der Schweiz abdecken. Für jeden dieser Standorte wurden Simulationen mit Messdaten von MeteoSchweiz aus den Jahren 2004-2017 [2], mit den SIA-DRYs, mit von Meteonorm generierten Datensätzen, sowie mit gemittelten Jahren durchgeführt. Bei fehlenden Einträgen in den 14-Jahres-Datensätzen wurden diese quadratisch interpoliert.

Tabelle 2.1: Übersicht der für die Simulationen verwendeten Standorte.

Wetterstation	Abkürzung
Locarno-Monti	OTL
Genf-Cointrin	GVE
Bern-Liebefeld	BER
Basel-Binningen	BAS
Zürich-MeteoSchweiz	SMA
Davos	DAV



2.2.1 Mittelung der 14-Jahres-Wetterdaten

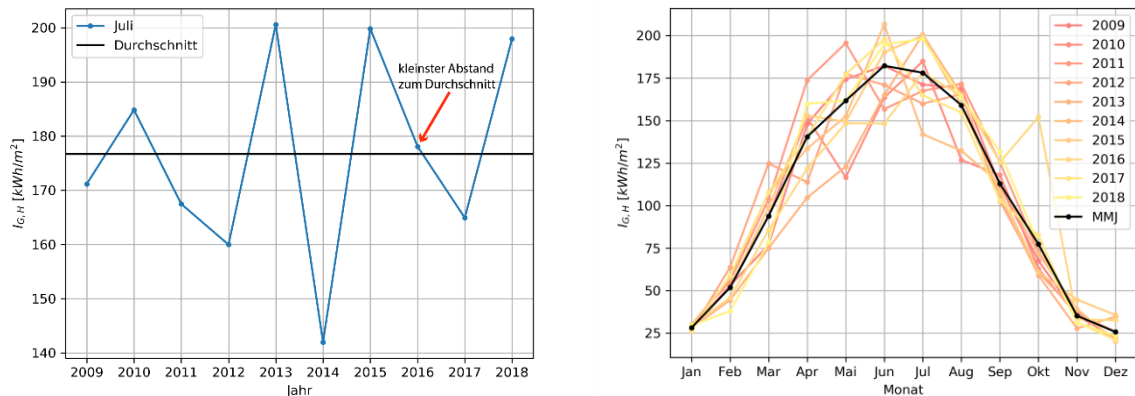


Abbildung 2.2: Veranschaulichung des Mittelungsverfahrens zur Erstellung des monatlichen Mitteljahres (MMY). Links: horizontale Globalstrahlung im Juli in Zürich (SMA) für alle 10 Jahre. Rechts: Illustration der Mittelwertbildung - Monatswerte des Strahlungsverlaufs der Wetterstation Zürich (SMA) während den 10 Jahren, in schwarz die gewählten Monate für das monatliche Mitteljahr (MMY / MMJ).

Drei verschiedene Mittelungsmethoden wurden für die Synthese der realen Messdaten verwendet: Für spezifische Zeitabschnitte (Stunden, Tage und Monate) wurde der Durchschnitt der Globalstrahlung der 14 Jahre berechnet. Dieser Durchschnitt wurde dann in jedem Jahr mit der jeweiligen Globalstrahlung dieses Zeitabschnittes verglichen. Für das gemittelte Jahr wurden anschliessend die Daten derjenigen Zeitabschnitte mit der kleinsten Differenz zum Durchschnitt aneinandergereiht. In den folgenden Abschnitten werden die drei Mittelungsarten als stündliches Mitteljahr (*Hourly Median Year*, HMY), tägliches Mitteljahr (*Daily Median Year*, DMY) und monatliches Mitteljahr (*Monthly Median Year*, MMY) bezeichnet. Eine Veranschaulichung des Mittelungsverfahrens wird am Beispiel MMY in Abbildung 2.2 dargestellt. Es handelt sich hier um eine Veranschaulichung einer Mittelungsperiode von 10 Jahren. Links wird die horizontale Globalstrahlung ($I_{G,H}$) im Juli in Zürich (SMA) für alle 10 Jahre gezeigt. Da im Jahr 8 die Differenz zwischen dem 10-Jahres Monatsdurchschnitt (schwarze Linie) und der horizontalen Globalstrahlung für das jeweilige Jahr (blaue Punkte) am kleinsten ist, wird der ganze Juli für das synthetisierte Jahr MMY verwendet. Rechts ist die horizontale Globalstrahlung aller 14 Jahre dargestellt, in Schwarz kann der für das MMY jeweils gewählte Monat gesehen werden.

2.2.2 Typical Meteorological Year (TMY)

Zusätzlich zu den eben beschriebenen simplen Mittelungsmethoden (HMY, DMY, MMY) wurde auch die Sandia-Methode zur Erstellung von *Typical Meteorological Years* (TMY) untersucht [5]. Bei dieser Methode werden 12 repräsentative Monate aus einem Mehrjährigen Datensatz ausgewählt und aneinandergereiht. Auswahlkriterien sind dabei Temperatur, Taupunkt, Windgeschwindigkeit und Strahlung. Die Implementierung dieses Verfahrens wurde von der Australischen *National Science Research Agency* übernommen [6].



2.2.3 SIA Design Reference Years (SIA-DRY)

Der Schweizer Ingenieur- und Architektenverein (SIA) hat für 40 Schweizer Wetterstationen Testreferenzjahre [3] für Gebäudesimulationen generiert. Die Erstellung dieser so genannten *Design Reference Years* (DRY), ist nach der Norm SN EN ISO 15927 erfolgt. Die zugrundeliegenden Messdaten stammen aus den Jahren 1984 - 2003. Für ein DRY werden aus den 20 Jahren jeweils möglichst repräsentative Monate aneinandergereiht. Zur Auswahl dieser Monate wurden die stündlichen Parameter Lufttemperatur, horizontale Globalstrahlung und absolute Luftfeuchtigkeit gleichgewichtet mit Hilfe der kumulativen Verteilfunktion, sowie der Finkelstein-Schafer-Statistik verglichen [7].

2.2.4 Meteonorm-Daten

Über Meteonorm (Version 7.3.1.) [4] können verschiedene Wetterdaten bezogen werden. Für alle untersuchten Wetterstationen verfügbar waren die Optionen *Weather Station* (WS) und *Design Reference Year* (DRY). (Ausnahme: *Design Reference Year* von Locarno-Monti (OTL) existiert nicht, es gibt jedoch für Locarno-Magadino ein *Design Reference Year*, welches für die Untersuchungen in diesem Beitrag verwendet wurde). Meteonorm generiert die stündlichen Werte stochastisch, aufgrund monatlicher Mittelwerte, wie in Remund u. a. [8] beschrieben. Bei den Wetterstationsdaten wurden für die Strahlungsdaten die Jahre 1996-2015 und für die Temperaturdaten die Jahre 2000-2009 verwendet, was dem neuesten möglichen Datenbereich entspricht. Das *Design Reference Year* von Meteonorm hat als Datengrundlage die Jahre 1981-1990. Die zwei Optionen werden im Folgenden jeweils mit MN-WS und MN-DRY bezeichnet.

2.2.5 Vergleich der Datensätze

Eine Übersicht der verwendeten Datensätze ist in Tabelle 2.2 dargestellt. Bei allen Datensätzen wurden jeweils die neuesten verfügbaren Zeitabschnitte gewählt. Die Daten SIA-DRY und MN-DRY beruhen dabei auf vergleichsweise alten Daten, was tendenziell tiefere Strahlungswerte mit sich bringt, wie exemplarisch am Beispiel Zürich (SMA) in Abbildung 2.3 gesehen werden kann. Die drei Mittelungsverfahren HMY, DMY und MMY ergeben alle einen sehr ähnlichen Strahlungsverlauf, da sie alle auf der gleichen Zeitperiode beruhen und anhand der durchschnittlichen Strahlung erstellt wurden. TMY und MN-WS haben auch einen ähnlichen Strahlungsverlauf, bei den auf älteren Daten beruhenden SIA-DRY und MN-DRY ist die Strahlung deutlich tiefer. Diese Tendenz ist bei allen untersuchten Standorten zu sehen, mit Ausnahme Davos (wo sich SIA-DRY und MN-DRY in einem ähnlichen Bereich wie die 14-Jahres-Mitteljahre befinden).



Tabelle 2.2: Übersicht der verwendeten Datensätze.

Quelle	Datensatz / Methode	Zeitperiode	Abkürzung
MeteoSchweiz	Stündliche Messdaten über einen Zeitraum von 14 Jahren	2004-2017	14 Jahre
Gemittelt auf Basis der MeteoSchweiz Daten	Kleinste Differenz zum Stunden-durchschnitt	2004-2017	HMY
	Kleinste Differenz zum Tages-durchschnitt	2004-2017	DMY
	Kleinste Differenz zum Monats-durchschnitt	2004-2017	MMY
	Typical Meteorological Year	2004-2017	TMY
SIA	SIA Design Reference Year	1983-2003	SIA-DRY
Meteonorm	Meteonorm Wetterstation	Strahlung: 1996-2015 Temperatur: 2000-2009	MN-WS
	Meteonorm Design Reference Year	1981-1990	MN-DRY

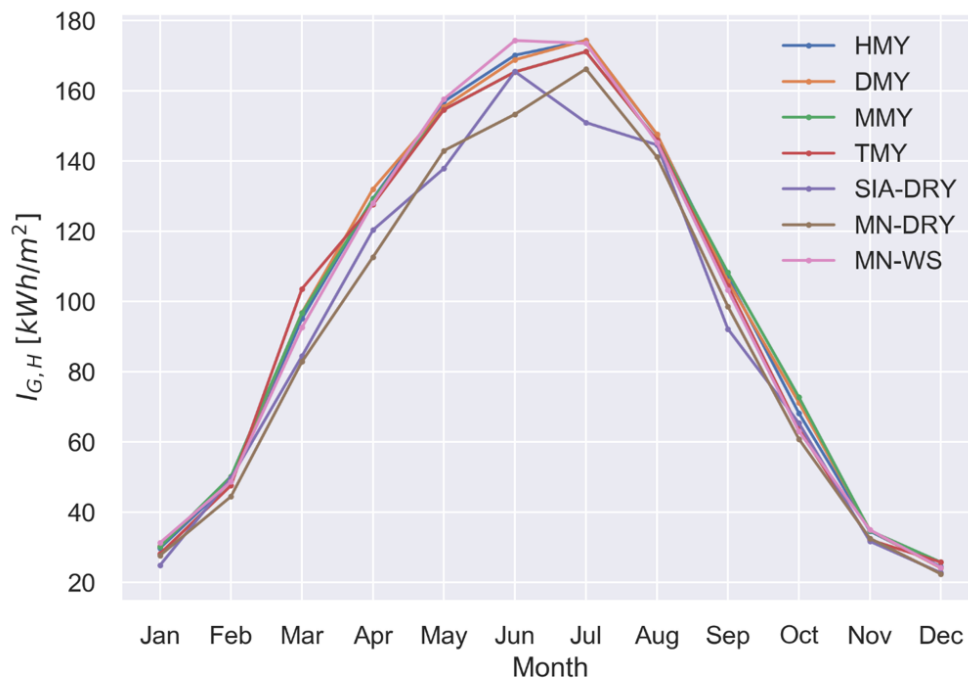


Abbildung 2.3: Vergleich der horizontalen Globalstrahlung der unterschiedlichen synthetischen Datensätze für den Standort Zürich (SMA).

2.3 Subtask 2.4: Simulations-Methodik

Dynamische Simulationen mit TRNSYS-17 [9] werden verwendet, um den Einfluss verschiedener Wetterdatensätze auf die Systemeffizienz einer Solar-Eis-Heizung zu bewerten, welche ein Referenz-Mehrfamilienhaus (MFH) mit Raumwärme und Warmwasser versorgt.



2.3.1 TRNSYS Modell

Das verwendete TRNSYS Modell besteht aus den folgenden Grundkomponenten:

- Unverglaste thermische Solarkollektoren
- Wärmepumpe
- Eisspeicher
- Sensibler Wärmespeicher
- MFH-Referenzgebäude
- Systemsteuerung

Das verwendete Eisspeichermodell basiert auf dem von Carbonell u. a. [10] vorgestellten und validierten Modell, welches einen Kapillarwärmetauscher beinhaltet. Die weiteren Systemkomponenten sind in Carbonell u. a. [11] für enteisende Solar-Eis-Systeme beschrieben, das Steuerungsprinzip für nicht enteisende Systeme, wie sie in diesem Beitrag verwendet werden, wurde von Carbonell u. a. [12] vorgestellt. Abbildung 2.4 (links) zeigt die grundlegenden Wärme-flüsse im Solar-Eis-System. Die von

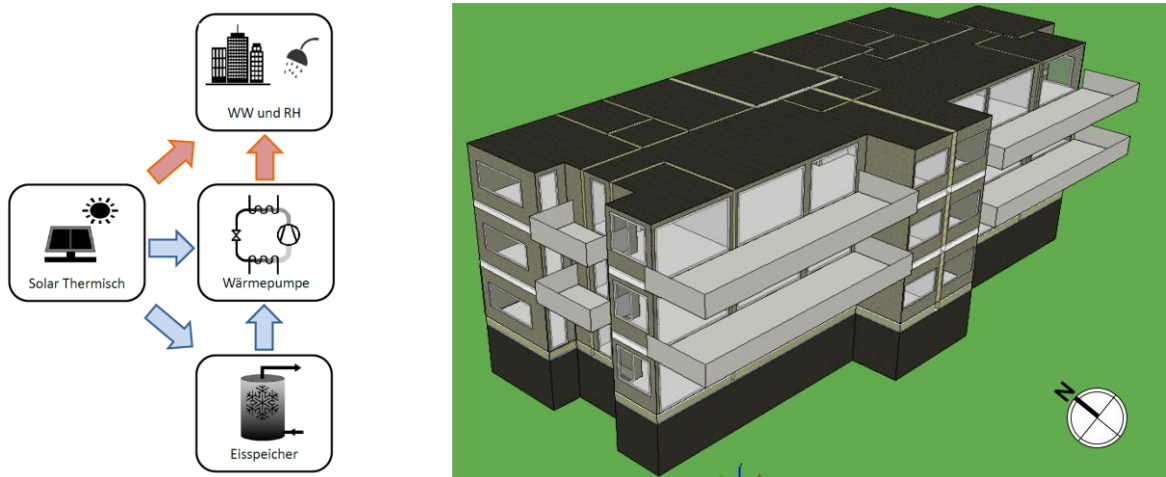


Abbildung 2.4: Links: Energiefluss-Schema der Solar-Eis-Heizung. Rechts: Referenz-Mehrfamilienhaus.

den Kollektoren gelieferte Wärme kann je nach Temperatur und Bedarf direkt oder via Wärmepumpe für die Beladung des sensiblen Wärmespeichers (Warmwasser (WW) und Raumheizung (RH)) oder des Eisspeichers verwendet werden. Die roten Pfeile entsprechen Wärme-flüsse bei hohen Temperaturen (über 30 °C), die blauen Pfeile entsprechen Wärme-flüsse bei tiefen Temperaturen (unter 10 °C). Kollektorfläche und Eisspeichervolumen wurden so gewählt, dass für den Standort Zürich (SMA) mit dem SIA-DRY Datensatz der resultierende *Seasonal Performance Factor* (SPF_{SHP+}) ca. 4 beträgt (Definition des SPF_{SHP+} folgt im nächsten Abschnitt). Die verwendete Kollektorfläche beträgt so 82 m², das Eisspeichervolumen 19 m³.

Bei dem verwendeten Mehrfamilienhaus handelt es sich um ein Minergie-Gebäude mit 6 Wohnungen, welches für den Standort Zürich SMA einen Heizbedarf von 29 kWh/(m²a) hat. Das Gebäude wurde von Mojic u. a. [13] beschrieben. Q_{WW} ist für alle Simulationen konstant = 17 MWh/a.



Der Gesamtwärmeverbrauch (Q_D), basierend auf den SIA-DRY Datensätzen, ist in Tabelle 2.3: aufgelistet. Für alle Standorte nördlich der Alpen (SMA, BAS, BER, und GVE) ist Q_D zwischen 40 und 50 MWh/a. Davos befindet sich in den Alpen und hat dadurch einen deutlich höheren und Locarno (südlich der Alpen) einen tieferen Wärmeverbrauch.

Tabelle 2.3: Übersicht Gesamtwärmeverbrauch (basierend auf Datensatz SIA-DRY).

Wetterstation	Abkürzung	Q_d [MWh]
Locarno-Monti	OTL	35
Genf-Cointrin	GVE	41
Bern-Liebefeld	BER	47
Basel-Binningen	BAS	43
Zürich-MeteoSchweiz	SMA	48
Davos	DAV	67

2.3.2 Definitionen

Zur Bewertung der energetischen Effizienz der Heizungsanlage bezüglich ihres Stromverbrauchs wird hier der *Seasonal Performance Factor* SPF_{SHP+} verwendet, welcher aus dem Quotienten des Gesamtwärmebedarfs (Q_D) – bestehend aus dem Wärmebedarf für Raumheizung (Q_{RH}) und für Warmwasser (Q_{WW}) – und des dafür benötigten Gesamtstromverbrauchs ($P_{El,T}$) gebildet wird:

$$SPF_{SHP+} = \frac{Q_{RH} + Q_{WW}}{P_{El,T}} = \frac{Q_D}{P_{El,T}} \quad \text{Def. 2.1}$$

$P_{El,T}$ beinhaltet dabei den Stromverbrauch der gesamten Heizungsanlage inklusive dem Stromverbrauch der Heizkreis-Umwälzpumpe (Malenkovic u. a. 2013):

$$P_{El,T} = P_{El,pu} + P_{El,wp} + P_{El,cu} + P_{El,back-up} + P_{El,pen} \quad \text{Def. 2.2}$$

Dabei stehen die Indizes *pu*, *wp*, *cu*, *back-up* und *pen* jeweils für die Umwälzpumpe, die Wärmepumpe, die Steuereinheit, die elektrische Back-Up Heizung sowie den Strafverbrauch, falls der gewünschte Wärmebedarf nicht erreicht wird [15].

3 Ergebnisse und Diskussion

3.1 Subtask 1.1: Arbeiten und Ergebnisse

Präzise Sonneneinstrahlungsmessungen sind für die Überwachung und Auswertung von Solarsystemen unerlässlich. So wird die Qualität der Strahlungsmessungen der kostengünstigen Systeme SPN1 und Rotating Shadowband Irradiometer (RSI) mit den Referenzmessungen von einem Pyrheliometer, einem Pyranometer und einem Schattenringpyranometer verglichen. Eine graphische und statistische Analyse der Messunterschiede wurde durchgeführt. Die Untersuchung basiert auf Daten von fast einem Jahr und konzentriert sich hauptsächlich auf die Abweichungen bei der Direkt-



Normalstrahlung (DNI – Direct Normal Irradiance). Weiterhin werden Schätzungen für die erwarteten Fehler angegeben. Es zeigt sich, dass die mittlere Abweichung der DNI-Messungen vom RSI gering ist, jedoch eine große zeitliche und saisonale Variabilität aufweist, die punktuell zu erheblichen Messungenauigkeiten führen kann. Der SPN1 zeigt eine starke nichtlineare Verzerrung, die korrigiert werden sollte.

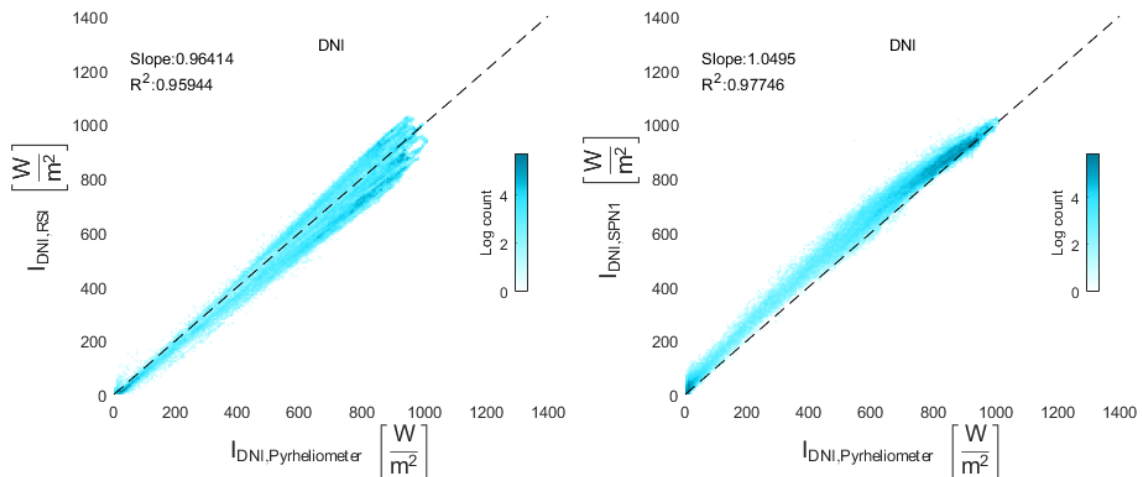


Abbildung 3.1: Histogramm-Diagramme für DNI für SPN1 und RSI im Vergleich zum bi-axialen Tracking-Pyrheliometer.

3.2 Subtask 2.4: Arbeiten und Ergebnisse

Simulationen mit TRNSYS wurden für alle 6 Standorte sowohl mit den 14-Jahres Messdaten, als auch mit den synthetischen Datensätzen HMY, DMY, MMY, TMY, SIA-DRY, MN-WS und MN-DRY durchgeführt und anhand des resultierenden SPF_{SHP+} verglichen.

3.2.1 Simulation mit realen Wetterdaten

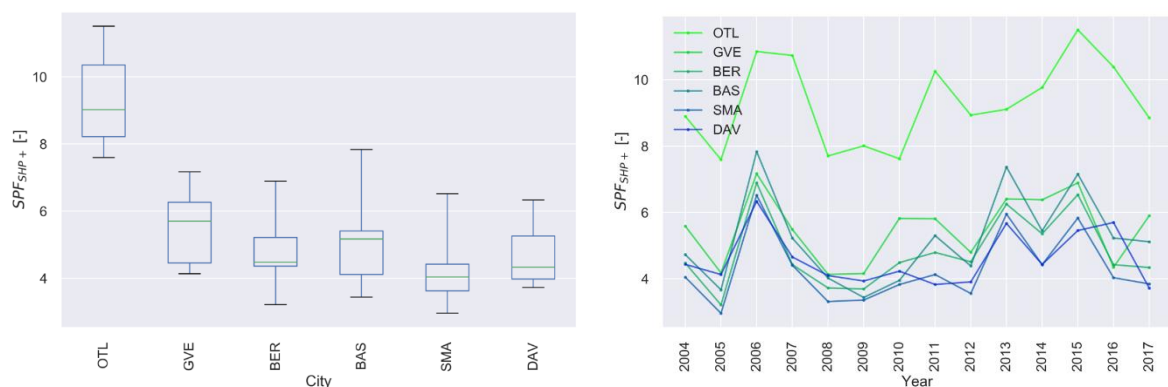


Abbildung 3.2: Seasonal Performance Factor der 14-Jahres Simulationen. Links: Boxplot des SPF_{SHP+} für alle 6 Standorte. Rechts: Verlauf des SPF_{SHP+} über die 14 simulierten Jahre.



Abbildung 3.2: zeigt die jährlichen *Seasonal Performance Factors* (SPF_{SHP+}) der 14-Jahres Simulationen. Links sind die jährlichen SPF_{SHP+} aller Standorte als Boxplot dargestellt. Die grünen Linien im Boxplot entsprechen dabei dem Median, die blaue Box dem Interquartilabstand (50% der Werte liegen in diesem Bereich) und die Whisker (schwarze Balken) zeigen die Maxima und Minima. Auffällig ist die grosse Streuung der SPF_{SHP+} : Zwischen einzelnen Jahren einer Simulation mit mehrjährigen Messdaten können Unterschiede von über 100% zwischen dem tiefsten und dem höchsten SPF liegen. Zum Beispiel zu sehen für Basel (BAS): 3.5 bis 7.8.

Der Verlauf des SPF_{SHP+} über die 14 simulierten Jahre ist rechts in Abbildung 3.2: dargestellt. Es ist interessant zu sehen, dass sich für gewisse Jahre die gleichen Muster zeigen. Locarno hat jeweils einen deutlich höheren SPF_{SHP+} . Dies kann durch die Kombination des kleineren Verbrauchs, mit der höheren Solareinstrahlung an diesem Standort erklärt werden. Zu diesem Punkt sei ausserdem anzumerken, dass Davos trotz des höheren Verbrauchs ähnliche SPF_{SHP+} hat wie die Standorte nördlich der Alpen. Auch das kann mit der höheren Solareinstrahlung begründet werden.

Standardabweichung und Durchschnitt der jährlichen SPF_{SHP+} sowie der gesamte über 14 Jahre berechnete SPF_{SHP+} sind in Tabelle 3.1: für alle Standorte aufgelistet. Der über 14 Jahre berechnete SPF_{SHP+} ist immer leicht kleiner als der Durchschnitt. Daraus lässt sich schliessen, dass der SPF_{SHP+} in Jahren mit hohem Wärmebedarf kleiner ausfällt, als für warme Jahre, da im über 14 Jahre berechneten SPF_{SHP+} definitionsbedingt Jahre mit hohem Wärmebedarf stärker gewichtet werden.

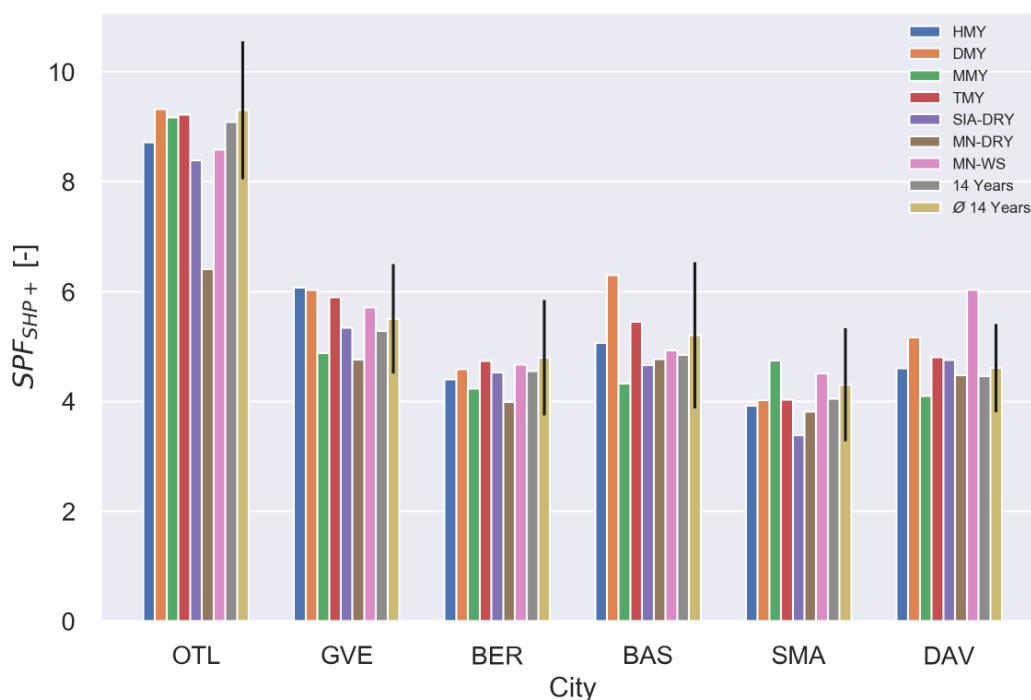


Abbildung 3.3: SPF_{SHP+} für die synthetischen Wetterdatensätze sowie für die Simulationen mit gemessenen 14-Jahres-Daten. Stündliches, tägliches und monatliches Mitteljahr (HMY, DMY, MMY), Typical Meteorological Year (TMY), Design Reference Year von SIA (SIA-DRY), Wetterstation (MN-WS) und Design Reference Year (MN-DRY) von Meteonorm. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung der 14-Jahres Simulationen.



Tabelle 3.1: Übersicht der SPF_{SHP+} für alle 7 Standorte: Jährlicher Durchschnitt, Standardabweichung, und über 14 Jahre berechneter Wert.

	OTL	GVE	BER	BAS	SMA	DAV
Durchschnitt der 14 jährlichen SPF_{SHP+} (Standardabweichung)	9.30 (1.26)	5.51 (1.00)	4.80 (1.05)	5.21 (1.33)	4.30 (1.03)	4.61 (0.80)
Gesamt SPF_{SHP+} über 14 Jahre berechnet	9.09	5.28	4.55	4.85	4.05	4.46

3.2.2 Vergleich mit synthetischen Wetterdatensätzen

Die Simulationsergebnisse für synthetische Wetterdatensätze sind in Abbildung 3.3: dargestellt. Grundsätzlich bewegen sich die resultierenden SPF_{SHP+} in einem ähnlichen Bereich wie bei der 14-Jahres Simulation.

Die Differenzen zwischen dem SPF_{SHP+} der synthetischen Jahre und des SPF_{SHP+} der 14-Jahres Simulation sind in Abbildung 3.4 dargestellt. Der auf der x-Achse gezeigte Durchschnitt ($\emptyset$) berücksichtigt dabei die Vorzeichen der Differenzen, die letzte Spalte zeigt die Durchschnitte der absoluten Beträge der jeweiligen Differenzen ($\emptyset_{abs}$). Während beim HMY und beim MMY durchschnittliche Abweichungen von nur $\pm 2-3\%$ beobachtet werden kann, beträgt beim DMY die durchschnittliche Differenz über $+10\%$. Die durchschnittliche Abweichung des TMY beträgt $+6\%$, bei den SIA-DRY Daten sind es -3.5% . Die Meteonorm Datensätze zeigen Abweichungen von ca -10% (MN-DRY) beziehungsweise $+9\%$ (MN-WS).

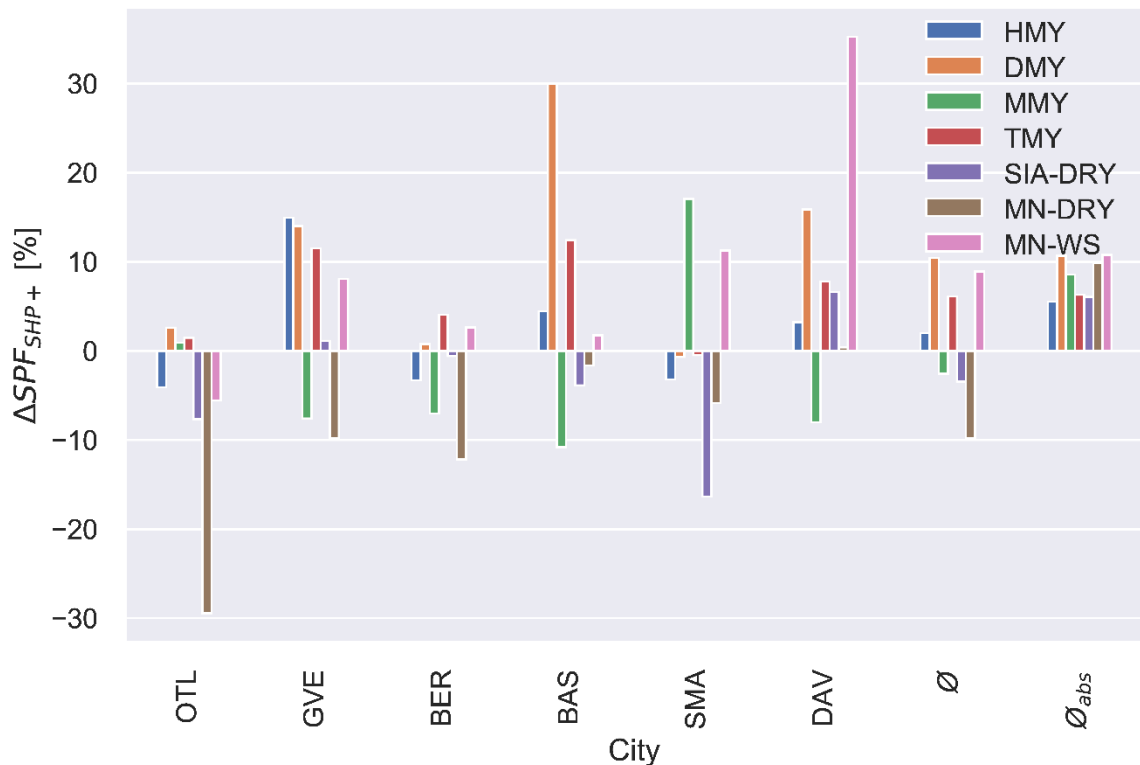


Abbildung 3.4: Differenz der synthetischen Jahre zum Gesamt- SPF_{SHP+} der 10 Jahres Simulation. Der Durchschnitt (Ø) berücksichtigt dabei die Vorzeichen der Differenzen, die letzte Spalte zeigt die Durchschnitte der absoluten Beträge der jeweiligen Differenzen (Ø_{abs}).

Beim Vergleich der absoluten Differenz schneidet das HMY am besten ab, die absolute Abweichung beträgt im Schnitt 5.5%. Auch TMY und SIA-DRY zeigen verhältnismässig tiefe Abweichungen von jeweils 6.3% und 6.0%.

Der Grund, wieso die Datensätze SIA-DRY und MN-TRJ den SPF_{SHP+} unterschätzen, könnte sein, dass sie wie in Abschnitt 2.2.5 erläutert auf älteren Daten beruhen. Während für das HMY, DMY, MMY und TMY die neuesten verfügbaren Daten verwendet wurden (2009-2018), basiert das SIA-DRY auf den Jahren 1984-2003 und das MN-TRJ auf den Jahren 1981-1990, womit sie die Klimaentwicklung der letzten Jahre nicht enthalten.



4 Schlussfolgerungen und Fazit

4.1 Subtask 1.1: Fazit und Ausblick

Der Vergleich des RSI und des SPN1 zeigt, dass die Daten für den RSI weniger breit gestreut sind, jedoch den DNI leicht unterschätzen. Im Gegensatz dazu, streuen die Messdaten des SPN1 stärker und weisen auf eine leichte Überschätzung des DNI hin. Sowohl das SPN1 als auch das RSI-Gerät zeigen eine breite Datenstreuung für niedrigere Bestrahlungsstärken unter 400 W/m². Für das SPN1 zeigen die Ergebnisse eine mittlere Abweichung von etwa 9% vom Pyrheliometer bei 600W/m², was in guter Übereinstimmung mit früheren Studien steht (Badossa et al. (2014), D.R. Myers (2010), Rommel und Larcher (2015) und Rommel et al. (2016)). Darüber hinaus zeigt sie bei einer Bestrahlungsstärke von 800W/m² nur eine Abweichung von 3,4%. Für den RSI variiert die Abweichung je nach Jahreszeit, im Sommer 5% und im Winter 15% je nach Sonnenstand. Wir kommen zu dem Schluss, dass beide alternativen Geräte, SPN1 und RSI, zuverlässige Messungen des DNI bei Bereichen über 600W/m² zeigen und für die Feldüberwachung von Solaranlagen mit konzentrierenden Kollektoren als kostengünstige Alternative zum Pyrheliometer geeignet sind.

4.2 Subtask 2.4: Fazit und Ausblick

Dynamische Simulationen mit TRNSYS wurden verwendet um den Einfluss unterschiedlicher Wetterdatensätze auf die Systemeffizienz einer Solar-Eis-Heizung in einem Referenz-Mehrfamilienhaus zu untersuchen. Für sechs verschiedene Standorte in der Schweiz wurden Simulationen verglichen, für welche gemessene Wetterdaten der letzten 14 Jahre bzw. synthetische Wetterdatensätze verwendet wurden. Diejenigen synthetischen Wetterdatensätze sollten identifiziert werden, mit welchen die Systemeffizienz der 14-Jahres Simulation am besten abgeschätzt wird. Als synthetische Wetterdatensätze wurden drei verschiedene Mittelungsmethoden (HMY, DMY und MMY), die *Typical Meteorological Year Methode* (TMY), die *Design Reference Years* der SIA (SIA-DRY) sowie die Datensätze *Wetterstation* und *Design Reference Year* von Meteonorm (MN-WS und MN-DRY) verwendet. Der *Seasonal Performance Factor* (SPF_{SHP+}), welcher als Parameter zur Beurteilung der Effizienz verwendet wurde, wird mit den Wetterdatensätzen HMY, SIA-DRY und TMY am genauesten abgeschätzt. Die durchschnittliche absolute Abweichung des SPF_{SHP+} beträgt beim HMY 5.5%. SIA-DRY und TMY kommen auf eine Abweichung von 6.0 bzw. 6.3%. Dass die SIA-DRY Datensätze so gut abschneiden ist insbesondere deshalb interessant, weil sie auf älteren Daten beruhen und damit die Klimaentwicklung der letzten Jahre nicht berücksichtigen.

Für zukünftige Untersuchungen sollen verschiedene Systeme verglichen werden. So sollen Net Zero Energy Buildings (NZE) Simuliert werden, welche den Strombedarf durch PV abdecken. Für den Wärmebedarf sollen drei verschiedene Quellen verglichen werden: Luft, Erde und Solar-Eis. Ein entsprechender Abstract wurde angenommen für die EU-PVSEC.

Da die Verlängerung des PVPS Task 16 im Zeichen zukünftiger Wetterdaten steht, soll zusätzlich der Einfluss verschiedener Zukunftsszenarien auf unterschiedliche Systeme untersucht werden. Dabei soll die Strahlungsentwicklung der Vergangenheit miteinbezogen werden. Insbesondere soll der Einfluss auf die Notwendigkeit von verschiedenen Speichertypen (stündlich bis saisonal) ausgewertet werden.

Des Weiteren wären Untersuchungen zu den Extremjahren der SIA interessant: Wie genau stimmen Simulationen mit SIA-Extremjahren mit Simulationen welche gemessene Extremjahren verwenden überein?



5 Ausblick und zukünftige Umsetzung

Im Sommer 2020 startet offiziell die Verlängerung des PVPS Task 16 “Solar resource for high penetration and large scale applications” der Internationalen Energieagentur IEA. Der Task dauert bis zum Sommer (31. Juni) 2023, die Leitung des Tasks liegt bei Jan Remund (Meteotest, Schweiz).

Es ist eine weitere aktive Teilnahme an der Verlängerung des IEA PVPS Task 16 geplant, wobei die Arbeiten zur Analyse von Strahlungsmessgeräten als abgeschlossen gelten. Folgende Ziele in Verbindung mit den jeweiligen teils neuen Task-Aktivitäten sollen in der zukünftigen Phase des Projektes vom SPF verfolgt werden:

Es sollen weiterhin mehrjährige Wetter-Datensätze (Einstrahlung, Temperatur, Luftfeuchtigkeit) untersucht werden und sowohl künstlich generierte als auch gemessene Datensätze verglichen werden. Untersuchungen der Unsicherheit und unterschiedlicher Methoden sind dabei Kernthemen. Ein zusätzlicher Fokus soll auf die RCP (Representative Concentration Pathway) -Szenarien und den Klimawandel gelegt werden.

Im einem neuen Arbeitspaket steht der Übergang von volatiler zu grundlastfähiger Solarstrom-Produktion im Mittelpunkt. Dabei sollen neben verschiedenen technischen Aspekten auch die ökonomischen Hürden und Chancen beurteilt werden. Für die Arbeiten des SPF sollen dabei Korrelationen zwischen solaren Ressourcen und anderen erneuerbaren Energieressourcen wie Wind oder Wasser im Zeitraum von Tagen, Wochen, oder Jahreszeiten und Schlussfolgerungen für die Evaluierung des Marktwertes von Solarenergie in zukünftigen Energiesystemen mit hohem Anteil von erneuerbaren Energien untersucht werden.

6 Nationale und internationale Zusammenarbeit

6.1 Konferenzen, Synergien und Networking

Die inhaltliche Grundlage für die Arbeiten zum Subtask 1.1 wurde in 2017 bei verschiedenen Veranstaltungen präsentiert, z.B. dem 27. Symposium Thermische Solarenergie vom 10. – 12. Mai 2017 in Bad Staffelstein oder der SolarPACES 2017- Solar Power & Chemical Energy Systems Konferenz in Santiago de Chile (26. – 29. September 2017).

2018 hat das SPF den 3. Expertenworkshop für den PVPS Task 16 in Rapperswil organisiert. Dort wurden die Ergebnisse zu Subtask 1.1. von Dr. Mercedes Rittmann-Frank (SPF), sowie erste Ergebnisse zu Subtask 2.4 von Dr. Daniel Carbonell (SPF) präsentiert.

2019 war das SPF am Austausch zwischen den beiden PVPS Tasks 13 und 16 in Utrecht 2.-4. April beteiligt.



Abbildung 6.1: Teilnehmende am Austausch zwischen IEA PVPS Task 13 und 16 in Utrecht April 2019.

Am Symposium-Solarthermie in Bad Staffelstein (21.-23. Mai 2019) wurden dann die damals aktuellsten Ergebnisse der SPF Untersuchungen zum Subtask 2.4 präsentiert.

Die geplante Teilnahme am 5. Expertenmeeting in Santiago de Chile am 11./12. November hatten wir aufgrund der schwierigen Situation vor Ort kurzfristig abgesagt.

Auf der EU-PVSEC in Marseille (9.-13.9.2019) war das SPF zwar vertreten, es gab aber keine für uns relevanten Workshops im Rahmen des PVPS Task 16.

Am 6.4.2020 hat das SPF beim PVPS Task 16 Online Meeting (Welches aufgrund der Covid-19 Pandemie anstelle des Meetings in Rom stattfand) die neusten Ergebnisse zum Subtask 2.4 in einem Vortrag präsentiert.

Für die EU-PVSEC 2020 (welche online stattfinden wird) wurde ein Abstract bezüglich weitere Arbeiten des SPF zu Subtask 2.4 angenommen, die Ergebnisse sollen dann am 09.09.2020 in einer online Poster Präsentation vorgestellt werden.

Austausch zwischen verschiedenen Projekten gab es beim Task 2.4 diverse:

Beim Projekt **BigIce** (Bewertung von Solar-Eis-Systemen für Mehrfamilienhäusern und Gebäuden aus dem Dienstleistungssektor) werden auch Solar-Eis Systeme untersucht, jedoch nur mit Daten von SIA. Das Ziel von diesem Projekt ist es, das Potenzial von Solar-Eis-Systemen für grosse Gebäude zu quantifizieren. Da das Projekt auf der gleichen Simulationsmethodik beruht, konnte diese so in beiden Projekten weiterentwickelt werden.

Bei **SolTherm2050** (*Chancen durch Solarwärme und thermische Energiespeicher für das Energiesystem Schweiz 2050*) werden verschiedene Systeme simuliert. Das Ziel dieses Projektes ist das Potenzial von Solarwärme in Kombination mit thermischen Energiespeichern abzuschätzen. Dabei



werden Simulationen auf Gebäudeebene und Simulationen auf Energiesystemebene durchgeführt. Parallel dazu werden Hürden, Chancen und Rahmenbedingungen untersucht. Schliesslich sollen die Stärken und Schwächen dieser Technologien bezeichnet werden, um aufzeigen zu können, wie Solarthermie und thermische Energiespeicher am besten zur Energiestrategie 2050 beitragen können. Einerseits konnte das erarbeitete Knowhow aus dem SolResHC Projekt verwendet werden um ein allgemeines, synthetisches Wetterdatenfile für die Schweiz zu erstellen, andererseits können Systeme welche für SolTherm2050 simuliert wurden als Grundlage genommen werden um die *Net Zero Energy Buildings* (NZEB) zu simulieren. Bei SolTherm2050 gibt es eine Zusammenarbeit mit der HSLU, der ETH, und Anderen.

Die Ergebnisse zu den *Net Zero Energy Buildings* können für das Projekt **TRI-HP** (*Dreifach-Generierungssysteme basierend auf Wärmepumpen mit natürlichen Kältemitteln und mehreren erneuerbaren Quellen* – ein H2020 Projekt in Zusammenarbeit mit zahlreichen in- und ausländischen Unternehmen und Instituten) verwendet werden. Bei diesem Projekt werden Tri-Generationssysteme (Heizung, Kühlung und Strom) entwickelt, basierend auf Solarthermie, Eisbreispeicher, Kältemittelwärmepumpen, PV und Batterien. Teil dieses Projektes sind NZEB Simulationen.

Schliesslich soll für das Projekt **SolSimCC** der Effekt der Klimaerwärmung und der daraus resultierenden Veränderung des Benutzerverhaltens auf die Performance und die Rentabilität von gebäudeintegrierten solaren Energiesystemen analysiert werden. Auch hier können die bisherigen Erfahrungen und Simulationen mit verschiedenen Wetterdaten nützlich sein.

Allgemeine Diskussionen bezüglich Wetterdaten gab es via E-Mail mit Jan Remund von Meteonorm.

7 Literaturverzeichnis und Publikationen

- [1] D. Carbonell, D. Philippen, M. Granzotto, M.Y. Haller, Simulation of a solar-ice system for heating applications. System validation with one-year of monitoring data, *Energy and Buildings*. 127 (2016) 846–858. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.06.058>.
- [2] MeteoSwiss, MeteoSwiss, (2019). <https://gate.meteoswiss.ch/idaweb/>.
- [3] SIA Merkblatt 2028: Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2010.
- [4] Meteotest, METEONORM 7.3.1: Global meteorological database for solar energy and applied climatology, (2019). <https://meteonorm.com/> (accessed April 9, 2019).
- [5] S. Wilcox, W. Marion, Users Manual for TMY3 Data Sets, Technical Report. (2008). <https://www.nrel.gov/docs/fy08osti/43156.pdf>.
- [6] CSIRO Data61 2017, aremi-tmy - A tool to work out Typical Meteorological Year (TMY) from ground weather station observations and satellite solar irradiance data., (2017). <https://github.com/NICTA/aremi-tmy> (accessed November 4, 2019).



- [7] J.M. Finkelstein, R.E. Schafer, Improved goodness-of-fit tests, *Biometrika*. 58 (1971) 641–645. <https://doi.org/10.1093/biomet/58.3.641>.
- [8] J. Remund, E. Salvisberg, S. Kunz, On the generation of hourly shortwave radiation data on tilted surfaces, *Solar Energy*. 62 (1998) 331–344. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(98\)00020-6](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(98)00020-6).
- [9] S.A. Klein et al, TRNSYS 17: A Transient System Simulation Program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA, (2010). <http://sel.me.wisc.edu/trnsys>.
- [10] D. Carbonell, M. Battaglia, D. Philippen, M.Y. Haller, Numerical and experimental evaluation of ice storages with ice on capillary mat heat exchangers for solar-ice systems, *International Journal of Refrigeration*. 88 (2018) 383–401. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2018.02.007>.
- [11] D. Carbonell, D. Philippen, M.Y. Haller, S. Brunold, Modeling of an ice storage buried in the ground for solar heating applications. Validations with one year of monitored data from a pilot plant, *Solar Energy*. 125 (2016) 398–414. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.009>.
- [12] D. Carbonell, M. Battaglia, D. Philippen, M. Haller, Cost-Energetic Analyses of Ice Storage Heat Exchangers in Solar-Ice Systems, in: *Proceedings of SWC2017/SHC2017*, International Solar Energy Society, Abu Dhabi, 2017: pp. 1–12. <https://doi.org/10.18086/swc.2017.33.02>.
- [13] I. Mojic, M. Luzzatto, M. Haller, M. Lehmann, M. Benz, S. Van Velsen, ImmoGap - Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance Gap bei Mehrfamilienhäuser, SPF Institut für Solartechnik, HSR Hochschule für Technik Rapperswil, 2018.
- [14] I. Malenkovic, S. Eicher, J. Bony, Definition of main system boundaries and performance figures for reporting on SHP systems, IEA SHC Task 44/HPP Annex 38, Deliverable B1, Final Edition. (2013).
- [15] M.Y. Haller, R. Dott, J. Ruschenburg, F. Ochs, J. Bony, The Reference Framework for System Simulations of the IEA SHC Task 44/HPP Annex 38 Part A: General Simulation Boundary Conditions, IEA SHC Task 44 / HPP Annex 38, Report C1 Part A. (2013).
- [16] D. Carbonell, J. Schmidli, D. Philippen, M. Haller, Solar-ice systems for multi-family buildings: hydraulics and weather data analysis, in: *Clima 2019*, Bucharest, Rumänien, 2019. Manuskript akzeptiert.
- [17] J. Schmidli, D. Philippen, D. Carbonell, M. Haller, Vergleich des Einflusses unterschiedlicher Wetterdatensätze auf die Systemeffizienz von Solar-Eis-Systemen, in: *Symposium Solarthermie und Innovative Wärmesysteme 2019*, Conexio GmbH, Bad Staffelstein, 2019.
- [18] SIA, SIA Merkblatt 2028: Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik, (2010).