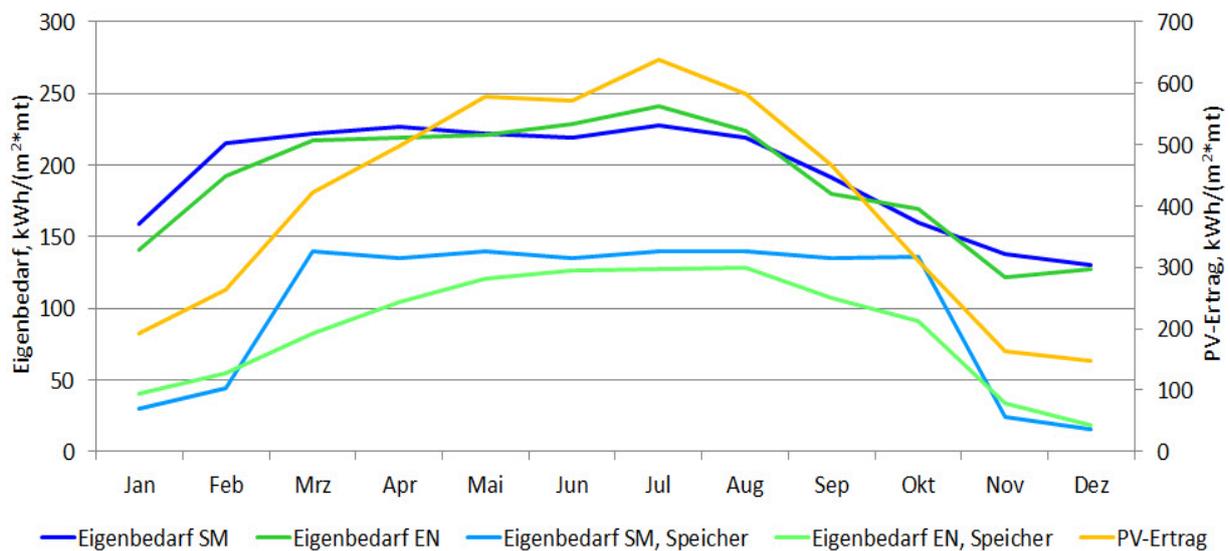




Monika Hall, Bastian Burger, 22.08.2016

## Grundlagen für PV-Stundenmodell "einfach"

Entwicklung einer einfachen Methodik zur Bilanzierung des PV-Ertrags und des Strombedarfs unter Berücksichtigung von Tag-/Nachstunden



### **Auftraggeber**

Konferenz Kantonaler Energiefachstellen (EnFK)  
Arbeitsgruppe MuKE  
Haus der Kantone  
3000 Bern

BFE  
Bundesamt für Energie  
Herr Olivier Meile  
Mühlestrasse 4  
3063 Ittingen

### **Auftragnehmer**

Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW  
Institut Energie am Bau IEBAU  
St. Jakob Strasse 84  
4132 Muttenz  
[www.fhnw.ch/habg/iebau/](http://www.fhnw.ch/habg/iebau/)

### **Autorin**

Dr. Monika Hall  
Dipl. Ing. Bastian Burger

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	5
2	Ziel	7
3	Beschreibung der zu vergleichenden Ansätze	8
3.1	Methode simplified monthly nach Lichtmess	8
3.1.1	Überblick	8
3.1.2	Stunden mit relevanter solarer Einstrahlung	8
3.1.3	Verteilung elektrischer Bedarf, Gleichzeitigkeit	9
3.1.4	Batteriesystem	9
3.1.5	Umsetzung in Excel	10
3.2	Modell Enerflex	11
4	Gegenüberstellung simplified monthly und Enerflex	12
4.1	Übersicht der Methodik	12
4.2	Vergleich Ergebnisse beider Modelle	13
4.2.1	Vergleich verschiedener PV-Leistungen	13
4.3	Einfluss der Methodik auf die Ergebnisse	15
4.3.1	Ausrichtung der PV-Anlage	15
4.3.2	Bedarf	15
4.3.3	Bedarfsprofile und Bedarfsoptimierung	16
5	Diskussion der Modelle und Ergebnisse	17
6	Vorschlag zur standardisierten Bilanzierung	20
7	Anhang	24
7.1	Vergleich der Parameter und Defaultwerte der Eingaben beider Modelle	24
7.1.1	Angaben zum Gebäude	24
7.1.2	Wärmebedarf und -erzeugung	25
7.1.3	Hilfsenergie	28
7.1.4	Lüftung	29
7.1.5	Kühlung	30
7.1.6	Haushaltsstrom	31
7.1.7	Beleuchtung	32
7.1.8	Photovoltaik	33
7.2	Basiseingaben Standardgebäude	35
7.3	Grafiken Auswertung	36
7.3.1	Gleichzeitigkeit beim Mehrfamilienhaus und verschieden grossen PV-Anlagen	36
7.3.2	Gleichzeitigkeit beim Einfamilienhaus und verschieden grossen PV-Anlagen	36
7.3.3	Unterschiede der Eigenbedarfs- und Eigendeckungsrate bei verschieden grossen PV-Anlagen	37

7.3.4	PV-Anlagen und unterschiedlicher Anlagenausrichtung	38
7.3.5	Einfluss unterschiedlicher Bedarfs Beleuchtung	39
7.3.6	Einfluss unterschiedlichen Bedarfs der Haushaltsgeräte	40
7.3.7	Einfluss der Globalstrahlungsgrenze auf SRE-Faktoren	41
7.3.8	Einfluss Globalstrahlungsgrenze auf Eigenbedarfs- und Eigendeckungsrate	42
7.3.9	Einfluss Steuerung Wärmeerzeugung bei unterschiedlichem Bedarf	43
7.3.10	Einfluss Steuerung Brauchwarmwassererwärmung	44

# 1 Zusammenfassung

Die politische Stossrichtung von Bund und Kantonen zielt auf eine Netzentlastung, d.h., dass der Eigenverbrauch von PV-Ertrag wie auch die Eigendeckung des Strombedarfs erhöht werden soll. In der momentan üblichen Jahresbilanzierung kann die Zeitgleichheit bzw. Zeitungleichheit von PV-Ertrag und Strombedarf nicht berücksichtigt werden. Bund und Kantone haben zum Ziel, ein Instrument zu entwickeln, mit dem der Eigenverbrauch, die Eigendeckung sowie der Netzbezug und die Netzeinspeisung von Gebäuden einfach und schnell, aber mit genügender Genauigkeit, berechnet werden kann.

Diese Untersuchung vergleicht zwei Methoden – eine vereinfachte Monatsbilanzmethode und eine Stundenbilanzmethode – um die Zeitgleichheit von PV-Ertrag und Strombedarf in der Bilanzierung des Eigenverbrauchs bzw. der Eigendeckung zu berücksichtigen und gibt eine Empfehlung zur Umsetzung für ein Berechnungsinstrument ab.

Eine praxistaugliche Methodik muss allgemein verständlich in Bezug auf die Rechenweise und ohne grossen zusätzlichen Mehraufwand für den Anwender nutzbar sein. Die Methodik soll zudem den gesetzlichen Anforderungen an Gebäude gerecht werden und sich auf diese in Bezug auf Berechnungen oder verwendete Vorgabewerte abstützen. Sie muss die wesentlichen Energieflüsse im Gebäude berücksichtigen und die Möglichkeit bieten, die Eigenstromnutzung zu optimieren.

Die Monatsbilanz "simplified monthly" (SM) nach (Lichtmess & Lavandier, 2015) berücksichtigt die durchschnittliche Anzahl Stunden mit relevanter Einstrahlung eines Durchschnittstags pro Monat und geht von Bandlasten des Bedarfs aus. Basierend auf dieser Methodik wird ein Excel-Recheninstrument erstellt. Das an der FHNW entwickelte, auf einer Stundenbilanzierung basierende Berechnungsinstrument "Enerflex" (EN) rechnet mit hinterlegten Klimadaten und Nutzungsprofilen und bietet eine Vielzahl an Eingabemöglichkeiten. Es ist grösstenteils SIA kompatibel. Beide Methoden werden im Hinblick auf die genannten Anforderungen sowie auf die Methodik, Möglichkeiten der Eingabe von Gebäudedaten und hinsichtlich der erhaltenen Ergebnisse verglichen.

Ausgehend von den durchgeführten Untersuchungen wird empfohlen, zur Berechnung des Eigenverbrauchs eine Variante "Enerflex light" zu verwenden:

- Berechnung auf Basis von Stundenwerten
- ausschliessliche Berücksichtigung des elektrischen Bedarfs (auch für die Wärmeerzeugung)
- Auswahl der Standardwerte gemäss Empfehlung in Kapitel 6, z.B.:
  - Verwendung von Standardwerten gemäss SIA MB 2024
  - Verwendung des Standardwertes für Warmwasser nach SIA 380/1
- Verwendung von Profilen gemäss SIA MB 2024
- Zwingende externe Berechnung des monatlichen Heizwärmebedarfs und PV-Ertrags
- Berücksichtigen folgender Mechanismen:
  - Verteilung des extern berechneten monatlichen PV-Ertrags auf Stundenerträge anhand von der Berechnung der Einstrahlung auf beliebig geneigte und gedrehte Fläche
  - Verteilung des monatlichen Heizwärmebedarf auf Stunden anhand einer Heizgrenztemperatur

- Berücksichtigung der Globalstrahlung und des Anteils tageslichtunabhängiger Beleuchtung bei der Bestimmung der Verteilung „Bedarf Beleuchtung“
- die Steuerung der Betriebszeiten des Wärmeerzeugers ermöglichen
- ein Berechnungsmodell „elektrischer Speicher“ vorsehen

Diese Empfehlungen beruhen darauf, dass

- EN durch die Stundenbilanzierung plausiblere Ergebnisse für eine grössere Bandbreite an Gebäudespezifikationen (z.B. grosse PV-Anlagen oder elektrische Speicher, sehr grosser Bedarf, ...) als SM ergibt. Grundsätzlich ergeben SM und EN für übliche Spezifikationen (z.B. EFH mit 5 kWp und 5 kWh-Speicher) sehr gut übereinstimmende Ergebnisse.
- eine Optimierung (z.B. Steuerung Wärmeerzeuger und Haushaltsgeräte) bei SM nicht vorgesehen ist, obwohl die Eigenbedarfsrate durch die Lastverschiebung der Wärmeerzeugung in den Tag um etwa 10% steigt.
- der Einfluss von Personenprofilen bei Verwaltung und Schule vermutlich wesentlich grösser als bei Wohnen ist, bei SM aber nicht abgebildet werden kann.
- SIA MB 2031 im Vernehmlassungsentwurf eine Stundenbilanzierung fordern und
- SIA 380 u.a. eine Momentan-Bilanz anbietet, wobei der vorgeschlagene Bilanzierungsschritt vorläufig die Berechnungsperiode sein soll. Dies soll ändern, sobald die eigenproduzierte Energie von Gebäuden keine untergeordnete Rolle für die schweizerische Elektrizitätserzeugung mehr spielt.
- Effekte von Optimierung und Profilen bei SM mit zusätzlichen zeitlichen und funktionalen Korrekturfaktoren abgebildet werden könnten. Da diese auf Stundenwerten basierend berechnet werden und für den Anwender nicht mehr nachvollziehbar sind, wird dieses Vorgehen als Nachteil gewertet.

Von der EnFK sind folgende Entscheidungen nötig:

- Entscheid für eines der Modelle
- Festlegen der Eingangsgrössen
- Festlegen der Standardwerte und deren Grundlagen
- Festlegen zulässiger externer Berechnungen (Grundlagen, Tools)
- Erstellen Instrument

## 2 Ziel

Zur zukünftigen Berücksichtigung der Interaktion von Gebäuden mit PV-Anlagen mit dem elektrischen Netz soll ein einfaches, nachvollziehbares, für den breiten Einsatz in der Planungsphase geeignetes Berechnungsinstrument erstellt werden. Entscheidende Faktoren sind die Einfachheit der Eingaben (bzw. der Aufwand zu der Ermittlung von Eingabegrößen), die Nachvollziehbarkeit der Berechnung und die Plausibilität der Ergebnisse.

Um den Mehraufwand für den Anwender möglichst gering zu halten, sollen, wo möglich, im Rahmen des üblichen Baubewilligungsverfahrens ermittelte Werte verwendet werden. Für weitere nötige Eingaben sollen Standardwerte vorgeschlagen oder mit freiwilligen, ergänzenden Berechnungen günstigere und optimierte berechnete Werte verwendet werden können (analog der z.B. bei Minergie bewährten Praxis).

Konkret werden zwei Ansätze verglichen: die auf Monatswerten basierende Methode "simplified monthly" und die auf Stundenwerten basierende Berechnung mit dem an FHNW erstellten Berechnungstool "Enerflex". Dabei sollen die Methodik wie auch die Ergebnisse von Berechnungen verglichen und abschliessend eine Empfehlung abgegeben werden.

Folgende Begriffe, Abkürzungen und Definitionen werden verwendet:

Begriff	Einheit	Definition
SM	-	Methode "simplified monthly" nach Lichtmess (Lichtmess & Lavandier, 2015)
EN	-	Modell Enerflex
SRE	h	Mittlere monatliche Anzahl Stunden pro Tag mit relevanter Einstrahlung (entspricht der Dauer, in der PV-Ertrag zur Verfügung steht)
Eigenstromnutzung	kWh	Durch zeitgleichen PV-Ertrag gedeckter Bedarf
Eigenbedarfsrate	%	Anteil PV-Ertrag, der zeitgleich genutzt wird
Eigendeckungsrate	%	Anteil Bedarf, der zeitgleich gedeckt wird
Netzeinspeisung	kWh	Energiemenge, die ins Netz eingespeist wird
Netzeinspeisungsrate	%	Anteil des PV-Ertrags, der eingespeist wird
Netzbezug	kWh	Energiemenge, die aus dem Netz bezogen wird
Netzbezugsrate	%	Anteil des Bedarfs, der aus dem Netz bezogen wird
Gleichzeitigkeit	-	Vereinfachend stellvertretend für Eigenstromnutzung, Eigenbedarfs- oder Eigendeckungsrate verwendet

### 3 Beschreibung der zu vergleichenden Ansätze

#### 3.1 Methode simplified monthly nach Lichtmess

##### 3.1.1 Überblick

Die Methode "simplified monthly" (SM) wurde von Dr. Ing. Markus Lichtmess als Ergänzung zur bisherigen monatlichen Energiebilanzierungen entwickelt (Lichtmess & Lavandier, 2015). Mit einer einfachen Ergänzung von Monatsfaktoren soll die Zeitgleichheit von elektrischem Bedarf und PV-Ertrag berücksichtigt werden.

Zur Bestimmung der Monatsfaktoren wird für jeden Monat die durchschnittliche tägliche Anzahl Stunden mit relevanter Einstrahlung (entspricht Stunden mit Stromertrag aus Photovoltaik) auf Basis der Klimadaten und Eigenschaften der PV-Anlage bestimmt. Der elektrische Monatsbedarf (Annahme: konstanter Bedarf während allen Monatsstunden) wird anteilmässig in zwei Teilbedarfe aufgeteilt: Bedarf in Zeiten mit Stromertrag und Bedarf in Zeiten ohne Stromertrag. Anhand dieser Aufteilung können nach der optionalen Berücksichtigung eines elektrischen Speichers die Eigendeckung, der Eigenbedarf und weitere Kenngrößen ermittelt werden. Abbildung 1 zeigt die Energiebilanz nach SM (ohne elektrischen Speicher) für ein Mustergebäude (EFH) mit einer PV-Anlage mit 2.5 kWp bei südlicher Ausrichtung und einem Anstellwinkel von 30°.

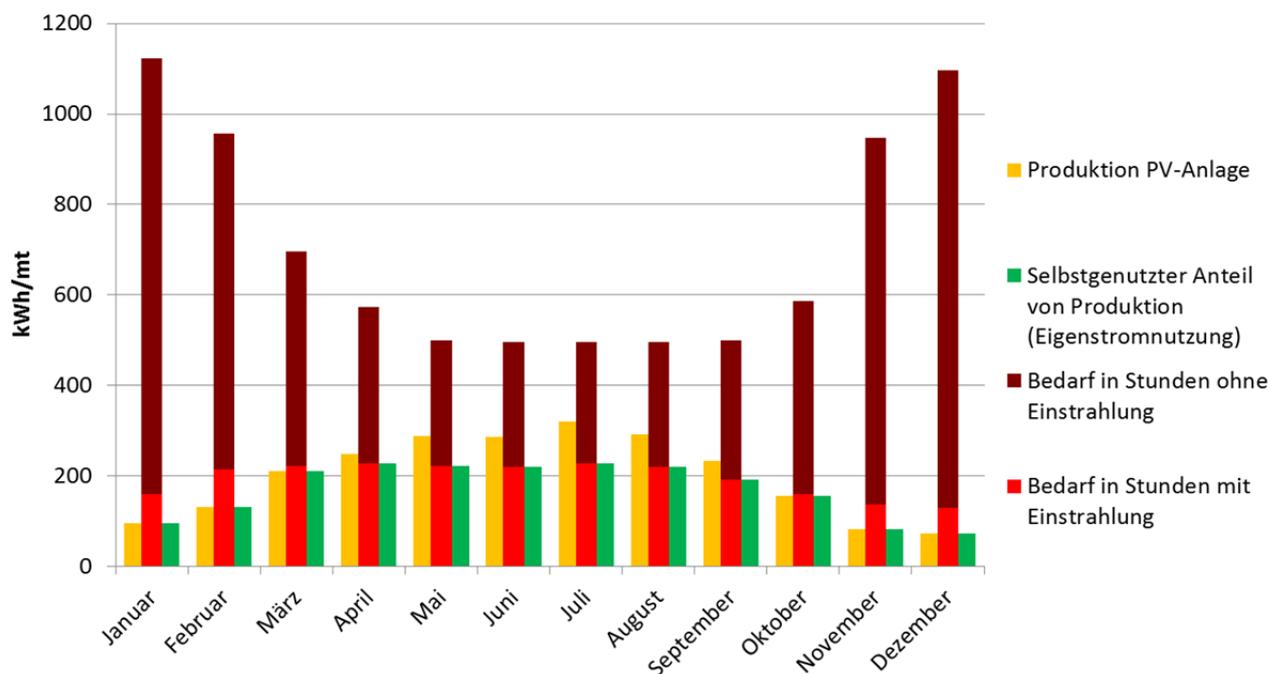


Abbildung 1 Monatliche Energiebilanz nach SM

##### 3.1.2 Stunden mit relevanter solarer Einstrahlung

Ausgehend von durchschnittlichen PV-Anlagewerten wird die Grenz-Einstrahlungsintensität zu  $75 \text{ W/m}^2$  bestimmt, unterhalb der kein Stromertrag mit Photovoltaik stattfindet.

Je nach Ausrichtung und Neigung der Anlage wird anhand der Globalstrahlungsdaten für Luxemburg (Meteonorm) die Einstrahlung pro Stunde berechnet. Für jeden Monat wird nun die

mittlere tägliche Anzahl Stunden mit Stromertrag (Summe der Stunden des Monats, in denen die Globalstrahlung über der Grenzeinstrahlungsintensität liegt geteilt durch die Anzahl Tage des Monats) bestimmt. Diese mittlere tägliche Anzahl Stunden mit relevanter Einstrahlung für den Stromertrag werden im Folgenden als SRE-Faktoren bezeichnet.

Da das Verhältnis der täglichen Stunden mit relevanter Einstrahlung zur Anzahl Stunden pro Tag gleich dem Verhältnis der monatlichen Stunden mit relevanter Einstrahlung zur Anzahl Stunden im Monat ist, können die SRE-Faktoren direkt mit dem Monatsbedarf verrechnet werden.

Vereinfachend wird in SM nur nach den vier Haupthimmelsrichtungen unterschieden. Unabhängig von der effektiven PV-Anlageneigung wird der Durchschnitt aus der Solarstrahlung für die Neigung 0° (horizontal) und 90° (vertikal) zur Berechnung der SRE-Faktoren verwendet.

### 3.1.3 Verteilung elektrischer Bedarf, Gleichzeitigkeit

Basierend auf einem als bekannt vorausgesetzten monatlichen elektrischen Bedarf wird dieser gleichmässig auf alle Monatsstunden verteilt. Folgende Komponenten werden berücksichtigt:

- Heizung
- Warmwasser
- Hilfsenergie für Heizung und Warmwasser
- Lüftung
- Kühlen (Nicht-Wohngebäude)
- Beleuchtung (Nicht-Wohngebäude)
- Haushaltsstrombedarf (sofern dieser einbezogen werden soll)

Die Summe der monatlichen Bedarfswerte wird anteilmässig durch die SRE-Faktoren in zwei Teilstrombedarfswerte (Bedarf in Stunden mit Stromertrag und Bedarf in Stunden ohne Stromertrag) aufgeteilt. Bei einem SRE-Faktor von 3 (Dezember, Süd-Ausrichtung) teilt sich ein monatlicher elektrischer Bedarf von 100 kWh auf in die Teilstrombedarfswerte von  $\frac{3}{24} \cdot 100 = 12.5$  kWh in Stunden mit Stromertrag und  $\frac{21}{24} \cdot 100 = 87.5$  kWh in Stunden ohne Stromertrag.

Folgende Grössen lassen sich nach der Eingabe der monatlichen PV-Erträge ermitteln:

- Monatlicher Strombedarf
- Eigenbedarf/-srate (Anteil des PV-Ertrags, der zeitgleich genutzt wird)
- Eigendeckung/-srate (Anteil des Bedarfs, der zeitgleich gedeckt wird)
- Netzeinspeisung/-srate (Anteil des PV-Ertrags, der eingespeist wird)
- Netzbezug/-srate (Anteil des Bedarfs, der aus dem Netz bezogen wird)

### 3.1.4 Batteriesystem

Mit einem einfachen Ansatz wird die Wirkung eines elektrischen Speichers berücksichtigt und der damit zusätzlich nutzbare Anteil des PV-Ertrags bestimmt. Die monatlich nutzbare Kapazität entspricht dem Produkt der Anzahl Tage des Monats und der nutzbaren Speicherkapazität.

D.h., es wird davon ausgegangen, dass die Batterie täglich komplett be- und entladen wird. Es werden konstante Verluste bei der Be- und Entladung berücksichtigt.

Es wird zudem eine Methode zur auf den Gebäudedaten basierenden Berechnung der optimalen elektrischen Speichergrösse beschrieben.

### 3.1.5 Umsetzung in Excel

Zur Durchführung des Modellvergleichs wird ein einfaches Excel-Tool auf Basis der beschriebenen Methode für Wohnbauten erstellt. Das Modell SM geht davon aus, dass für alle Komponenten der elektrische Monatsbedarf bekannt ist. Bei einem möglichen Einsatz in der Schweiz sind hingegen oft nur die Standardwerte des Jahresbedarfs (z.B. Bedarf Haushaltsgeräte) bekannt. Daher wird die Eingabe folgendermassen umgesetzt: sofern bekannt, kann der elektrische, monatliche Bedarf eingegeben werden. Für alle anderen Fälle wird das Modell SM mit folgenden Möglichkeiten ergänzt:

- Eingabe eines selbst ermittelten Jahresbedarfs
- Übernahme eines Standardjahresbedarfs (Basis SIA MB 2024)

Dies gilt jeweils für folgende Komponenten:

- Warmwassererzeugung (Wärmebedarf)
- Lüftung (elektrischer Bedarf)
- Beleuchtung (elektrischer Bedarf)
- Haushaltstrom (elektrischer Bedarf)

Bei der Verwendung von Jahresbedarfswerten werden diese jeweils gleichmässig auf alle Monate verteilt.

In der Schweiz ist für Heizung und Warmwasser üblicherweise der Wärmebedarf und nicht der elektrische Bedarf bekannt. Das Modell SM wird deshalb ergänzt durch die Eingabe einer JAZ oder des elektrischen Nutzungsgrades der Wärmeerzeugung getrennt für Heizung und Warmwasser.

Da in der Schweiz die Berechnung des effektiven monatlichen Heizwärmebedarfs ( $Q_{\text{eff}}$ , [kWh/(m<sup>2</sup>\*mt)]) Teil des Baubewilligungsverfahrens ist, muss dieser zwingend durch den Anwender eingegeben werden.

Exemplarisch wurden die SRE-Faktoren für die Klimastation Zürich und für die Ausrichtungen Süd und Ost mit Polysun [Version 8.1.9.] berechnet. Entsprechend der SM wurden die SRE-Faktoren aus dem Mittelwert der Neigungen 0° und 90° berechnet und werden im Excel unabhängig der effektiven Anlagenneigung verwendet.

Der monatliche PV-Ertrag der PV-Anlage ([kWh/mt]) muss vom Anwender eingegeben werden. Diese Werte liegen dem Planer in der Regel vor.

Die von Lichtmess vorgeschlagene Berechnung der optimalen Kapazität der Batterie wurde vorerst nicht umgesetzt, stattdessen muss die nutzbare Kapazität durch den Anwender erfasst werden.

### 3.2 Modell Enerflex

Im Rahmen eines vom Bundesamt für Energie BFE geförderten Forschungsprojektes wurde ein auf Excel basierendes Berechnungsinstrument "Enerflex" (EN) erstellt, das auf Basis von Stundenwerten die Gleichzeitigkeit von elektrischem Ertrag und Bedarf berechnet. Entsprechend dem von der Planungs- bzw. Bauphase abhängigen Kenntnisstand können Standardwerte und / oder berechnete Werte oder Messwerte für die Bilanzierung verwendet werden.

Zur Berechnung der Gleichzeitigkeit werden stundenweise der Bedarf und dessen Deckung ermittelt. Die Verteilung auf Stunden erfolgt dabei anhand von Eingaben (z.B. Monatsbedarf Heizwärme und Heizgrenztemperatur), Klimadaten (z.B. Aussentemperatureinfluss auf Bedarf der Kühlung oder Tageslichteinfluss auf Bedarf für Beleuchtung) oder anhand von Nutzungsprofilen (Merkblatt SIA MB 2024). Die Bilanzierung erfolgt auf Stundenbasis. Bei der Bilanzierung können auch Primärenergiegewichtungs- und Treibhausgasemissionsfaktoren miteinbezogen werden.

EN ist vorerst auf die Gebäudekategorien I - IV (MFH, EFH, Verwaltung, Schule) beschränkt, weitere können jedoch hinzugefügt werden.

Durch die grosse Flexibilität der Eingabe und die grosse Bandbreite der nötigen Detailkenntnisse ist das Instrument in verschiedenen Bauprojektphasen nutzbar.

Im Variantenstudium können in möglicher Ermangelung jeglicher externer Berechnungen Standardwerte für alle Komponenten gewählt werden. Die Werte basieren sofern vorhanden auf dem SIA-Normenwerk. Wo nötig, sind die Werte anderen, fundierten Quellen entnommen. So lassen sich ohne zusätzliche Berechnungen verschiedene Konzepte schnell vergleichen.

Die Quantifizierung des Einflusses unterschiedlicher Wärmeerzeugungs- und Gebäudetechnikkomponenten oder von Massnahmen zur Optimierung der Gleichzeitigkeit (z.B. die Steuerung der Wärmeerzeugung, die bedarfsgerechte Steuerung der Lüftung, der Einsatz effizienter Geräte, ...) kann im Variantenstudium wie auch im Vorprojekt für den Planer und Bauherren von Interesse sein. Im Vorprojekt können z.B. unterschiedliche Auslegungen (z.B. Erdsonden- oder Luft-Wärmepumpe, Grösse elektrischer Speicher) und der Einfluss des Nutzverhaltens (Bedarf und Nutzungsprofile) verglichen werden. Der Verteilung des Bedarfs auf Stunden zugrunde liegende Werte (z.B. Heizgrenze) und Profile (z.B. Nutzungsprofil Küchengeräte) können bei Bedarf einfach auf besondere Situationen angepasst werden.

## 4 Gegenüberstellung simplified monthly und Enerflex

### 4.1 Übersicht der Methodik

Einen Vergleich der beiden Methoden gibt Tabelle 1.

Tabelle 1 Überblick der Methoden

	Simplified monthly	Enerflex	Bemerkung
Gebäudekategorie	Wohnen und Nicht-Wohngebäude	Wohnen, Schule, Verwaltung	Erweiterung bei beiden möglich
Klimastation / Gebäudestandort	SRE-Faktoren pro Station und Anlagenkonfiguration berechnet und hinterlegt	Stundenwerte der Klimastationen nach Meteoronorm hinterlegt (Globalstrahlung und Lufttemperatur)	Datensatz nach SIA 2028 bei EN möglich
Vorschläge für Standardwerte	Nein	Ja	
Zeitl. Auflösung der Eingaben	Monat	Jahr, Monat, Stunde	Profile zur Verteilung von Jahreswerten auf Monate bei SM nötig
Bilanzierungszeitschritt	Monat, aufgeteilt in Anteil mit/ohne Solarstrahlung	Stunde	
Basis der Bedarfsverteilung	Bandlast und monatliche SRE-Faktoren	Hinterlegte Monats- und Stundenprofile und stündliche Klimadaten	Benutzereinfluss in SM nicht bzw. kaum abbildbar
Erfassbare Energieträger für Wärmeerzeugung	Nur Elektrizität (bzw. elektrischer Anteil)	Alle üblichen	
Optimierung der Gleichzeitigkeit	Nicht möglich	Über Betriebszeiten (Wärmeerzeugung und Haushaltsgeräte) möglich	
Speicher (Batterie)	Berücksichtigt (Annahme: täglich vollständige Be- und Entladung)	Berücksichtigt (Stundenweise Betrachtung des Ladezustands)	
Umfang der Eingaben	gering	Gering bis detailliert wählbar	
SIA-Kompatibel	Nein	(Ja)	SIA 2031 ist noch in der Vernehmlassung, SIA 380 nicht spezifiziert

Eine detaillierte Gegenüberstellung der Eingaben, eine Übersicht über mögliche Grundlagen und eine Empfehlung hinsichtlich sinnvollerweise zu wählender Grundlagen ist in Anhang 8.1 angefügt.

## 4.2 Vergleich Ergebnisse beider Modelle

Um die Unterschiede der Ergebnisse zwischen beiden Modellen zu ermitteln, werden diverse Vergleichsrechnungen mit einem Standardgebäude (EFH) durchgeführt. Das Standardgebäude entspricht grösstenteils dem Musterantrag nach Minergie und wird wo nötig ergänzt. Die wichtigsten Kenngrössen sind folgende:

- Standort: Zürich
- EBF: 231 [m<sup>2</sup>]
- $Q_{h,eff}$ : ~70%  $Q_{h,li}$  (28.4 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)), Wärmepumpe JAZ (Heiz/BWW: 3.1/2.7)
- Lüftung und Hilfsenergie: 3.3 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)
- Beleuchtung und Haushaltsstrom: 18 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) (SIA MB 2024)
- Bedarf total elektrisch: 8'193 kWh/a (35.5 kWh/(m<sup>2</sup>\*a))
- PV-Leistung 5 kWp, 30°, Süd (sofern nicht anders deklariert)
- nutzbare Speicherkapazität des Batteriespeichers: 5 kWh (sofern nicht anders deklariert)

Detaillierte Angaben zum Gebäude sind im Anhang 8.1. beschrieben.

Im Folgenden wird der Einfluss verschiedener Parameter auf das Ergebnis dargestellt und diskutiert:

- Verschiedene Grössen der PV-Anlage
- Einfluss der Ausrichtung der PV-Anlage
- Höhe des Bedarfs
- Bedarfsprofile und Bedarfsoptimierung

Grundsätzlich sind die Ergebnisse im Hinblick auf andere Berechnungsmethoden (Eigenverbrauchsrechner von Basler & Hofmann, Unabhängigkeitsrechner von der HTW Berlin) plausibel. Die Ergebnisse konnten nicht mit gemessenen Gebäuden validiert werden.

### 4.2.1 Vergleich verschiedener PV-Leistungen

Abbildung 2 zeigt die Deckungs- und Bezugsraten für verschiedene Grössen der PV-Anlage im Vergleich zwischen SM und EN. Für eine 5 kWp-Anlage stimmen die Ergebnisse gut überein. Bei kleineren bzw. bei grösseren PV-Anlagen weichen die Ergebnisse leicht voneinander ab. Die Ursachen hierfür werden im Folgenden erläutert.

Entsprechende Berechnungen mit einem grösseren Mehrfamilienhaus (Kennwerte gem. Anhang 8.2) zeigen, dass die Variation der Anlagengrösse ein ähnliches Ergebnis wie bei dem Einfamilienhaus ergibt (vgl. Anhang 8.3.1).

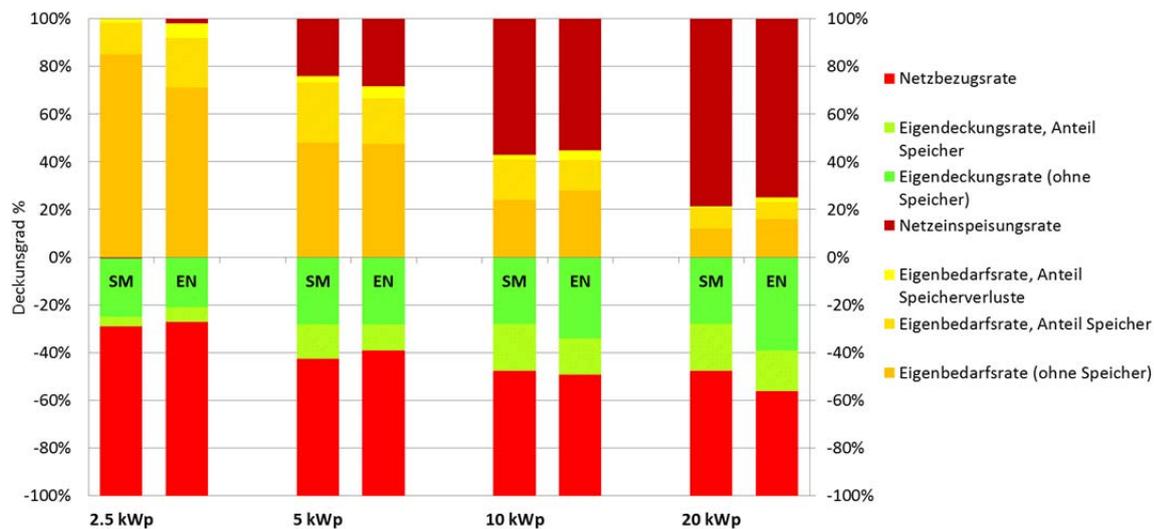


Abbildung 2 Deckungsraten bei unterschiedlichen Grössen der PV-Anlage (Süd, 30°) und 5 kWh-Speicher

### Unterschiedliche Eigenbedarfsraten

Bei einer kleineren PV-Anlage ergibt SM höhere Eigenbedarfsraten, bei grossen PV-Anlagen kleinere Eigenbedarfsraten als EN.

Bei kleinen Anlagen ist die Ertragscharakteristik entscheidend: Entsprechend dem stundenbasierten Ertrag treten bei EN Ertragsspitzen auf, die den momentanen Bedarf übersteigen und daher nicht genutzt werden können. Bei SM werden kurzfristige Effekte durch die verwendeten Mittelwerte für Bedarf und Ertrag verwischt, so dass der direkt (d.h. ohne den Einfluss von elektrischen Speichern) genutzte Anteil des Ertrags überschätzt wird.

Bei grossen Anlagen ist die massgebende Grösse der Bedarf, der gedeckt werden kann. Bei SM ist dies der Bedarf nur bei Stunden mit einer Einstrahlung von mehr als  $75 \text{ W/m}^2$  (SRE-Faktoren). Bei EN kann der Bedarf gedeckt werden, sobald Ertrag vorhanden ist. Eine Strahlungsgrenze besteht nicht. Da das Zeitintervall mit Einstrahlung von EN länger ist als das Intervall mit Strahlung  $> 75 \text{ W/m}^2$  von SM, ist der deckbare Bedarf bei EN grösser als bei SM. Dadurch wird die Eigenbedarfsrate bei EN grösser als bei SM. (vgl. Anhang 8.3.3).

### Einfluss des elektrischen Speichers auf die Eigenbedarfsrate

Für die Anlagen (5 und 10 kWp) ist der Einfluss des elektrischen Speichers auf die Eigenbedarfsrate bei SM grösser als bei EN und wird überschätzt.

Bei SM wird von täglicher, vollständiger Be- und Entladung ausgegangen. Die so nutzbare monatliche Kapazität ist also das Produkt von nutzbarer Kapazität und der Anzahl Tage des Monats. Bei EN wird durch die stündliche Betrachtung des Ladezustandes der elektrischen Speicher nicht zwingend täglich vollständig be- und entladen. Es gibt z.B. Tage an denen der Speicher trotz PV-Ertrag nicht vollständig gefüllt werden kann. Die monatlich genutzte Kapazität ist bei EN kleiner als bei SM. Wird der Ertrag so gross, dass auch bei stündlicher Betrachtung der Speicher täglich vollständig be- und entladen wird, sind die Ergebnisse von SM und EN hinsichtlich der Speichernutzung identisch.

### Anteil elektrische Speicherverluste

SM geht von gesamthaft 10% für Be- und Entladeverlusten aus. Bei EN werden gemäss konservativer Annahme aus (C.A.R.M.E.N., 2014) 10% für Be- und 10% für Entladeverluste sowie

zusätzlich Standverluste berücksichtigt. Werden bei EN die Verluste angeglichen, resultierten bei beiden Methoden vergleichbare Verluste.

### 4.3 Einfluss der Methodik auf die Ergebnisse

Um den Einfluss des unterschiedlichen Bilanzierungszeitschritts (Monat inkl. SRE-Faktor bzw. Stunde) zu ermitteln, werden bei den folgenden Vergleichen im Modell EN die Profile (Steuerung Wärmeerzeugung, Haushaltsstrom, Beleuchtung) so angepasst, dass sie wie bei SM eine Bandlast für den Bedarf ergeben. Ebenso werden die Speicherverluste und die nutzbare Kapazität den Eingaben von SM angepasst.

#### 4.3.1 Ausrichtung der PV-Anlage

Die Drehung der Anlage von Süd nach Ost erhöht die Eigenbedarfsrate um knapp 5 % (ausser bei sehr grossen Anlagen), der Einfluss auf die Eigendeckungsrate ist geringer (vgl. Anhang 8.3.4, Entscheidend für die Genauigkeit der Ergebnisse ist die Grösse des wählbaren Sektors (nur Haupt- oder auch Nebenhimmelsrichtungen), die bei SM in die Berechnung der SRE-Faktoren einfliesst und bei EN die Verteilung des Ertrags auf Stunden beeinflusst.

#### 4.3.2 Bedarf

##### Beleuchtung

Eine Variation des Jahresbedarfs der Beleuchtung von 2 - 10 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) (Standardwert 4 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) gemäss SIA MB 2024) zeigt, dass bei SM ein linearer Zusammenhang zwischen Bedarf und Eigenbedarfsrate besteht (vgl. Anhang 8.3.5). Pro zusätzliche kWh/(m<sup>2</sup>\*a) Bedarf steigt die Eigenbedarfsrate um 1.5%. Bei EN erhöht sich unter Berücksichtigung von Personenprofilen und tageslichtabhängiger Beleuchtung der Bedarf nur zu Zeiten ohne Einstrahlung. Dadurch hat die Variation des Jahresbedarfs der Beleuchtung keinen Einfluss auf die Eigenstromnutzung. Die Eigenbedarfsrate ändert sich also nicht, die Eigendeckungsrate hingegen schon.

##### Haushaltsgeräte

Auch hier zeigt sich bei der Variation des Jahresbedarfs von 7 - 35 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) (Standardwert 14 kWh/(m<sup>2</sup>\*a) gemäss SIA MB 2024) bei SM ein linearer Zusammenhang zwischen Bedarf und Eigenbedarfsrate: + 1.5 % Eigenbedarfsrate / zusätzliche kWh/(m<sup>2</sup>\*a) Bedarf. Dieser ist dem Zusammenhang bei EN sehr ähnlich (vgl. Anhang 8.3.6), da auch hier ein wesentlicher Anteil des Bedarfs tagsüber (im Gegensatz zur Beleuchtung) und somit zu Zeiten solaren Stromertrags stattfindet (entsprechend den Gerätenutzungsprofilen nach SIA MB 2024).

##### Globalstrahlungsgrenze bei SM

Bei SM hat die Definition der Grenzeinstrahlung für den PV-Ertrag einen direkten Einfluss auf die SRE-Faktoren und somit auf die Verteilung des Bedarfs in den direkt deckbaren Anteil und den Anteil zu Zeiten ohne Stromertrag. Im Jahresdurchschnitt besteht (für das EFH mit 5 kWp, 5kWh, 30° südausgerichteter Anlage) eine direkte Beziehung zwischen einer Zunahme der Einstrahlungsgrenze und der Abnahme der Ertragsstunden ( $\sim -0.25 \text{ h}/5(\text{W}/\text{m}^2)$ , vgl. Anhang 8.3.7, bei 60 W/m<sup>2</sup> resultieren 8.2h (Standard 75 W/m<sup>2</sup>: 7.7h), die Eigenbedarfsrate folgt einer linearen Beziehung (1% / 5(W/m<sup>2</sup>) (vgl. Anhang 8.3.8).

### 4.3.3 Bedarfsprofile und Bedarfsoptimierung

Der Vergleich von Berechnungen mit EN mit Standardprofilen und einer konstanten Verteilung auf alle Stunden (wie bei SM angenommen), zeigt, dass der Unterschied eher gering ist.

Die Unterschiede bei den Eigendeckungsraten liegen bei etwa

- 1% pro kWh/(m<sup>2</sup>\*a) Bedarf für den Einfluss des Tageslichts und der Personenanwesenheit bei der Beleuchtung (vgl. Anhang 8.3.5)

Der Einfluss von Profilen für die Nutzung der Haushaltsgeräte liegt im Bereich von etwa 2% pro Verdoppelung des Bedarfs (ohne Profile steigt die Eigenbedarfsrate mit zunehmendem Bedarf) (vgl. Anhang 8.3.6)

Bei SM werden keine Profile berücksichtigt, in (Lichtmess & Lavandier, 2015) wird jedoch darauf hingewiesen, dass bei Berücksichtigung des Haushaltstroms der Einbezug von typischen Verbrauchsprofilen zu besseren Ergebnissen führen kann. Durch die Steuerung der Betriebszeiten kann bei EN die Gleichzeitigkeit optimiert werden:

- um ~+1% für die Verlegung von Waschen, Trocknen und Spülen auf die Tagesstunden
- um etwa +10% Eigenbedarfsrate bei üblicher PV-Anlagengrösse (5kWp) und bei geringem bis mittlerem Heizwärmebedarf (70 bis 125%  $Q_{h,i}$ ), wenn nur noch tagsüber Wärme (Heizung und Warmwasser) erzeugt wird. Bei grossen Anlagen (20 kWp) ist der Unterschied bei hohem Heizwärmebedarf etwas kleiner (vgl. Anhang 8.3.9).
- Wird nur die Warmwasserproduktion in den Tag verschoben, so hängt der Einfluss auf die Eigenbedarfsrate stark von der installierten PV-Leistung ab (Bereich von +8% bei 2.5 kWp bis +2% bei 20 kWp, vgl. Anhang 8.3.10).

## 5 Diskussion der Modelle und Ergebnisse

### Unterschiede der Resultate

Die Unterschiede der Ergebnisse beider Modelle sind bei einer üblichen Gebäudeausstattung (5kWp, 5kWh Speicher für ein EFH) und normalem Bedarf (Standardwerte nach SIA MB 2024) gering.

Bei abweichender Gebäude-Ausstattung oder grösserem Bedarf werden die Unterschiede der Resultate grösser. Aufgrund der Parameterstudie ist davon auszugehen, dass EN dann genauer rechnet. Bei kleineren PV-Anlagen als 5 kWp für das Standardgebäude wird dann bei SM die Eigennutzungsrate überschätzt, bei grösseren unterschätzt.

Die Unterschiede bei den Resultaten lassen sich gut erklären, in dem bei SM mit Monatswerten (Bedarf als Bandlast, PV-Ertrag ohne Schwankungen, überschätzte monatliche Speichergrosse) gerechnet wird. Effekte, die sich in kleineren Bilanzierungsschritten abspielen, haben keinen Einfluss auf die Ergebnisse. So werden z.B. kurzzeitige Schwankungen bei Bedarf und Ertrag durch die Mittelung eliminiert. Durch die Mittelung kann bei SM im Januar eine mehrtägige Phase mit Überproduktion (Ertrag grösser aktuellem Bedarf) so eine Phase mit Unterproduktion (Ertrag kleiner aktuellem Bedarf) ausgleichen und wird als (gleichzeitige) Eigenstromnutzung bilanziert. Diese verfälschende Wirkung von längeren Bilanzierungsschritten zeigt sich analog bei Jahresbilanzen von Ertrag und Bedarf.

Durch die Annahme, dass der elektrische Speicher täglich vollständig be- und entladen wird, überschätzt SM dessen Kapazität und somit die Wirkung v.a. bei grossen (mehr als 1 kWh/kWp) elektrischen Speichern.

Mit Hilfe der SRE-Faktoren werden die Monatswerte zwar den Stundenwerten zum Teil gut angenähert, jedoch können einige Effekte nicht abgebildet werden.

### Gebäudekategorien

In dieser Untersuchung wurde nur die Kategorie II, EFH, untersucht. Eine Proberechnung mit einem MFH zeigt, dass die Erkenntnisse vom EFH auch auf MFH übertragbar sind. Andere Kategorien (an erster Stelle Schule und Verwaltung) wurden nicht betrachtet. Es ist davon auszugehen, dass aufgrund der weniger konstanten Personenpräsenz (z.B. keine Nutzung am Wochenende und in der Nacht) der Einfluss von Profilen auf bedeutende Bezüger wie Lüftung, Beleuchtung und Strombedarf Arbeitsplatz deutlich grösser ist als bei Wohngebäuden. Die Ergebnisse von SM werden deshalb vermutlich ungenauer und weichen deutlicher von EN ab.

### Klimastationen

Bei EN sind die Klimadaten in Stundenwerten (horizontale Globalstrahlung und Aussenlufttemperatur) der Stationen hinterlegt ( $2 \cdot 8760 = 17520$  Werte pro Klimastation). Bei SM werden, basierend auf Stundenwerten der Einstrahlung, die SRE-Faktoren berechnet. Dies ergibt z.B. bei 2 Anlagentypen, 8 Ausrichtungssektoren und 3 Neigungsbereichen 48 Datensätze ( $48 \cdot 12 = 576$  Werte) pro Klimastation. Die Berechnung der SRE-Faktoren basiert auf stündlichen Klimadaten (Strahlung) und erfolgt extern.

Durch die für die Berechnung der SRE-Faktoren festgelegten Randbedingungen in Bezug auf die PV-Anlage (Ausrichtung, Neigung, Wirkungsgrad, ...) ist der Nutzer in der Auswahl stark eingeschränkt (z.B. 3 Bereiche für die Anlageneigung). Die bei EN hinterlegten Klimadaten sind Grundlage für vom Instrument durchgeführte Berechnungen. So kann dem Nutzer eine grosse Breite an Eingaben ermöglicht werden (Erfassung der effektiven Anlageneigung in Grad).

Zur Reduktion des Umfangs der hinterlegten Daten ist es bei beiden Modellen möglich, über Korrekturfaktoren Werte für weitere Klimastationen abzuleiten. Die Korrekturfaktoren basieren auf den Daten einer Referenzklimastation und können für beliebige Klimastationen hinterlegt werden (wie z.B. beim Eigenverbrauchsrechner umgesetzt). Der Einfluss dieser Vereinfachung müsste noch geprüft werden.

### **Eingabemöglichkeiten, SIA-Kompatibilität**

Bei beiden Methoden kann die gleiche Eingabelogik (Standardwert oder extern berechnete Werte) verwendet werden.

SM rechnet grundsätzlich mit Monatswerten und ist daher kein Stundenbilanzverfahren, wie es im Vernehmlassungsentwurf von SIA 2031 zur Berechnung des Eigenverbrauchs gefordert wird. Nach SIA 380 wird eine Jahres- oder Momentan-Bilanz gefordert. Der Bilanzierungsschritt ist aber nicht näher spezifiziert. Eine Bilanzierung auf Monatsbasis ist äusserst unwahrscheinlich. SM ist folglich nicht SIA kompatibel.

### **Umfang Tool, Nachvollziehbarkeit**

SM teilt den Bedarf mit festen SRE-Faktoren in monatliche Teilbedarfswerte auf, die direkt zur Bilanzierung verwendet werden. Es handelt sich um einfache und nachvollziehbare Rechenoperationen.

EN verwendet anstelle der SRE-Faktoren Profile (und teilweise Klimadaten) zur Aufteilung des Bedarfs. Die Aufteilung wird dadurch aufwendiger, bleibt aber nachvollziehbar. Ein wesentlicher Vorteil ist die Möglichkeit, zusätzliche Einflüsse zu berücksichtigen (z.B. Tageslichteinfluss bei Beleuchtung oder Personenpräsenzzeiten)

Aufgrund der Anzahl berechneter Zeitintervalle (12 bei SM und 8760 bei EN) ist der Rechenaufwand und damit die Rechenzeit bei EN deutlich umfangreicher, was aber technisch kein Problem ist. Die Berechnungen laufen im Hintergrund und der Nutzer hat keinen direkten Kontakt mit den Rechenschritten.

### **Optimierung Betrieb**

Eine Steuerung der Betriebszeiten ist bei SM nicht vorgesehen, hat aber grosses Potential zur Lastverschiebung. Die Beschränkung der Betriebszeiten der Wärmeerzeugung auf die Tagesstunden kann die Eigenbedarfsrate bei Vergleichsgebäude um bis zu 10% erhöhen.

### **Profile, Korrekturfaktoren für spezielle Bedarfsverteilung bei SM**

Die gleichmässige Verteilung des Bedarfs auf alle Tagesstunden ergibt für viele Fälle gute Ergebnisse. Der Einfluss hinterlegter Profile ist bei der Beleuchtung und bei Haushaltsgeräten gering, wenn mit dem Bedarf nach SIA MB 2024 für Wohnbauten gerechnet wird. Bei einem grösseren Bedarf wird der Einfluss von Profilen auf die Resultate relevant.

Die konstante Verteilung verunmöglicht aber die Berücksichtigung spezieller Verteilungen, die grossen Einfluss auf die Gleichzeitigkeit haben können (Steuerung Betriebszeiten, Berücksichtigung Tageslichteinfluss auf Bedarf Beleuchtung, Profile von Strombedarf für Haushalt, ...). Dies wird auch in (Lichtmess & Lavandier, 2015) beschrieben und als ergänzende Korrektur die Einführung von zeitlichen und funktionalen Anpassungsfaktoren bzw. Profilen genannt.

Für die Entwicklung von funktionalen Anpassungsfaktoren ist zu klären, für welchen Bedarf und welche Kategorie zusätzliche Faktoren nötig werden. Um Einflüsse von kürzeren Bilanzierungsschritten in der Monatsbilanz zu berücksichtigen, müssen diese Faktoren aus standardisierten Stundenbilanzen abgeleitet werden.

Sie übernehmen dann eine ähnliche Funktion wie die Profile bei EN (Verteilung Bedarf unter Berücksichtigung stündlicher Effekte). Im Gegensatz zur Wirkung von Profilen auf die Verteilung ist für den Nutzer allerdings kaum nachvollziehbar, wie die Faktoren berechnet werden und welchen Einschränkungen sie unterliegen. Da die Faktoren aus Stundenprofilen berechnet werden um wiederum Stundenprofile abbilden zu können, ist es nicht nachvollziehbar, warum nicht direkt mit Stundenprofilen gerechnet wird.

## 7 Vorschlag zur standardisierten Bilanzierung

Zusammenfassend ist aus Sicht der Autoren für die beauftragte Fragestellung ein Instrument zu empfehlen, dass die Methodik von EN übernimmt, in Bezug auf die Eingabemöglichkeiten und den Umfang aber deutlich reduziert ist. Ein Instrument "Enerflex Light" sollte Folgendes enthalten:

- Berechnung auf Basis von Stundenwerten
- ausschliessliche Berücksichtigung des elektrischen Bedarfs (auch für die Wärmeerzeugung)
- Auswahl der Standardwerte gemäss Tabelle 2
- Verwendung von Profilen u.a. gemäss SIA MB 2024
- Zwingende externe Berechnung des monatlichen Heizwärmebedarfs und PV-Ertrags
- Berücksichtigen folgender Mechanismen:
  - Verteilung des monatlichen PV-Ertrags anhand von der Berechnung der Einstrahlung auf beliebig geneigte und gedrehte Fläche
  - Verteilung des monatlichen Heizwärmebedarfs auf Stunden anhand von einer Heizgrenztemperatur
  - Berücksichtigung der Globalstrahlung und des Anteils tageslichtunabhängiger Beleuchtung bei der Verteilung „Bedarf Beleuchtung“
  - Möglichkeit der Steuerung von Betriebszeiten der Wärmeerzeugung
  - Berechnungsmodell elektrischer Speicher
- Ausgabe von folgenden Grössen
  - Eigendeckung
  - Anteil Speicher an der Eigendeckung
  - Verlust Speicher
  - Netzeinspeisung
  - Eigendeckung
  - Anteil Speicher an der Eigendeckung
  - Netzbezug

Alle Parameter (Jahreswerte basierend auf Stundenwerten) werden als Raten in % und als absoluter Wert in kWh/(m<sup>2</sup>\*a) ausgegeben sowie grafisch dargestellt. Strombedarf und -produktion werden zusätzlich als Monatswerte angezeigt.

Ein Reduktion oder Anpassung der Ausgabe an spezielle Bedürfnisse (z.B. von Minergie) ist möglich.

Diese Vorgehensweise mit einem Modell "Enerflex light" bietet folgende Vorteile

- einfache Nachvollziehbarkeit der Berechnungsgrundlagen
- grössere Genauigkeit bei unüblicheren Gebäudekonfigurationen

- ein genaueres Speichermodell und genauere Berechnung dessen Wirkung im Vergleich mit SM
- freie Eingabe von Wirkungsgrad, Neigung und Ausrichtung der PV-Anlage
- Möglichkeiten der Optimierung (Steuerung Wärmeerzeuger und Haushaltsgeräte)
- Berücksichtigung des Tageslichts für die Bedarfsverteilung von Beleuchtung
- Einbezug von Profilen (v.a. für Verwaltung und Schulen und andere Kategorien massgebend)
- keine Berechnung von zeitlichen und funktionalen Anpassungsfaktoren nötig
- Kompatibilität mit dem Vernehmlassungsentwurf von SIA MB 2031
- mögliche Kompatibilität mit SIA 380, die eine Jahres- oder Momentan-Bilanz verlangt. Der Bilanzierungsschritt ist bei der Momentan-Bilanz ist vorerst noch offen.
- 
- evtl. Basis für das neue Merkblatt SIA 2056 Elektrizität in Gebäuden (in Bearbeitung) sein kann

Von einem Instrument auf Basis des Modell SM wird abgeraten, da

- durch die Mittelwertbildung einige Effekte nicht abgebildet werden können,
- eine Optimierung nur mit zusätzlichen, für den Anwender nicht leicht nachvollziehbaren Faktoren einbezogen werden kann,
- die SRE-Faktoren sowieso aus Stundenwerten gebildet werden und
- es nicht SIA kompatibel ist.

Folgende Punkte müssen geklärt werden:

#### **Wärmeverluste Heizung und Brauchwarmwasser**

- Sollen Wärmeverluste (Speicher und Verteilung) von Heizung und BWW (wie bei Minerale üblich) über die JAZ oder den Nutzungsgrad berücksichtigt werden? Alternativ kann ein Prozentsatz angegeben werden (Achtung: allenfalls Konflikt mit WPesti oder selbst berechneter JAZ).
- Soll Abwärme von Warmwasser (Verluste Speicher und Verteilung, sofern explizit berücksichtigt) vom Heizwärmebedarf abgezogen werden?

#### **Legionellenschutz**

- Reicht die Eingabe berechneter Werte bei Begleitbandheizung oder soll auch ein Standardbedarf vorgeschlagen werden?
- Soll der Mehrbedarf bei Zirkulationspumpen berücksichtigt?

#### **Solarthermie**

- Ertragsberechnung durch Tool gewünscht oder Eingabe berechneter Ertrag ausreichend?

#### **Lüftung**

- Soll die Option "bedarfsabhängig" (Bedarf entsprechend der Personenanwesenheit) wählbar sein oder die Verteilung immer von einer Bandlast ausgehen? (Optimierungsmaßnahme)

#### **Weitere Verbraucher**

- Sollen weitere Verbraucher wie z.B. Vereisungsschutz oder Befeuchtung einbezogen werden?
- Braucht es die Möglichkeit eines weiteren, frei definierbaren Bezügers (mit konstanter Bedarfsverteilung aufs Jahr)?

#### **Zusätzliche Optionen**

- Bei welchen Bezügern sind zusätzliche Optionen gewünscht und wie wirken diese (z.B. Effiziente weisse Ware: Reduktion Bedarf um 40%...)?
- Soll mittels Steuerung ein Teil des Haushaltsstrombedarfs auf den Tag verschoben werden können?

In Tabelle 2 sind die Empfehlungen für Standardwerte und Berechnungsgrundlagen des Modells "Enerflex light" zusammengestellt.

Tabelle 2 Empfehlungen für Standardwerte und Berechnungsgrundlagen

<b>Allgemeine Angaben</b>		
Gebäudekategorie	Auswahlmenü	SIA 380/1
Klimastation	Auswahlmenü	SIA 2028 (?)
<b>Wärmebedarf und -erzeugung</b>		
Heizwärmebedarf	Berechnete Monatswerte	SIA 380/1
Stromgeführte Wärmeerzeuger	Auswahlmenü	Erzeugerliste (SIA 380 / Minergie?)
	Steuerung Tag/Nacht/24h	Auswahlliste
JAZ / $\eta_{\text{elektrisch}}$	Standardwerte	z.B. SIA 380 / Minergie
	Berechnete Werte	WPesti
Deckungsgrade (Heiz+BWW)	Berechnete Werte	z.B. Nachweis Minergie
Legionellenschutz	Berechneter Jahresbedarf	SIA 380/4, Ansatz Minergie (?)
<b>Solarthermie</b>		
Ertrag für Heiz & BWW	Berechneter, nutzbarer Jahresertrag	z.B. Nachweis Minergie
Anlagenkonfiguration (Fläche, Neigung, Ausrichtung)	Zahlenwerte	Datenblatt / Auslegung
<b>Photovoltaik</b>		
Ertrag	Standardwert Jahresertrag	z.B. Nachweis Minergie oder Berechnung durch Tool (?)
	Berechnete Monaterträge	z.B. Externe Software
Anlagenkonfiguration (Leistung, Neigung, Ausrichtung)	Zahlenwerte	Datenblatt / Auslegung
<b>Bedarf Gebäudetechnik und Geräte</b>		
Hilfsenergie	Standardwert Jahresbedarf	Gebäudetool SIA 2024
	Berechneter Jahresbedarf	z.B. Nachweis nach Minergie
Lüftung	Standardwert Jahresbedarf	SIA MB 2024
	Berechneter Jahresbedarf	z.B. Nachweis Minergie
Kühlung	Berechneter Monatsbedarf	TEC-Tool (SIA 382/2)
Haushaltsgeräte	Standardwert Jahresbedarf	SIA MB 2024 / Minergie (?)
Beleuchtung	Standardwert Jahresbedarf	SIA MB 2024 / Minergie (?)
	Berechneter Jahresbedarf, nur für Nicht-Wohnbauten	SIA 387/4
Anteil aussenlicht-unabhängige Beleuchtung	Standardwert / eigene Eingabe	
Speichergrösse	Zahlenwert	Datenblatt

- Eingabe Bedarf immer als elektrische Endenergie, ausser Wärmebedarf als Nutzenergie
- Standardwerte werden vorgeschlagen, berechnete Werte werden als Zahlenwert eingegeben
- (?): muss näher geklärt werden

## 8 Anhang

### 8.1 Vergleich der Parameter und Defaultwerte der Eingaben beider Modelle

Beim folgenden Vergleich der Excel-Nachweise für beide Modelle werden für alle Komponenten die Eingabemöglichkeiten und mögliche Grundlagen aufgezeigt und abschliessend eine Empfehlung über sinnvolle Grundlagen abgegeben.

#### 8.1.1 Angaben zum Gebäude

Angaben zum Gebäudestandort (Klimastation), zur Gebäudekategorie und zur EBF sind bei beiden Methoden nötig (Tabelle 3).

Tabelle 3 Vergleich Excel-Nachweise

	Simplified monthly	Enerflex	Bemerkung
Gebäudekategorie	EFH und MFH umgesetzt (weitere möglich)	EFH, MFH, Verwaltung und Schule umgesetzt (weitere möglich)	Nach SIA 380/1
Gebäudestandort / Klimastation	Im erstellten Excel ist nur eine Station umgesetzt (ZH, weitere können eingefügt werden). Die hinterlegten ZRE-Faktoren werden aus stündlich berechneten Strahlungsdaten abgeleitet	Klimadaten Meteonorm für 40 Stationen hinterlegt (Aussentemp. und Globalstrahlung)	Die Korrektur eines Referenzdatensatzes (einer Klimastation) mit noch zu ermittelnden Korrekturfaktoren für anderen Station vermutlich möglich (vgl. Umsetzung beim Eigenverbrauchsrechner)

#### Mögliche Grundlagen

Entsprechend bestehenden Anforderungen ist die Abstützung auf SIA 380/1 (Kategorien) und SIA MB 2028 (Klimastationen) sinnvoll.

## 8.1.2 Wärmebedarf und -erzeugung

Tabelle 4 Vergleich Excel-Nachweise

	Simplified monthly	Enerflex	Bemerkung
Auswahl Wärmeerzeuger	keine (Erfassung elektrischer Bedarf), keine Berücksichtigung anderer Primärenergieträger	Alle üblichen Erzeuger wählbar, in Gleichzeitigkeit nur Stromanteil berücksichtigt, auch WKK möglich	Berechnung gewichtete Endenergie wegen Berücksichtigung aller Primärenergien nur bei EN möglich
Heizwärmebedarf $Q_{h,eff}$	Nur externe Berechnung Monatswerte	Externe Berechnung Monats- und Jahreswert, und qualitativer Vorschlag Jahresbedarf (anhängig von $Q_{h,ii}$ )	Externe Berechnung Monatsbedarf nach SIA 380/1 Teil Baubewilligungsverfahren
Verteilung $Q_{h,eff}$	Monatswerte	Monatswerte, Heizgrenze	
Bedarf Warmwasser $Q_{ww}$	Standardwert oder externe Berechnung	Standardwert oder externe Berechnung	
JAZ / $\eta$	Externe Berechnung	Standardwert oder externe Berechnung	Bei SM nötig für Umrechnung Wärmebedarf auf elektrischen bedarf
Verteilung $Q_{ww}$	konstant	Profile (monatl. Personenanwesenheit)	
Verteil- und Speicherverluste	Nicht berücksichtigt	Prozentualer Anteil an Wärmebedarf $Q_{h,eff}$ und $Q_{ww}$ (Standardwerte und eigene Eingabe)	
Optimierung Gleichzeitigkeit	Nicht möglich	Steuerung Betriebszeiten (Profile Tag+Nacht, Tag, Nacht, Eigenes)	Einfluss Optimierung
Legionellenschutz	Nicht möglich	Standardwerte nach SIA 380/4, davon Teil an Heizwärme anrechenbar	Begleitbandheizung mit relevantem elektrischen Bedarf

Tabelle 5 Mögliche Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung / Verteilung	Grundlage	Bemerkung
Heizwärmebedarf	Externe Berechnung	SIA 380/1	Monatswerte, etabliert
	Verteilung auf Stunden	Akkumulierte Temperaturdifferenzen ähnlich SIA 380, Steuerung Betriebszeiten und Profile	nur bei EN nötig
Warmwasserbedarf	Standardwert	SIA 380/1, SIA MB 2024	Jahressumme
	Externe Berechnung	SIA 385/2	Jahressumme
	Verteilung	Tagesprofile (Wochentag, Wochenende), SIA 385/2 (nur für Wohnen) oder Steuerung Betriebszeiten	Kombination mit Personenprofil SIA MB 2024
JAZ / $\eta$	Standard	SIA 380, Minergie	SIA 380: JAZ in Abhängigkeit der Vorlauftemp. und Art der Ladung bei BWW
	Berechnung	WPesti	etabliert
Verteil- und Speicher- verluste	Standardwert	<ul style="list-style-type: none"> <li>Heizung: entsprechend Tool SIA MB 2024 (10% Heizung, BWW gem. SIA 380: 40%)</li> <li>Berücksichtigung in JAZ / <math>\eta</math></li> </ul>	Jahressumme, Abklärung nötig, Anrechenbarkeit BWW-verluste an Heizwärme abklären
	Externe Berechnung	Heizung: SIA 384/3 BWW: SIA 385/2	Jahressumme, aufwendig
	Verteilung	Nach SIA 384/3 auf Erzeuger, dann proportional zum Wärmebedarf	Aufteilung auf Heizung und BWW (SIA 384/3) sowie auf die Monate nötig
Legionellenschutz	Berechnung	SIA 380/4	Jahressumme, Anrechnung an Heizwärme abklären
	Berechnung	SIA 385/2	Jahressumme, Aufwendig, Anrechnung an Heizwärme abklären
	Berechnung	Minergie (5W/m warmgehaltene Leitung)	Anrechnung an Heizwärme abklären
	Verteilung	Entsprechend BWW-Bedarf	

Tabelle 6 Empfehlung Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung / Verteilung	Grundlage	Bemerkung
Heizwärmebedarf	Externe Berechnung	SIA 380/1	Monatswerte, zulässige Nachweistools (geben diese Monatswerte aus?) definieren
Warmwasser	Standardwert	SIA 380/1	
	Verteilung	Konstant	Berücksichtigung Wochenendabwesenheiten bei Nicht-Wohnbauten
JAZ / $\eta$	Standard	SIA 380	Jahreswert, Abhängigkeit von Senktemp. bei WP beachten (SIA 380) (allenfalls vereinfacht betr. Ladungsart BWW)
	Berechnung	WPesti	Jahreswert
	Verteilung	Konstant	
Verluste	Standard	Gebäudetool SIA MB 2024 und SIA 380	Jahressumme
	Verteilung	prop. zum jeweiligen Wärmebedarf	
Legionellenschutz	Berechnung	SIA 380/4	Jahressumme
	Verteilung	Proportional BWW	

### 8.1.3 Hilfsenergie

Tabelle 7 Vergleich Excel-Nachweise

	Simplified monthly	Enerflex	Bemerkung
Bedarf	Nur externe Berechnung, unterteilt Heizung und BWW	Externe Berechnung und Standardwert (Näherung SIA 384/3)	Externe Berechnung Teil der etablierten Zertifizierung nach ME-P/ME-A
Verteilung	Entsprechend Wärmebedarf	Entsprechend Wärmebedarf und SIA 384/3	

Tabelle 8 Mögliche Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung / Verteilung	Grundlage	Bemerkung
Bedarf	Standard	Konstanter Anteil am jeweiligen Wärmebedarf (analog Gebäudetool SIA MB 2024: 1-2%)	Jahressumme
	Berechnung	SIA 384/3	Jahressumme, ein Berechnungstool nach SIA 384/3 ist vorhanden (HSLU), die Anwendung aber eingeschränkt und aufwendig
		"Handrechnung"	Jahreswert, bisher bei ME-P / ME-A angewendet
		Externe Berechnungssoftware	z.B. Polysun, Zulässigkeit muss geklärt werden
Verteilung		Proportional Wärmebedarf und SIA 384/3	

Tabelle 9 Empfehlung Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung / Verteilung	Grundlage	Bemerkung
Bedarf	Standardwert	Gebäudetool SIA MB 2024	Jahressumme
	Berechnung	Handrechnung, Tool SIA 384/3	Jahressumme
	Verteilung	Proportional zum Wärmebedarf, nach SIA 384/3	Aufteilung auf Heizung und BWW sowie auf Zeitintervall nötig

## 8.1.4 Lüftung

Tabelle 10 Vergleich Excel-Nachweise

	Simplified monthly	Enerflex	Bemerkung
Bedarf	Standardwert oder externe Berechnung	Verschiedene Standardwerte oder externe Berechnung	
Verteilung	konstant	Personenanwesenheit oder konstant	

Tabelle 11 Mögliche Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung	Grundlage	Bemerkung
Bedarf	Standardwert	SIA MB 2024	Jahreswerte für Bestand, Ist- und Zielwert
	Externe Berechnung	SIA 382/1 (TEC-Tool)	Monatswert, aufwendig
		SIA 380/4	Jahreswert, mässig aufwendig
		Berechnung einfache Anlagen nach Minergie	Jahreswert, etabliert, Grundlagen nicht ganz klar
Verteilung	Konstant, Personenanwesenheit nach SIA MB 2024	Bedarfsgerechte Steuerung mit Profilen	

Tabelle 12 Empfehlung Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung / Verteilung	Grundlage	Bemerkung
Bedarf	Standardwert	SIA MB 2024	Jahreswert
	Berechnung	Alle bisher zugelassenen	Jahreswert
	Verteilung	Konstant	Berücksichtigung Wochenendabwesenheiten bei Nicht-Wohnbauten?

### 8.1.5 Kühlung

Kühlung ist vor allem für Schulen und Verwaltungsbauten relevant. Die Kühlung hat aufgrund der häufigen Gleichzeitigkeit von Bedarf und Ertrag grossen Einfluss auf die Gleichzeitigkeit.

Tabelle 13 Vergleich Excel-Nachweise

	Simplified monthly	Enerflex	Bemerkung
Bedarf	Nur externe Berechnung elektrischer Bedarf	Standardfälle ohne Bedarf erfassbar, sonst externe Berechnung elektrischer Bedarf	Grosse Bandbreite Bedarf
Verteilung	Monatsbedarf (Bandlast über ganzen Monat)	Anhand Kühlgrenze und Aussentemperatur	

Tabelle 14 Mögliche Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung / Verteilung	Grundlage	Bemerkung
Bedarf	Standard	SIA MB 2024	Jahressumme, Raumzusammensetzung Nicht-Wohnbauten?
	Berechnung	SIA 382/2	Monatswerte, TEC-Tool, etabliert, Einschränkungen?
	Verteilung	Zu klären	

Tabelle 15 Empfehlung Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung / Verteilung	Grundlage	Bemerkung
Bedarf	Berechnung	TEC-Tool (SIA 382/2)	Analog Minergie
	Verteilung	TEC-Tool (SIA 382/2)	Monatswerte

### 8.1.6 Haushaltsstrom

Tabelle 16 Vergleich Excel-Nachweise

	Simplified monthly	Enerflex	Bemerkung
Bedarf	Standardwert und Berechnung	Verschiedene Standardwerte, Berechnung	
Verteilung	Konstant	Profile	
Optimierung	keine	Steuerbare Betriebszeiten für Waschen, Trocknen, Spülen	Einfluss gering

Tabelle 17 Mögliche Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung / Verteilung	Grundlage	Bemerkung
Bedarf	Standard	SIA MB 2024	Jahressumme, Standard/ Ziel und Bestand Berechnungstool Gebäudemodell SIA MB 2024
	Berechnung	Wohnstrommodell SIA 380/4	Jahressumme, Tool vorhanden?
		SIA 380/4	Jahressumme, weitere Angaben (Wohnungsgrößen) nötig
	Verteilung	Personen- / Geräteprofile SIA MB 2024	

Tabelle 18 Empfehlung Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung / Verteilung	Grundlage	Bemerkung
Bedarf	Standard	SIA MB 2024	
	Berechnung	Wohnstrommodell	
	Verteilung	Konstant	Geringer Einfluss

## 8.1.7 Beleuchtung

Tabelle 19 Vergleich Excel-Nachweise

	Simplified monthly	Enerflex	Bemerkung
Bedarf	Standardwert und Berechnung	Verschiedene Standardwerte, Berechnung	
Verteilung	Bandlast (im Haushaltsstrom enthalten)	Profile und Globalstrahlung, Anteil Tageslicht unabhängig berücksichtigt	

Tabelle 20 Mögliche Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung / Verteilung	Grundlage	Bemerkung
Bedarf	Standard	SIA MB 2024	Jahressumme, Standard/ Ziel und Bestand
	Berechnung	SIA 387/4	Jahressumme, Verschiedene Tools erhältlich, aufwendig, für Nicht-Wohnen im Einsatz
	Verteilung	Personenprofile, Nutzungsstunden (beide SIA MB 2024), Globalstrahlung	Einfluss bei Schule und Verwaltung vermutlich gross

Tabelle 21 Empfehlung Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung / Verteilung	Grundlage	Bemerkung
Bedarf	Standard	SIA MB 2024	Jahressumme
	Berechnung nur Nicht-Wohnbauten	SIA 387/4	Jahressumme
	Verteilung	Zeiten ohne Ertrag	Tageslichtunabhängiger Anteil bei Nicht-Wohnbauten, Personenanwesenheit?

## 8.1.8 Photovoltaik

Tabelle 22 Vergleich Excel-Nachweise

	Simplified monthly	Enerflex	Bemerkung
Ausrichtung und Neigung	Anlagenkonfiguration beeinflusst die SRE-Faktoren. Diese sind abhängig von <ul style="list-style-type: none"> <li>• Klimastation</li> <li>• Ausrichtung</li> <li>• Neigungsbereich (z.B. Mittelwert für alle Neigungen zw. 0° und 90°)</li> <li>• Anlagentyp (Effizienz)</li> </ul> Die Anzahl der zu hinterlegenden SRE-Faktoren nimmt mit zunehmender Differenzierung zu.	8 Ausrichtungen und 5 Neigungen zur Auswahl, einfach erweiterbar	Bei EN Auswahl mit Pulldown. Die Auswahl (Anzahl Ausrichtungssektoren und Neigungsbereiche) kann einfach erweitert werden
Wirkungsgrad der Anlage	Fliesst in die Berechnung der SRE-Faktoren ein, kann nicht durch den Nutzer angepasst werden	Kann verändert werden (beeinflusst die Berechnung des Ertrags durch das Tool)	
Ertrag	Extern berechnete Monatswerte	Externe Berechnung (Jahres- und Monatswert), Berechnung durch Tool	
Verteilung	Ertrag konstant in Zeiten mit relevanter Einstrahlung	Verteilung auf Stunden aufgrund berechneter Einstrahlung auf Fläche mit effektiver Neigung und Ausrichtung	
Speichermodell	Monatlich nutzbare Kapazität ist das Produkt von nutzbarer Kapazität und Anzahl Tage pro Monat	Ladezustand wird für jede Stunde berechnet	
Eingabe Kapazität	Nutzbare Kapazität (Vorschlag zur automatischen Berechnung möglich)	Nennkapazität (80% davon Nutzbare Kapazität)	
Speicherverluste	Be- und Entladung zusammen 10%	Be- und Entladung zusammen 20%, Standverluste	Standverluste bei SM nicht berücksichtigt

Tabelle 23 Mögliche Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung	Grundlage	Bemerkung
Monatsertrag	Externe Berechnung	Simulationssoftware	PVGis, Polysun, Erstellen Positivliste sinnvoll

Tabelle 24 Empfehlung Grundlagen

Parameter	Standard / Berechnung / Verteilung	Grundlage	Bemerkung
Ausrichtung und Neigung	Standard	4 Ausrichtungen 3 Neigungen	Entscheid Auftraggeber Zusammen mit 4 Ausrichtungen und 3 Neigungen ergeben sich $4 \cdot 3 \cdot 2 = 24$ Datensätze pro Klimastation bei SM, bei EN muss die Auswahl ebenfalls definiert werden, hat aber keine Einfluss auf die hinterlegten Daten (aus Klimadaten ableitbar)
Anlagentyp (Wirkungsgrad)	Standard	2 Typen (Bereiche Wirkungsgrad)	
Ertrag	Externe Berechnung	Simulationssoftware	Monatswerte
	Verteilung	Bei EN auf Stunden durch Tool, bei SM reichen Monatswerte	
Speichergrösse	Standard	Freie Eingabe	Allenfalls Einschränkung auf erhältliche Grössen
Speicherverluste	Standardwert	Literaturrecherche	

## 8.2 Basiseingaben Standardgebäude

Für die Berechnungen wurden für das Standardgebäude Einfamilienhaus folgende Werte verwendet:

- Hüllziffer (nur Enerflex): 2.27
- Bedarf Lüftung: 1.8 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)
- Bedarf Hilfsenergie: 1.5 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)  
(Aufteilung im Modell SM: 1 [kWh/(m<sup>2</sup>\*a)] für BWW, 0.5 [kWh/(m<sup>2</sup>\*a)] für Heizung)
- JAZ: Heizung: 3.1, BWW:2.7
- Bedarf Haushaltsstrom: 14 kWh/(m<sup>2</sup>\*a), gem. SIA MB 2024
- Bedarf Beleuchtung: 4 kWh/(m<sup>2</sup>\*a), gem. SIA MB 2024
- nutzbare Speichergrosse EN entsprechend SM angepasst

Tabelle 25 Monatsbedarf Heizung [kWh/(m<sup>2</sup>\*a)]

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
7.2	4.8	2.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	5.0	6.9

Tabelle 26 Monatlicher PV-Ertrag (Simulation Polysun, keine Verschattung) [kWh] bei 5 [kWp]

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
30°, Süd	192	264	422	497	578	572	639	583	467	311	164	147
30°, Ost	94	167	303	422	539	567	614	514	356	206	83	72
90°, Süd	225	264	344	308	294	258	303	339	344	286	172	175
90°, Ost	69	122	203	267	342	364	392	333	239	144	53	56

Die Erträge für andere installierte Leistungen PV wurden proportional zu diesen Werten berechnet.

Für das in Abschnitt 4.2.1 genannte Mehrfamilienhaus wurden folgende, von den Standardwerten für das EFH abweichende Werte verwendet:

- 3'485 m<sup>2</sup> EBF
- $Q_{h,eff} = 60\% Q_{h,ii} = 11.9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , Hüllziffer: 1.02
- $Q_{WW} = 21.8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ , gem. SIA 380/1
- JAZ Heiz 4.18, BWW: 2.83
- Bedarf Lüftung: 3.38 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)
- Hilfsenergie: 0.2 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)
- 75 kWh-Speicher

## 8.3 Grafiken Auswertung

### 8.3.1 Gleichzeitigkeit beim Mehrfamilienhaus und verschieden grossen PV-Anlagen

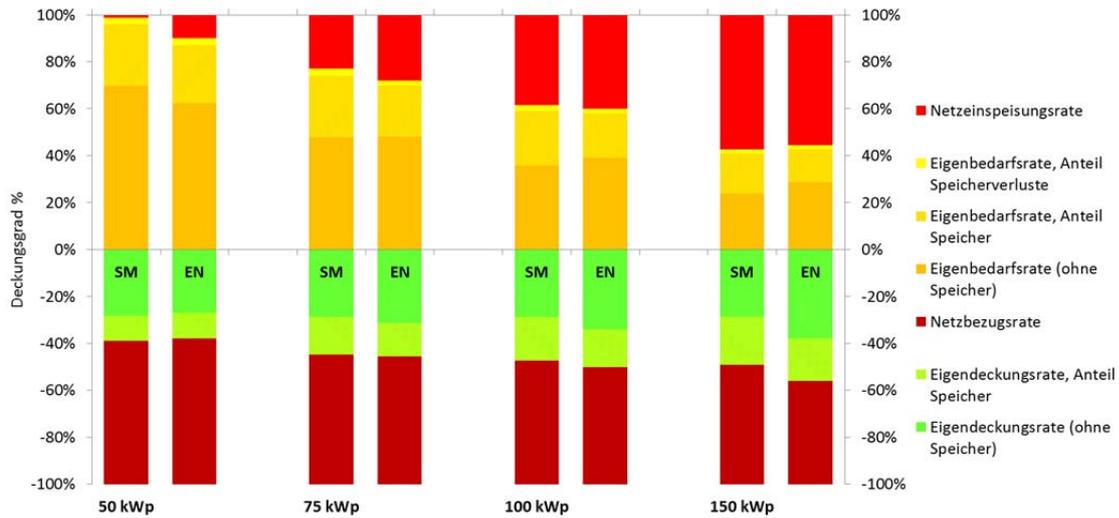


Abbildung 3 Gleichzeitigkeit beim Mehrfamilienhaus

### 8.3.2 Gleichzeitigkeit beim Einfamilienhaus und verschieden grossen PV-Anlagen

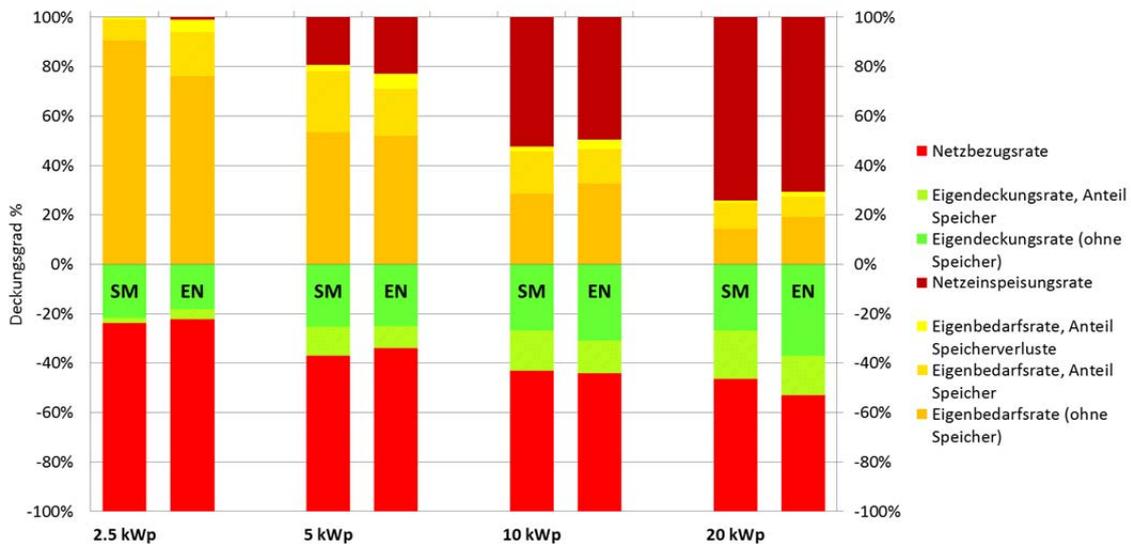


Abbildung 4 Deckungsraten bei verschiedenen Grössen der PV-Anlage (Ost, 30°) und 5kWh-Speicher

### 8.3.3 Unterschiede der Eigenbedarfs- und Eigendeckungsrate bei verschiedenen grossen PV-Anlagen

In Abbildung 5 sind die Unterschiede von Eigenbedarfs- und Eigendeckungsrate als Differenz der Ergebnisse von EN abzüglich der Ergebnisse von SM dargestellt.

Zu beachten ist die nicht lineare Abstufung der X-Achse (die PV-Anlagengrösse ist jeweils verdoppelt).

- Konstante Differenz der Eigenbedarfsraten von 10 zu 20 kWp:
  - Die Rate halbiert sich bei SM von 24% auf 12% wegen doppeltem Ertrag und unverändertem gleichzeitigen Bedarf. Bei EN kann zwar etwas mehr gleichzeitig genutzt werden, dieser Zuwachs ist aber verhältnismässig kleiner als der Zuwachs des Ertrags (Eigenbedarfsrate von 28 auf 16%).
- Bei SM ist der maximal direkt nutzbare Anteil am Bedarf über die SRE-Faktoren definiert und dadurch unabhängig von der PV-Anlagengrösse bei grossen Anlagen. Die Kurve der Differenzen der Eigendeckungsrate widerspiegelt daher das Modell EN, bei dem es keine Grenzeinstrahlung gibt und sich dadurch der deckbare Bedarf mit der Höhe des PV-Ertrags ändert.
- Bei kleinen PV-Anlagen limitiert der geringe PV-Ertrag die Eigenstromnutzung bei SM und nicht der max. deckbaren Anteil des Bedarfs. Wegen der kurzzeitigen Ertragsspitzen (grösser als Bedarf) ist bei EN die Eigenstromnutzung geringer. SM ergibt deshalb eine grössere Eigendeckungsrate als EN.
- Mit zunehmendem Ertrag steigt bei EN die Eigenstromnutzung, weshalb auch die Eigendeckungsrate steigt. Bei SM ist der max. nutzbare Anteil am Bedarf limitiert und deshalb konstant, so dass die Differenz der Eigendeckungsrate mit zunehmender Anlagengrösse zunimmt.

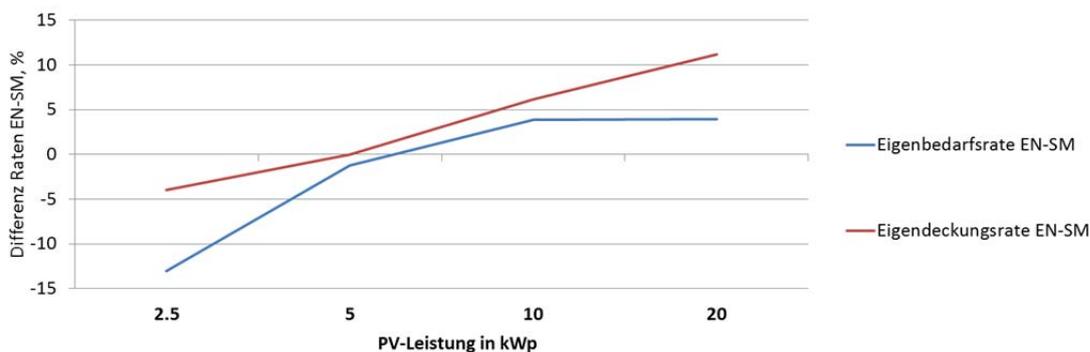


Abbildung 5 Vergleich Eigenbedarfs- und Eigendeckungsrate bei unterschiedlicher PV-Leistung

### 8.3.4 PV-Anlagen und unterschiedlicher Anlagenausrichtung

In Abbildung 6 sind die Unterschiede von Eigenbedarfs- und Eigendeckungsrate als Differenz der Ergebnisse von EN abzüglich der Ergebnisse von SM bei für die Ausrichtungen Ost und Süd der PV-Anlage dargestellt. Bei SM wurde die Ausrichtung mit unterschiedlichen SRE-Faktoren berücksichtigt, bei EN mit den entsprechenden Einstrahlungswerten. Folgende Erkenntnisse können abgeleitet werden:

- Geringe Unterschiede der Differenzen bei unterschiedlicher Ausrichtung
- Unterschiede vermutlich aufgrund geringen Unterschieden beim Ertrag
- Interpretationen gemäss 8.3.3 für beide Ausrichtungen gültig

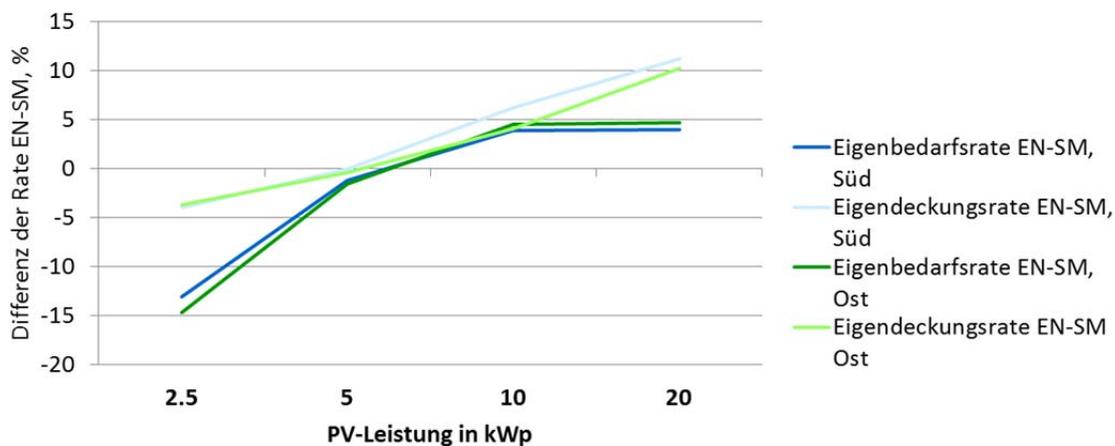


Abbildung 6 Einfluss der Ausrichtung auf die Differenz der Eigenbedarfs- und Eigendeckungsraten

### 8.3.5 Einfluss unterschiedlicher Bedarfs Beleuchtung

In Abbildung 7 sind die Unterschiede der Eigendeckungs- und Eigenbedarfsraten bei unterschiedlichem Bedarf für die Beleuchtung zur Eigendeckungs- bzw. Eigenbedarfsrate beim Standardbedarf (4 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)) dargestellt. "EN oP" steht dabei für das Modell EN ohne Profile. Die Berücksichtigung dieses Modells zeigt den Einfluss von Profilen und Tageslichtabhängigkeit.

- Bei SM wächst der direkt deckbarer Anteil am Bedarf proportional der Bedarfszunahme (entsprechend den konstanten SRE-Faktoren). Die Unterschiede der Eigenbedarfsrate steigen linear (PV-Ertrag ist konstant, der deckbare Anteil und somit die Eigenstromnutzung nimmt zu, sofern genügend Ertrag vorhanden ist). Die der Eigendeckungsraten sind konstant (Gesamtbedarf und deckbarer Anteil nehmen gleich stark zu)
- EN oP zeigt ein ähnliches Verhalten wie SM, die Zunahme des Eigenbedarfs ist etwas geringer als bei SM (Nicht der nutzbare Bedarf ist limitierend, sondern der gleichzeitige Ertrag)
- Bei EN hat die Zunahme des Bedarfs keinen Einfluss die Eigenstromnutzung und auf den Eigenbedarf, da dieser wegen seiner Tageslichtabhängigkeit nur zu Zeiten ohne PV-Ertrag stattfindet. Hingegen sinkt die Eigendeckungsrate linear, da der Bedarf konstant zunimmt, die Eigenstromnutzung aber null ist.

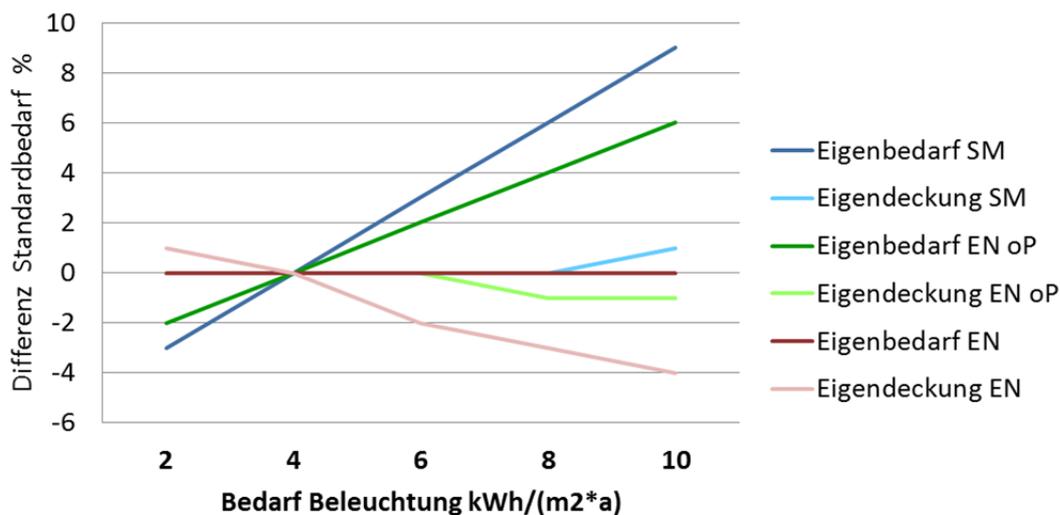


Abbildung 7 Einfluss Bedarf und Profile der Beleuchtung

### 8.3.6 Einfluss unterschiedlichen Bedarfs der Haushaltsgeräte

In Abbildung 8 sind die Unterschiede der Eigendeckungs- und Eigenbedarfsraten bei unterschiedlichem Bedarf für die Haushaltsgeräte zur Eigendeckungs- bzw. Eigenbedarfsrate beim Standardbedarf (14 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)) dargestellt. "EN oP" steht dabei für das Modell EN ohne Profile. Die Berücksichtigung dieses Modells zeigt den Einfluss von Profilen.

- Bei SM hat die Veränderung des Bedarfs der Haushaltsgeräte die gleiche Wirkung wie die Veränderung des Bedarfs der Beleuchtung. Das Gleiche gilt für "EN oP".
- Bei EN (mit Profilen) steigt die Eigenstromnutzung ähnlich wie bei SM. Obwohl aufgrund der tageslastigen Profile der Geräte die Eigenstromnutzung stärker als bei SM steigen müsste, wird diese vermutlich durch Perioden mit geringerem Ertrag als Bedarf wieder reduziert.
- Bei EN oP ist die Eigenbedarfsrate tiefer als bei EN, da die Eigenstromnutzung geringer ist. Der Bedarf wird ohne Profile als Bandlast verteilt, kurzzeitige Produktionsspitzen ergeben eine nicht nutzbare Überproduktion. Mit tageslastigen Profilen ist diese Überproduktion geringer, die Eigendeckungsrate wird deshalb grösser.

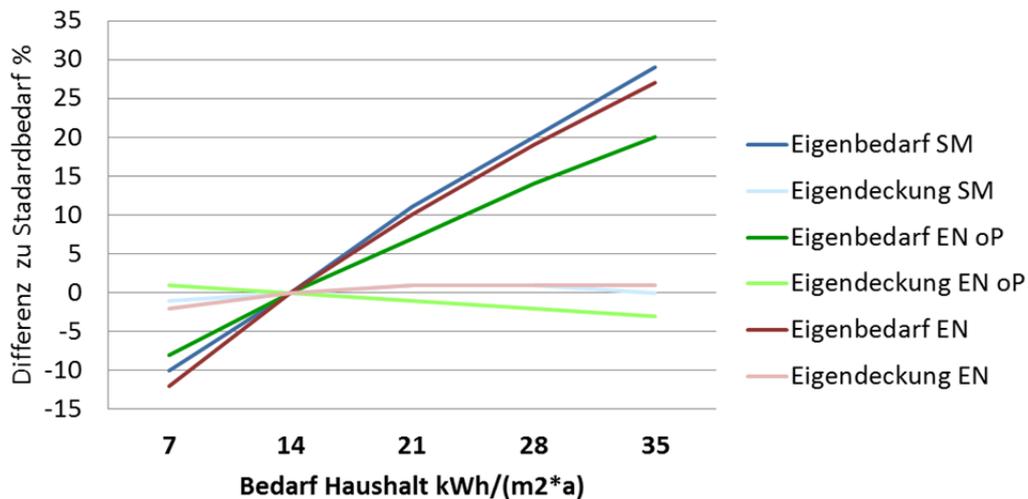


Abbildung 8 Einfluss Bedarf und Profile der Haushaltsgeräte

### 8.3.7 Einfluss der Globalstrahlungsgrenze auf SRE-Faktoren

Um den Einfluss, der von der Anlagenkonfiguration (Wirkungsgrad, Bruttoflächenbedarf und Mindestanlagenleistung) abhängigen Globalstrahlungsgrenze auf die gerichtete und geneigte Fläche zu beurteilen, werden in Abbildung 9 die bei SM verwendeten, monatlichen SRE-Faktoren für unterschiedliche Grenzstrahlungen dargestellt (südausgerichtete Anlage, Standort Zürich).

- Die Unterschiede der SRE-Faktoren berechnet mit unterschiedlicher Grenzstrahlung sind im Sommer grösser.
- Der Einfluss auf die Resultate wird damit im Sommer grösser, da meist nicht der Ertrag, sondern der gleichzeitig deckbare Bedarfsanteil die Eigenstromnutzung limitiert. Dieser Anteil ist proportional den SRE-Faktoren.

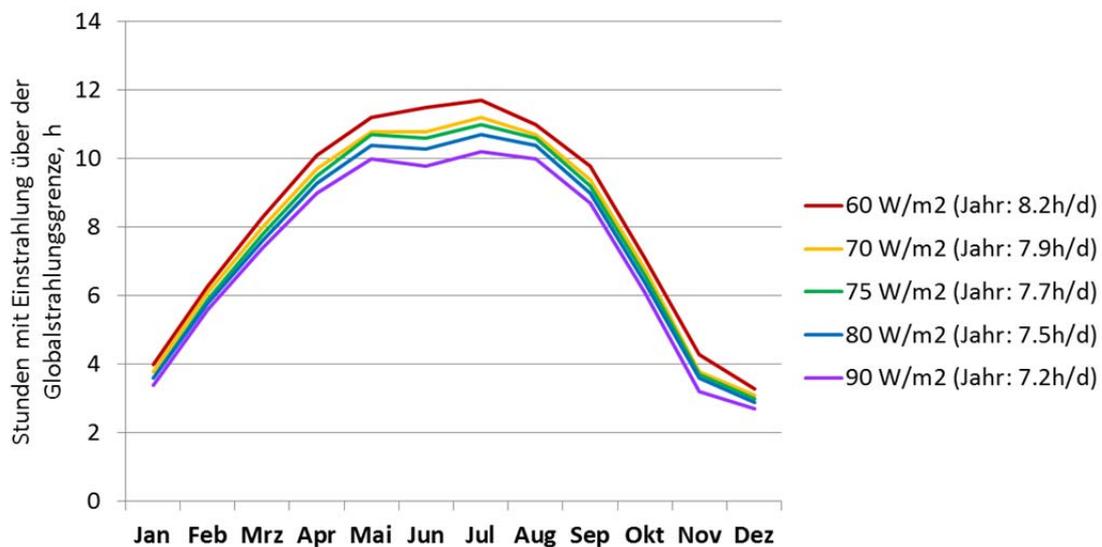


Abbildung 9 Einfluss Globalstrahlungsgrenze auf SRE-Faktoren nach Monaten

### 8.3.8 Einfluss Globalstrahlungsgrenze auf Eigenbedarfs- und Eigendeckungsrate

In Abbildung 10 werden die Unterschiede der Eigenbedarfs- und Deckungsrate zu den Raten bei einer Globalstrahlungsgrenze von 75 W/m<sup>2</sup> dargestellt.

- Tiefere Globalstrahlungsgrenzen erhöhen die SRE-Faktoren und damit die Eigenstromnutzung, sofern der PV-Ertrag nicht limitierend ist. Dadurch wird ein grösserer Anteil am Bedarf gleichzeitig nutzbar.
- Umgekehrt verringert die Anhebung der Strahlungsgrenze die Eigenbedarfs- und Eigendeckungsrate
- Die Veränderung der Anzahl Stunden mit Solarertrag und damit der SRE-Faktoren ist nahezu linear zur Globalstrahlungsgrenze

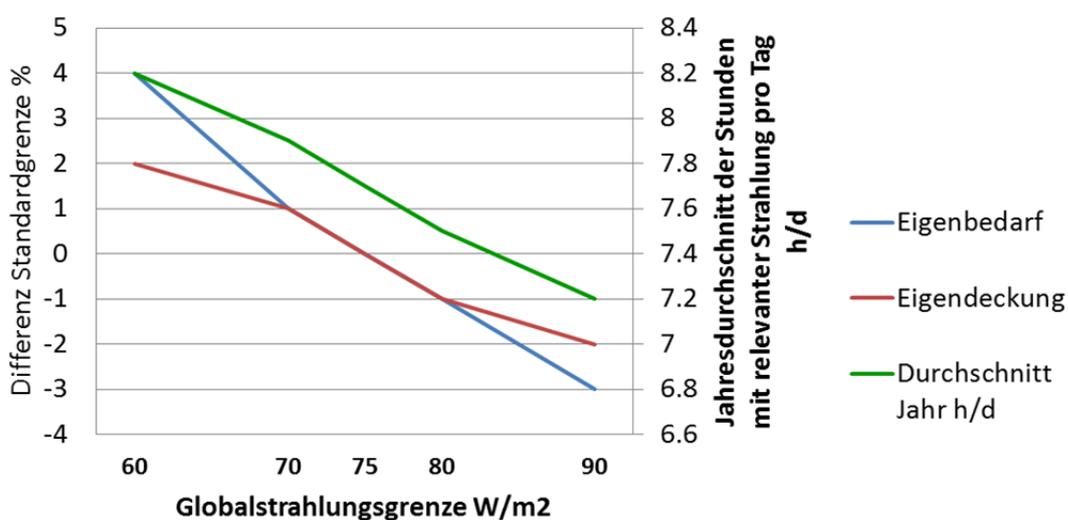


Abbildung 10 Einfluss Globalstrahlungsgrenze auf Eigenbedarfs- und Eigendeckungsrate

### 8.3.9 Einfluss Steuerung Wärmeerzeugung bei unterschiedlichem Bedarf

In Abbildung 11 werden für zwei unterschiedliche grosse PV-Anlagen die Differenzen der Eigenbedarfs- und Eigendeckungsrate bei Betrieb tagsüber (Tag, 9-18h) und gantztägigem Betrieb (Tag+Nacht, 0-24h) und der Wärmeerzeugung (Heizung und BWW) dargestellt. Dazu wurde der Heizwärmebedarf variiert (Auswahl über qualitative Auswahlmöglichkeit Heizwärmebedarf gering, mittel und hoch, was 70%, 125% und 250% von  $Q_{h,li}$  entspricht).

- Bei moderater PV-Leistung (5 kWp) kann bei geringem und mittleren Heizwärmebedarf durch die Lastverschiebung auf den Tag der Grossteil der verschobenen Last mit PV-Strom gedeckt werden. Der Unterschied zwischen Betrieb tagsüber und während 24 Stunden ist gross. Bei hohem Heizwärmebedarf übersteigt der Bedarf den Ertrag so dass nicht mehr die ganze verschobene Last zusätzlich gedeckt werden kann. Die Unterschiede zwischen Betrieb tagsüber und während 24 werden kleiner. Die zeigt auch das Abflachen der Unterschiede der Eigendeckungsraten
- Bei grossen Anlagen kann durch die Lastverschiebung auf den Tag mit zunehmendem Bedarf auch mehr gedeckt werden, was bei konstantem Ertrag zu stetig wachsenden Unterschieden der Eigenbedarfsraten führt.
- Die kleinere Differenz der Eigenbedarfsraten bei 20 kWp im Vergleich zu 5 kWp ist dadurch zu erklären, dass die Eigenstromnutzung auf einen viermal grösseren Ertrag bezogen wird.

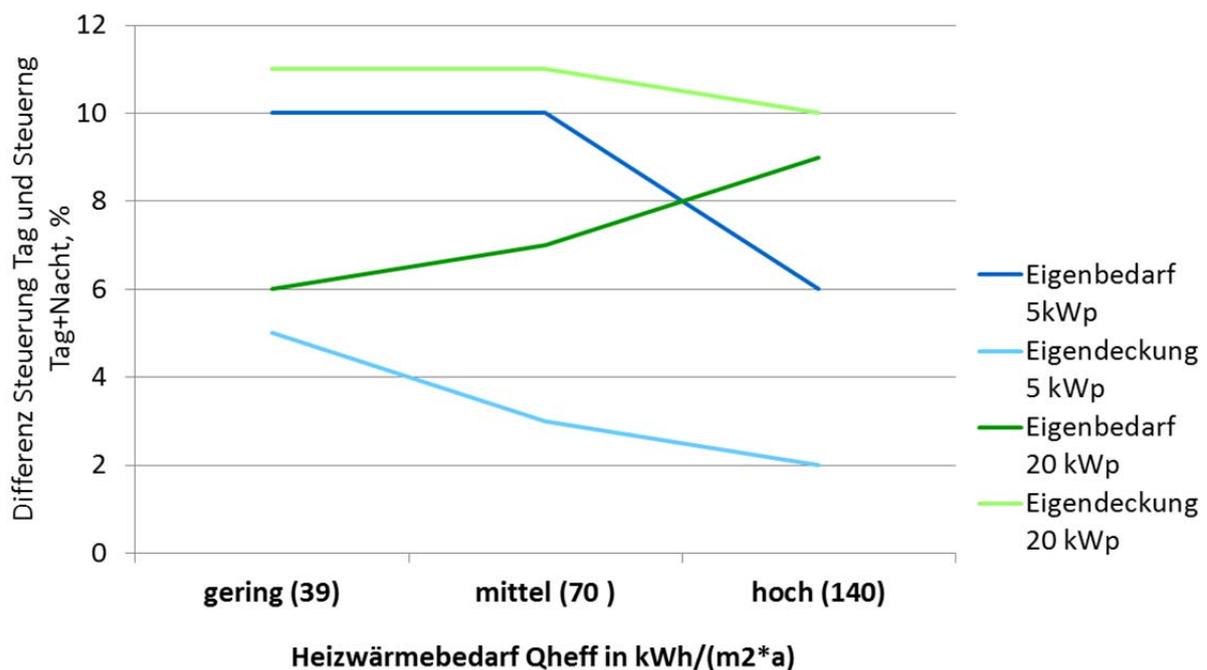


Abbildung 11 Einfluss Steuerung Wärmeerzeugung bei unterschiedlichem Heizwärmebedarf

### 8.3.10 Einfluss Steuerung Brauchwarmwassererwärmung

In Abbildung 12 werden für den Standardwärmebedarf Wohnen (SIA MB 2024: 13.5 kWh/(m<sup>2</sup>\*a)) für Brauchwarmwasser bei unterschiedlich grossen PV-Anlagen die Differenzen der Eigenbedarfs- und Eigendeckungsrate bei Betrieb des Wärmeerzeugers tagsüber (Tag, 9-18h) und ganztägigem Betrieb (Tag+Nacht, 0-24h) dargestellt.

- Die Abnahme der Differenzen der Eigenbedarfsrate zeigt, dass der Ertrag verhältnismässig stärker als der zusätzlich deckbare Anteil des Bedarfs steigt. Bei kleinen Anlagen hat die Lastverschiebung grossen Einfluss auf die Eigendeckungsrate (~8%), bei grossen Anlagen geringeren (~2%).
- Durch die leicht mit der Anlagengrösse zunehmende Differenz der Eigendeckungsraten zeigt sich, dass bei konstantem Bedarf die Eigenstromnutzung steigt.

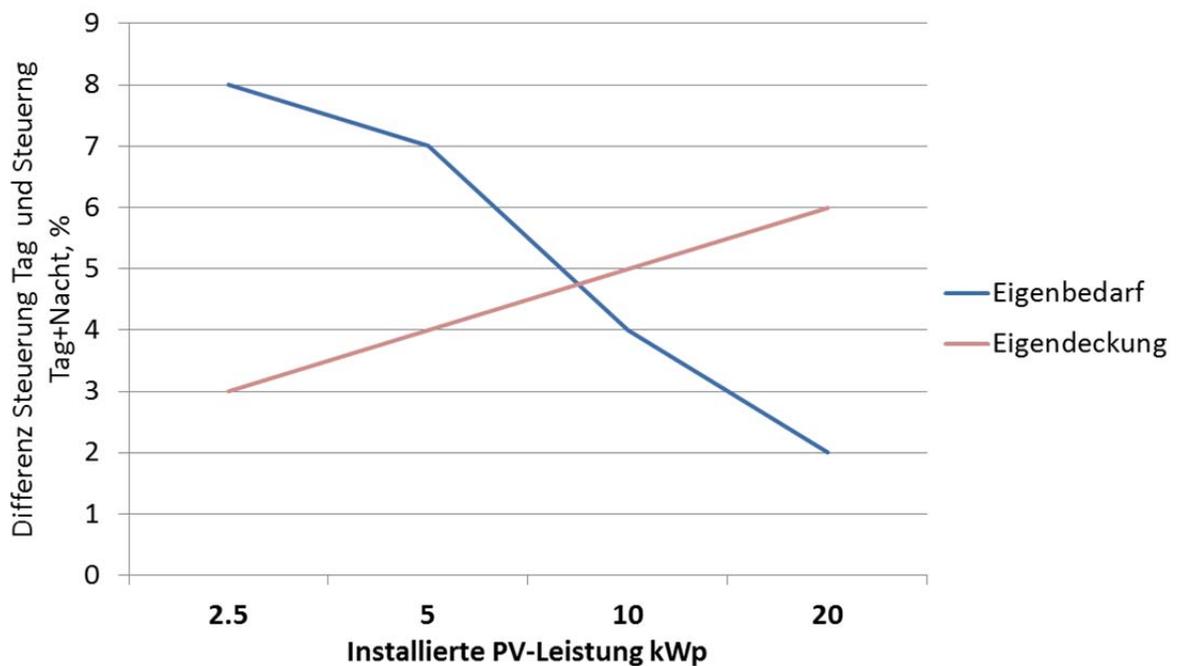


Abbildung 12 Einfluss Steuerung Brauchwarmwassererzeugung bei unterschiedlicher PV-Leistung