



Internationale Bauausstellung Hamburg

# Insel-Stromstudie Hamburg-Wilhelmsburg



**IBA\_HAMBURG** Stadt neu bauen



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis.....	IX
Abbildungsverzeichnis.....	X
Tabellenverzeichnis.....	XXVI
1. Zusammenfassung.....	1-1
2. Einleitung.....	2-1
3. Ziel und Ergebnisse der Modellierung in der IBA Stromstudie.....	3-1
4. Stadtraumtypen.....	4-1
5. Simulationsmodell RESSI.....	5-1
6. Ergebnisse - Simulation ohne dezentrale elektrische Speicher.....	6-1
7. Die Stadtraumtypen im Detail.....	7-1
7.1 Eingangsdaten der Stadtraumtypen für die Simulation.....	7-1
7.2 Gesamtbilanzen der einzelnen Stadtraumtypen.....	7-7
7.2.1 Stadtraumtyp I (SRT I): Vorindustriell/Altstadt < 1840.....	7-7
7.2.1.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-7
7.2.1.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-9
7.2.1.2.1 Strom.....	7-10
7.2.1.2.2 Wärme.....	7-12
7.2.1.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-15
7.2.2 Stadtraumtyp IIa (SRT IIa): Baublöcke/Gründerzeit < 1938.....	7-18
7.2.2.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-18
7.2.2.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-20
7.2.2.2.1 Strom.....	7-20
7.2.2.2.2 Wärme.....	7-22
7.2.2.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-24
7.2.3 Stadtraumtyp IIb (SRT IIb): Nachahmerbauten Stil IIa > 1990.....	7-26
7.2.3.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-26
7.2.3.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-29
7.2.3.2.1 Strom.....	7-29
7.2.3.2.2 Wärme.....	7-31
7.2.3.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-33
7.2.4 Stadtraumtyp IIc (SRT IIc): Villen der Gründerzeit < 1938.....	7-34
7.2.4.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-35
7.2.4.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-37
7.2.4.2.1 Strom.....	7-37
7.2.4.2.2 Wärme.....	7-40
7.2.4.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-42

7.2.5 Stadtraumtyp III (SRT III): Wiederaufbau 1950er.....	7-43
7.2.5.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-44
7.2.5.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-47
7.2.5.2.1 Strom.....	7-47
7.2.5.2.2 Wärme.....	7-49
7.2.5.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-51
7.2.6 Stadtraumtyp IV (SRT IV): Dörflich-kleinteilig.....	7-53
7.2.6.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-53
7.2.6.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-55
7.2.6.2.1 Strom.....	7-55
7.2.6.2.2 Wärme.....	7-57
7.2.6.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-59
7.2.7 Stadtraumtyp V (SRT V): Wohlfahrt Siedlungen Vorkriegszeit < 1938.....	7-60
7.2.7.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-61
7.2.7.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-63
7.2.7.2.1 Strom.....	7-63
7.2.7.2.2 Wärme.....	7-65
7.2.7.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-67
7.2.8 Stadtraumtyp VI (SRT VI): Wohnsiedlungen Sozialer Wohnungsbau 1950er....	7-69
7.2.8.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-69
7.2.8.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-71
7.2.8.2.1 Strom.....	7-71
7.2.8.2.2 Wärme.....	7-73
7.2.8.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-75
7.2.9 Stadtraumtyp VII (SRT VII): Hochhauswohnsiedlungen 70er Platte NBL 1970er.....	7-76
7.2.9.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-77
7.2.9.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-79
7.2.9.2.1 Strom.....	7-79
7.2.9.2.2 Wärme.....	7-81
7.2.9.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-83
7.2.10 Stadtraumtyp VIIIa (SRT VIIIa): Geschosswohnungsbau 1960-80er.....	7-85
7.2.10.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-85
7.2.10.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-87
7.2.10.2.1 Strom.....	7-87
7.2.10.2.2 Wärme.....	7-89
7.2.10.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-91
7.2.11 Stadtraumtyp VIIIb (SRT VIIIb): Geschosswohnungsbau 1990er.....	7-93
7.2.11.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-93

7.2.11.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-95
7.2.11.2.1 Strom.....	7-95
7.2.11.2.2 Wärme.....	7-97
7.2.11.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-99
7.2.12 Stadtraumtyp VIIIc (SRT ViIc): Geschosswohnungsbau Niedrigenergie.....	7-100
7.2.12.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-101
7.2.12.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-103
7.2.12.2.1 Strom.....	7-103
7.2.12.2.2 Wärme.....	7-105
7.2.12.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-107
7.2.13 Stadtraumtyp VIIIc+ (SRT VIIIc+): Geschosswohnungsbau Passivhausstandard.....	7-109
7.2.13.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-109
7.2.13.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-111
7.2.13.2.1 Strom.....	7-111
7.2.13.2.2 Wärme.....	7-113
7.2.13.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-115
7.2.14 Stadtraumtyp IXa (SRT IXa): Einfamilienhäuser < 1950.....	7-117
7.2.14.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-117
7.2.14.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-120
7.2.14.2.1 Strom.....	7-120
7.2.14.2.2 Wärme.....	7-121
7.2.14.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-124
7.2.15 Stadtraumtyp IXb (SRT IXb): Einfamilienhäuser Niedrigenergie.....	7-126
7.2.15.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-126
7.2.15.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-128
7.2.15.2.1 Strom.....	7-128
7.2.15.2.2 Wärme.....	7-130
7.2.15.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-131
7.2.16 Stadtraumtyp IXb+ (SRT IXb+): Einfamilienhäuser Passivhausstandard.....	7-134
7.2.16.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-134
7.2.16.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-136
7.2.16.2.1 Strom.....	7-136
7.2.16.2.2 Wärme.....	7-138
7.2.16.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-139
7.2.17 Stadtraumtyp Xa (SRT Xa): Gewerbe.....	7-142
7.2.17.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-142
7.2.17.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-144
7.2.17.2.1 Strom.....	7-144

7.2.17.2.2 Wärme.....	7-145
7.2.17.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-148
7.2.18 Stadtraumtyp Xa+ (SRT Xa+): Gewerbe Passivhausstandard.....	7-150
7.2.18.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-150
7.2.18.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-152
7.2.18.2.1 Strom.....	7-152
7.2.18.2.2 Wärme.....	7-153
7.2.18.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-155
7.2.19 Stadtraumtyp Xb (SRT Xb): Industrie.....	7-158
7.2.19.1 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-159
7.2.19.1.1 Wärme.....	7-159
7.2.19.1.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-160
7.2.20 Stadtraumtyp Xc (SRT Xc): Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen.....	7-161
7.2.20.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-161
7.2.20.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-163
7.2.20.2.1 Strom.....	7-163
7.2.20.2.2 Wärme.....	7-165
7.2.20.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-167
7.2.21 Stadtraumtyp Xc+ (SRT Xc+): Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen Passivhausstandard.....	7-169
7.2.21.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-169
7.2.21.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-171
7.2.21.2.1 Strom.....	7-171
7.2.21.2.2 Wärme.....	7-173
7.2.21.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-175
7.2.22 Stadtraumtyp Xd (SRT Xd): Gewerbe in Mischgebieten.....	7-177
7.2.22.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-177
7.2.22.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-179
7.2.22.2.1 Strom.....	7-179
7.2.22.2.2 Wärme.....	7-181
7.2.22.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-183
7.2.23 Stadtraumtyp S1 (SRT S1): Schumacherbauten 1920-30er.....	7-185
7.2.23.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	7-185
7.2.23.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	7-187
7.2.23.2.1 Strom.....	7-187
7.2.23.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	7-189
8.Zusammenfassung der Gesamtergebnisse ohne dezentrale elektrische Speicher....	8-1

8.1 Darstellung ausgewählter Wochen in höherer Auflösung.....	8-7
8.1.1 Jahr 1.....	8-7
8.1.2 Jahr 2.....	8-8
8.1.3 Jahr 3.....	8-10
8.1.4 Jahr 4.....	8-12
9. Ergebnisse - Simulation mit dezentralen elektrischen Speichern.....	9-1
10. Die Stadtraumtypen im Detail mit elektrischen Speichern.....	10-1
10.1 Stadtraumtyp I (SRT I): Vorindustriell/Altstadt < 1840.....	10-1
10.1.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-1
10.1.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-3
10.1.2.1 Strom.....	10-3
10.1.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-6
10.2 Stadtraumtyp IIa (SRT IIa): Baublöcke/Gründerzeit < 1938.....	10-8
10.2.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-8
10.2.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-10
10.2.2.1 Strom.....	10-10
10.2.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-12
10.3 Stadtraumtyp IIb (SRT IIb): Nachahmerbauten Stil IIa > 1990.....	10-13
10.3.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-13
10.3.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-15
10.3.2.1 Strom.....	10-15
10.3.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-17
10.4 Stadtraumtyp IIc (SRT IIc): Villen der Gründerzeit < 1938.....	10-18
10.4.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-18
10.4.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-20
10.4.2.1 Strom.....	10-20
10.4.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-22
10.5 Stadtraumtyp III (SRT III): Wiederaufbau 1950er.....	10-23
10.5.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-23
10.5.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-25
10.5.2.1 Strom.....	10-25
10.5.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-27
10.6 Stadtraumtyp IV (SRT IV): Dörflich-kleinteilig.....	10-28
10.6.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-28
10.6.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-30
10.6.2.1 Strom.....	10-30
10.6.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-32
10.7 Stadtraumtyp V (SRT V): Wohlfahrt Siedlungen Vorkriegszeit < 1938.....	10-33
10.7.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-33

10.7.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-35
10.7.2.1 Strom.....	10-35
10.7.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-37
10.8 Stadtraumtyp VI (SRT VI): Wohnsiedlungen Sozialer Wohnungsbau 1950er.....	10-38
10.8.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-38
10.8.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-40
10.8.2.1 Strom.....	10-40
10.8.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-42
10.9 Stadtraumtyp VII (SRT VII): Hochhauswohnsiedlungen 70er Platte NBL 1970er .....	10-43
10.9.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-43
10.9.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-45
10.9.2.1 Strom.....	10-45
10.9.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-47
10.10 Stadtraumtyp VIIIa (SRT VIIIa): Geschosswohnungsbau 1960-80er.....	10-48
10.10.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-48
10.10.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-50
10.10.2.1 Strom.....	10-50
10.10.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-52
10.11 Stadtraumtyp VIIIb (SRT VIIIb): Geschosswohnungsbau 1990er.....	10-53
10.11.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-53
10.11.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-55
10.11.2.1 Strom.....	10-55
10.11.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-57
10.12 Stadtraumtyp VIIIc (SRT VIIIc): Geschosswohnungsbau Niedrigenergie.....	10-58
10.12.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-58
10.12.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-60
10.12.2.1 Strom.....	10-60
10.12.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-62
10.13 Stadtraumtyp VIIIc+ (SRT VIIIc+): Geschosswohnungsbau Passivhausstandard .....	10-63
10.13.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-63
10.13.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-65
10.13.2.1 Strom.....	10-65
10.13.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-67
10.14 Stadtraumtyp IXa (SRT IXa): Einfamilienhäuser < 1950.....	10-68
10.14.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-68
10.14.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-70
10.14.2.1 Strom.....	10-70



10.14.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-72
10.15 Stadtraumtyp IXb (SRT IXb): Einfamilienhäuser Niedrigenergie.....	10-73
10.15.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-73
10.15.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-75
10.15.2.1 Strom.....	10-75
10.15.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-77
10.16 Stadtraumtyp IXb+ (SRT IXb+): Einfamilienhäuser Passivhausstandard.....	10-78
10.16.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-78
10.16.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-80
10.16.2.1 Strom.....	10-80
10.16.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-82
10.17 Stadtraumtyp Xa (SRT Xa): Gewerbe.....	10-83
10.17.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-83
10.17.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-85
10.17.2.1 Strom.....	10-85
10.17.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-87
10.18 Stadtraumtyp Xa+ (SRT Xa+): Gewerbe Passivhausstandard.....	10-88
10.18.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-88
10.18.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-90
10.18.2.1 Strom.....	10-90
10.18.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-92
10.19 Stadtraumtyp Xb (SRT Xb): Industrie.....	10-93
10.20 Stadtraumtyp Xc (SRT Xc): Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen.....	10-94
10.20.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-94
10.20.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-96
10.20.2.1 Strom.....	10-96
10.20.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-98
10.21 Stadtraumtyp Xc+ (SRT Xc+): Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen Passivhausstandard.....	10-99
10.21.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-99
10.21.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-101
10.21.2.1 Strom.....	10-101
10.21.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-103
10.22 Stadtraumtyp Xd (SRT Xd): Gewerbe in Mischgebieten.....	10-104
10.22.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-104
10.22.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-105
10.22.2.1 Strom.....	10-105
10.22.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-108
10.23 Stadtraumtyp S1 (SRT S1): Schumacherbauten 1920-30er.....	10-109

10.23.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum.....	10-109
10.23.1.1 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung.....	10-111
10.23.1.1.1 Strom.....	10-111
10.23.1.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte.....	10-113
11.Zusammenfassung der Gesamtergebnisse mit dezentralen elektrischen Speichern.....	11-1
11.1 Darstellung ausgewählter Wochen in höherer Auflösung.....	11-5
11.1.1 Jahr 1.....	11-5
11.1.2 Jahr 2.....	11-7
11.1.3 Jahr 3.....	11-9
11.1.4 Jahr 4.....	11-11

## Abkürzungsverzeichnis

°C	Grad Celsius
CO <sub>2</sub>	Kohlenstoffdioxid
d.h.	das heißt
GIS	Geoinformationssysteme
h	Stunde
ha	Hektar
IBA	Internationale Bauausstellung
kg	Kilogramm
KW	Kalenderwoche
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunden
l	Liter
mind.	Mindestens
MW	Megawatt
MWh	Megawattstunden
ppm	parts per million
PV	Photovoltaik
‰	Promille
%	Prozent
SRT	Stadtraumtyp
Wh	Wattstunden
z. B.	zum Beispiel

## Abbildungsverzeichnis

### 2. Kapitel

Abbildung 1: Die Elbinsel Wilhelmsburg .....2-2

Abbildung 2: Zukunftskonzept Erneuerbares Wilhelmsburg (IBA Hamburg).....2-3

### 4. Kapitel

Abbildung 1: Modellierung der Stadtraumtypen .....4-1

### 5. Kapitel

Abbildung 1: Verläufe der Leistungskennlinien ausgewählter WEA. ....5-4

Abbildung 2: Darstellung der Verknüpfung von Erzeugung und Verbrauch im Modell RESSI.....5-6

### 7. Kapitel

Abbildung 1: Gesamtflächen und Energiebezugsflächen der Stadtraumtypen.....7-4

Abbildung 2: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....7-10

Abbildung 3: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....7-10

Abbildung 4: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....7-11

Abbildung 5: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....7-12

Abbildung 6: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....7-13

Abbildung 7: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....7-13

Abbildung 8: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....7-14

Abbildung 9: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....7-14

Abbildung 10: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-15

Abbildung 11: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-16

Abbildung 12: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-17

Abbildung 13: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-17

Abbildung 14: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....7-20

Abbildung 15: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....7-20

Abbildung 16: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....7-21

Abbildung 17: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....7-21

Abbildung 18: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....7-22

Abbildung 19: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....7-22

Abbildung 20: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....7-23

Abbildung 21: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....7-23

Abbildung 22: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-24
Abbildung 23: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-24
Abbildung 24: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-25
Abbildung 25: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-25
Abbildung 26: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-29
Abbildung 27: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-29
Abbildung 28: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....	7-30
Abbildung 29: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	7-30
Abbildung 30: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-31
Abbildung 31: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-31
Abbildung 32: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....	7-32
Abbildung 33: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	7-32
Abbildung 34: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-33
Abbildung 35: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-33
Abbildung 36: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-34
Abbildung 37: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-34
Abbildung 38: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-37
Abbildung 39: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-38
Abbildung 40: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....	7-38
Abbildung 41: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	7-39
Abbildung 42: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-40
Abbildung 43: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-40
Abbildung 44: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....	7-41
Abbildung 45: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	7-41
Abbildung 46: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-42
Abbildung 47: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-42
Abbildung 48: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-43
Abbildung 49: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-43
Abbildung 50: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-47
Abbildung 51: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-47

Abbildung 52: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....	7-48
Abbildung 53: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	7-48
Abbildung 54: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-49
Abbildung 55: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-49
Abbildung 56: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3....	7-50
Abbildung 57: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	7-50
Abbildung 58: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-51
Abbildung 59: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-51
Abbildung 60: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-52
Abbildung 61: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-52
Abbildung 62: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-55
Abbildung 63: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-55
Abbildung 64: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....	7-56
Abbildung 65: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	7-56
Abbildung 66: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-57
Abbildung 67: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-57
Abbildung 68: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3....	7-58
Abbildung 69: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4....	7-58
Abbildung 70: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-59
Abbildung 71: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-59
Abbildung 72: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-60
Abbildung 73: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-60
Abbildung 74: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-63
Abbildung 75: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-63
Abbildung 76: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....	7-64
Abbildung 77: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	7-64
Abbildung 78: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-65
Abbildung 79: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-65
Abbildung 80: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3....	7-66
Abbildung 81: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4....	7-66
Abbildung 82: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-67
Abbildung 83: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-67

Abbildung 84: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-68
Abbildung 85: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-68
Abbildung 86: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-71
Abbildung 87: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-71
Abbildung 88: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....	7-72
Abbildung 89: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	7-72
Abbildung 90: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-73
Abbildung 91: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-73
Abbildung 92: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....	7-74
Abbildung 93: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	7-74
Abbildung 94: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-75
Abbildung 95: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-75
Abbildung 96: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-76
Abbildung 97: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-76
Abbildung 98: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-79
Abbildung 99: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-79
Abbildung 100: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3...7-80	
Abbildung 101: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	7-80
Abbildung 102: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-81
Abbildung 103: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-81
Abbildung 104: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3...7-82	
Abbildung 105: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4...7-82	
Abbildung 106: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-83
Abbildung 107: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-83
Abbildung 108: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-84
Abbildung 109: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-84
Abbildung 110: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-87
Abbildung 111: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-87
Abbildung 112: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....	7-88
Abbildung 113: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	7-88
Abbildung 114: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-89
Abbildung 115: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-89

Abbildung 116: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3....	7-90
Abbildung 117: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4....	7-90
Abbildung 118: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-91
Abbildung 119: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-91
Abbildung 120: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-92
Abbildung 121: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-92
Abbildung 122: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-95
Abbildung 123: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-95
Abbildung 124: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3....	7-96
Abbildung 125: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4....	7-96
Abbildung 126: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-97
Abbildung 127: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-97
Abbildung 128: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3..	7-98
Abbildung 129: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4..	7-98
Abbildung 130: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-99
Abbildung 131: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-99
Abbildung 132: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-100
Abbildung 133: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-100
Abbildung 134: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-103
Abbildung 135: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-103
Abbildung 136: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3..	7-104
Abbildung 137: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4....	7-104
Abbildung 138: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1....	7-105
Abbildung 139: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2...7-	105
Abbildung 140: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.	7-106
Abbildung 141: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4...7-	106
Abbildung 142: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-107
Abbildung 143: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-107
Abbildung 144: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-108
Abbildung 145: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-108



Abbildung 146: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-111
Abbildung 147: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-111
Abbildung 148: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3....	7-112
Abbildung 149: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4....	7-112
Abbildung 150: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-113
Abbildung 151: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-113
Abbildung 152: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3..	7-114
Abbildung 153: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4..	7-114
Abbildung 154: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-115
Abbildung 155: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-115
Abbildung 156: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-116
Abbildung 157: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-116
Abbildung 158: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.	7-120
Abbildung 159: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2....	7-120
Abbildung 160: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....	7-121
Abbildung 161: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	7-121
Abbildung 162: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1....	7-122
Abbildung 163: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2...7-	122
Abbildung 164: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3..7-	123
Abbildung 165: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4..7-	123
Abbildung 166: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-124
Abbildung 167: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-124
Abbildung 168: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-125
Abbildung 169: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-125
Abbildung 170: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1..7-	128
Abbildung 171: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	7-128
Abbildung 172: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3....	7-129
Abbildung 173: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4....	7-129
Abbildung 174: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.....	7-130
Abbildung 175: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2...7-	130
Abbildung 176: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3....	7-131
Abbildung 177: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4....	7-131

Abbildung 178: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-132
Abbildung 179: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-132
Abbildung 180: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-133
Abbildung 181: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-133
Abbildung 182: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.	7-136
Abbildung 183: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2....	7-136
Abbildung 184: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3....	7-137
Abbildung 185: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4....	7-137
Abbildung 186: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1....	7-138
Abbildung 187: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2...	7-138
Abbildung 188: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3..	7-139
Abbildung 189: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4..	7-139
Abbildung 190: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-140
Abbildung 191: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-140
Abbildung 192: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-141
Abbildung 193: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-141
Abbildung 194: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.	7-144
Abbildung 195: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2....	7-144
Abbildung 196: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3..	7-145
Abbildung 197: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4....	7-145
Abbildung 198: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1....	7-146
Abbildung 199: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2...	7-146
Abbildung 200: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.	7-147
Abbildung 201: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4..	7-147
Abbildung 202: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-148
Abbildung 203: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-148
Abbildung 204: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-149
Abbildung 205: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	7-149
Abbildung 206: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.	

.....7-152

Abbildung 207: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2....7-152

Abbildung 208: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.. 7-153

Abbildung 209: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.. 7-153

Abbildung 210: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1....7-154

Abbildung 211: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2....7-154

Abbildung 212: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3..7-155

Abbildung 213: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4..7-155

Abbildung 214: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-156

Abbildung 215: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-156

Abbildung 216: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-157

Abbildung 217: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-157

Abbildung 218: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1....7-159

Abbildung 219: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-160

Abbildung 220: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1. ....7-163

Abbildung 221: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....7-163

Abbildung 222: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.. 7-164

Abbildung 223: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....7-164

Abbildung 224: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.. .7-165

Abbildung 225: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2..7-165

Abbildung 226: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.7-166

Abbildung 227: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.7-166

Abbildung 228: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-167

Abbildung 229: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-167

Abbildung 230: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-168

Abbildung 231: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-168

Abbildung 232: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1. ....7-171

Abbildung 233: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2. ....7-171

Abbildung 234: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....7-172

Abbildung 235: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....7-172

Abbildung 236: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1....7-173

Abbildung 237: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2...7-173

Abbildung 238: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3. 7-174

Abbildung 239: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4. 7-174

Abbildung 240: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-175

Abbildung 241: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-175

Abbildung 242: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-176

Abbildung 243: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-176

Abbildung 244: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1. ....7-179

Abbildung 245: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2. ....7-179

Abbildung 246: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....7-180

Abbildung 247: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4. ....7-180

Abbildung 248: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1....7-181

Abbildung 249: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2...7-181

Abbildung 250: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.7-182

Abbildung 251: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4..7-182

Abbildung 252: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-183

Abbildung 253: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-183

Abbildung 254: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-184

Abbildung 255: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-184

Abbildung 256: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1. ....7-187

Abbildung 257: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2. ....7-187

Abbildung 258: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....7-188

Abbildung 259: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....7-188

Abbildung 260: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-189

Abbildung 261: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....7-189

8. Kapitel

Abbildung 1: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 1.....8-3

Abbildung 2: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 2.....8-4

Abbildung 3: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 3.....8-5

Abbildung 4: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 4.....8-6

Abbildung 5: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 1, Wochen 4 und 5.....8-7

Abbildung 6: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 1, Wochen 25 und 26.....8-8

Abbildung 7: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 2, Wochen 4 und 5.....8-9

Abbildung 8: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 2, Wochen 25 und 26.....8-10

Abbildung 9: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 3, Wochen 4 und 5.....8-11

Abbildung 10: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 3, Wochen 25 und 26.....8-12

Abbildung 11: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 4, Wochen 4 und 5.....8-13

Abbildung 12: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 4, Wochen 25 und 26.....8-14

10. Kapitel

Abbildung 1: SRT 1 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1..10-4

Abbildung 2: SRT 1, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2. ....10-4

Abbildung 3: SRT 1, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3. ....10-5

Abbildung 4: SRT 1, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4. ....10-5

Abbildung 5: SRT 1, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-6

Abbildung 6: SRT 1, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-7

Abbildung 7: SRT 2 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.. 10-10

Abbildung 8: SRT 2, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2. ....10-10

Abbildung 9: SRT 2, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.  
 .....10-11

Abbildung 10: SRT 2, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.  
 .....10-11

Abbildung 11: SRT 2, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-12

Abbildung 12: SRT 2, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-12

Abbildung 13: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1..10-  
 15

Abbildung 14: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.  
 .....10-15

Abbildung 15: SRT 3, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.  
 .....10-16

Abbildung 16: SRT 3, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.  
 .....10-16

Abbildung 17: SRT 3, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-17

Abbildung 18: SRT 3, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-17

Abbildung 19: SRT 4 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.  
 .....10-20

Abbildung 20: SRT 4, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.  
 .....10-20

Abbildung 21: SRT 4, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.  
 .....10-21

Abbildung 22: SRT 4, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.  
 .....10-21

Abbildung 23: SRT 4, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-22

Abbildung 24: SRT 4, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-22

Abbildung 25: SRT 5 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.  
 .....10-25

Abbildung 26: SRT 5, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.  
 .....10-25

Abbildung 27: SRT 5, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.  
 .....10-26

Abbildung 28: SRT 5, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.  
 .....10-26

Abbildung 29: SRT 5, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-27

Abbildung 30: SRT I5 Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-27

Abbildung 31: SRT 6 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV  
 Erzeugung- Jahr1.....10-30

Abbildung 32: SRT 6, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.  
 .....10-30

Abbildung 33: SRT 6, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.  
 .....10-31

Abbildung 34: SRT 6, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.  
 .....10-31

Abbildung 35: SRT 6, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-32

Abbildung 36: SRT I, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-32

Abbildung 37: SRT 7 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV  
 Erzeugung - Jahr1.....10-35

Abbildung 38: SRT 7, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.  
 .....10-35

Abbildung 39: SRT 7, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.  
 .....10-36

Abbildung 40: SRT 7, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.  
 .....10-36

Abbildung 41: SRT 7, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-37

Abbildung 42: SRT 7, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-37

Abbildung 43: SRT 8 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.  
 .....10-40

Abbildung 44: SRT 8, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.  
 .....10-40

Abbildung 45: SRT 8, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.  
 .....10-41

Abbildung 46: SRT 8, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.  
 .....10-41

Abbildung 47: SRT 8, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-42

Abbildung 48: SRT 8, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-42

Abbildung 49: SRT 9 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.  
 .....10-45

Abbildung 50: SRT 9, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.  
 .....10-45

Abbildung 51: SRT 9, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.  
 .....10-46

Abbildung 52: SRT 9, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.  
 .....10-46

Abbildung 53: SRT I, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-47

Abbildung 54: SRT 9, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-47

Abbildung 55: SRT 10 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.  
 .....10-50

Abbildung 56: SRT 10, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.  
 .....10-50

Abbildung 57: SRT 10, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr  
 3.....10-51

Abbildung 58: SRT 10, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr  
 4.....10-51

Abbildung 59: SRT 10, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-52

Abbildung 60: SRT 10, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-52

Abbildung 61: SRT 11 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.  
 .....10-55

Abbildung 62: SRT 11, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.  
 .....10-55

Abbildung 63: SRT 11, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.  
 .....10-56

Abbildung 64: SRT 11, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.  
 .....10-56

Abbildung 65: SRT 11, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-57

Abbildung 66: SRT 11, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-57

Abbildung 67: SRT 12 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.  
 .....10-60

Abbildung 68: SRT 12, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.  
 .....10-60

Abbildung 69: SRT 12, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr  
 3.....10-61

Abbildung 70: SRT 12, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr  
 4.....10-61

Abbildung 71: SRT 12, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-62

Abbildung 72: SRT 12, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-62

Abbildung 73: SRT 13 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.  
 .....10-65

Abbildung 74: SRT 13, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.  
 .....10-65

Abbildung 75: SRT 13, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr  
 3.....10-66

Abbildung 76: SRT 13, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr  
 4.....10-66

Abbildung 77: SRT 13, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5.  
 Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-67



Abbildung 78: SRT 13, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-67

Abbildung 79: SRT 14 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1. ....10-70

Abbildung 80: SRT 14, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2. ....10-70

Abbildung 81: SRT 14, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3. ....10-71

Abbildung 82: SRT 14, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....10-71

Abbildung 83: SRT 14, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-72

Abbildung 84: SRT 14, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-72

Abbildung 85: SRT 15 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1. ....10-75

Abbildung 86: SRT 15, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2. ....10-75

Abbildung 87: SRT 15, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....10-76

Abbildung 88: SRT 15, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....10-76

Abbildung 89: SRT 15, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-77

Abbildung 90: SRT 15, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-77

Abbildung 91: SRT 16 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1. ....10-80

Abbildung 92: SRT 16, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2. ....10-80

Abbildung 93: SRT 16, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....10-81

Abbildung 94: SRT 16, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....10-81

Abbildung 95: SRT 16, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-82

Abbildung 96: SRT 16, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-82

Abbildung 97: SRT 17 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1. ....10-85

Abbildung 98: SRT 17, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2. ....10-85

Abbildung 99: SRT 17, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3. ....10-86

Abbildung 100: SRT 17, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....10-86

Abbildung 101: SRT 17, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-87

Abbildung 102: SRT 17, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-87

Abbildung 103: SRT 18 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1. ....10-90

Abbildung 104: SRT 18, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....10-90

Abbildung 105: SRT 18, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....10-91

Abbildung 106: SRT 18 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....10-91

Abbildung 107: SRT 18, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-92

Abbildung 108: SRT 18, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-92

Abbildung 109: SRT 20 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1. ....10-96

Abbildung 110: SRT 20, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....10-96

Abbildung 111: SRT 20, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....10-97

Abbildung 112: SRT 20, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....10-97

Abbildung 113: SRT 20, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-98

Abbildung 114: SRT 20, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-98

Abbildung 115: SRT 21, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1. ....10-101

Abbildung 116: SRT 21, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2. ....10-101

Abbildung 117: SRT 21, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....10-102

Abbildung 118: SRT 21, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....10-102

Abbildung 119: SRT 21, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-103

Abbildung 120: SRT 21, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....10-103

Abbildung 121: SRT 22 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1. ....10-106

Abbildung 122: SRT 22, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....10-106

Abbildung 123: SRT 22, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....10-107

Abbildung 124: SRT 22, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	10-107
Abbildung 125: SRT 22, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	10-108
Abbildung 126: SRT 22, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	10-108
Abbildung 127: SRT 23 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1. ....	10-111
Abbildung 128: SRT 23, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.....	10-111
Abbildung 129: SRT 23, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.....	10-112
Abbildung 130: SRT 23, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.....	10-112
Abbildung 131: SRT 23, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	10-113
Abbildung 132: SRT 23, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.....	10-113

## 11. Kapitel

Abbildung 1: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 1.....	11-2
Abbildung 2: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 2.....	11-3
Abbildung 3: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 3.....	11-4
Abbildung 4: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 4.....	11-5
Abbildung 5: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 1, Wochen 4 und 5.....	11-6
Abbildung 6: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 1, Wochen 25 und 26.....	11-7
Abbildung 7: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 2, Wochen 4 und 5.....	11-8
Abbildung 8: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 2, Wochen 25 und 26.....	11-9
Abbildung 9: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 3, Wochen 4 und 5.....	11-10
Abbildung 10: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 3, Wochen 25 und 26.....	11-11
Abbildung 11: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 4, Wochen 4 und 5.....	11-12
Abbildung 12: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 4, Wochen 25 und 26.....	11-13

## Tabellenverzeichnis

### 6. Kapitel

Tabelle 1: Mengenbilanzierung der Stadtraumtypen über den gesamten Zeitraum von vier Jahren.....	6-1
Tabelle 2: Verbleibende Defizite (Restlast) und Überschüsse in der Stromversorgung der Stadtraumtypen an den Bilanzstellen nach PV-Erzeugung sowie nach Wärmepumpenverwendung.....	6-2
Tabelle 3: Strombilanzierung: resultierende Bilanz über alle Stadtraumtypen (SRT), unter Berücksichtigung der PV-Erzeugung innerhalb der SRT.....	6-3
Tabelle 4: Defizite- (Restlast) und Überschussleistung sowie Stunden mit Versorgungsdefizit und Erzeugungsüberschuss in der Stromversorgung der Stadtraumtypen, bezogen auf den Gesamtstrombedarf inkl. Wärmepumpen.....	6-4
Tabelle 5: Über Wilhelmsburg verteilte erneuerbare Erzeugung und resultierende statische Gesamtstrombilanz für Wilhelmsburg.....	6-5
Tabelle 6: Strombilanzierung: resultierende dynamische Bilanz für Wilhelmsburg insgesamt, unter Berücksichtigung der im Stadtgebiet verteilten EE-Erzeugung.....	6-6

### 7. Kapitel

Tabelle 1: Bezeichnung und Größe der Stadtraumtypen für die Verwendung im Simulationsmodell.....	7-1
Tabelle 2: Solarflächen der Stadtraumtypen und deren Verwendung im Simulationsmodell.....	7-2
Tabelle 3: Möglicher Umfang der Nutzung von Erdwärmesonden in den Stadtraumtypen für die Verwendung in der Simulation.....	7-3
Tabelle 4: Energiebezugsflächen, spezifischer Wärmebedarf und resultierender Gesamtwärmebedarf der Stadtraumtypen.....	7-5
Tabelle 5: Aufteilung des Wärmebedarfs der Stadtraumtypen: durch Wärmenetze zudeckende Mengen und Anteile sowie verbleibender, durch lokale Erzeugung zu deckende Wärmemengen.....	7-6
Tabelle 6: Energiebezugsflächen, spezifischer Strombedarf und resultierender Gesamtstrombedarf der Stadtraumtypen.....	7-7
Tabelle 7: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-8
Tabelle 8: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-8
Tabelle 9: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-9
Tabelle 10: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-9
Tabelle 11: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-18
Tabelle 12: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-18

Tabelle 13: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-19
Tabelle 14: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-19
Tabelle 15: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-26
Tabelle 16: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-27
Tabelle 17: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-27
Tabelle 18: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-28
Tabelle 19: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-35
Tabelle 20: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-36
Tabelle 21: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-36
Tabelle 22: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-37
Tabelle 23: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-44
Tabelle 24: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-45
Tabelle 25: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-45
Tabelle 26: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-46
Tabelle 27: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-53
Tabelle 28: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-53
Tabelle 29: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-54
Tabelle 30: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-54
Tabelle 31: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-61
Tabelle 32: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-61
Tabelle 33: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-62
Tabelle 34: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-62
Tabelle 35: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-69

Tabelle 36: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-70
Tabelle 37: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-70
Tabelle 38: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-70
Tabelle 39: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-77
Tabelle 40: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-77
Tabelle 41: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-78
Tabelle 42: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-78
Tabelle 43: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-85
Tabelle 44: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-85
Tabelle 45: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-86
Tabelle 46: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-86
Tabelle 47: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-93
Tabelle 48: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-93
Tabelle 49: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-94
Tabelle 50: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-94
Tabelle 51: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-101
Tabelle 52: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-102
Tabelle 53: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-102
Tabelle 54: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-102
Tabelle 55: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-109
Tabelle 56: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-109
Tabelle 57: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-110
Tabelle 58: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-110

Tabelle 59: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-117
Tabelle 60: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-118
Tabelle 61: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-118
Tabelle 62: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-119
Tabelle 63: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-126
Tabelle 64: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-126
Tabelle 65: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-127
Tabelle 66: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-127
Tabelle 67: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-134
Tabelle 68: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-134
Tabelle 69: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-135
Tabelle 70: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-135
Tabelle 71: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-142
Tabelle 72: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-143
Tabelle 73: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-143
Tabelle 74: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-143
Tabelle 75: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-150
Tabelle 76: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-150
Tabelle 77: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-151
Tabelle 78: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-151
Tabelle 79: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-161
Tabelle 80: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-161

Tabelle 81: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-162
Tabelle 82: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-162
Tabelle 83: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-169
Tabelle 84: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-170
Tabelle 85: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-170
Tabelle 86: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-170
Tabelle 87: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-177
Tabelle 88: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-177
Tabelle 89: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-178
Tabelle 90: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.....	7-178
Tabelle 91: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	7-185
Tabelle 92: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	7-185
Tabelle 93: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	7-186

## 8. Kapitel

Tabelle 1: Bilanzierung, PV-Anteile und lokale Nutzung der Photovoltaik über alle Stadtraumtypen.....	8-1
---	-----

## 9. Kapitel

Tabelle 1: Verbleibende Defizite (Restlast) und Überschüsse in der Stromversorgung der Stadtraumtypen an den Bilanzstellen nach nach Wärmepumpenverwendung, unter Berücksichtigung dezentraler elektrischer Speicher.....	9-2
Tabelle 2: Strombilanzierung: resultierende Bilanz über alle Stadtraumtypen (SRT), unter Berücksichtigung der PV-Erzeugung innerhalb der SRT.....	9-3
Tabelle 3: Über Wilhelmsburg verteilte erneuerbare Erzeugung und resultierende statische Gesamstrombilanz für Wilhelmsburg.....	9-5
Tabelle 4: Strombilanzierung: resultierende dynamische Bilanz für Wilhelmsburg insgesamt, unter Berücksichtigung der im Stadtgebiet verteilten EE-Erzeugung.....	9-6

## 10. Kapitel

Tabelle 1: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-1
---	------



Tabelle 2: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-2
Tabelle 3: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-2
Tabelle 4: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-8
Tabelle 5: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-8
Tabelle 6: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-9
Tabelle 7: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-13
Tabelle 8: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-14
Tabelle 9: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-14
Tabelle 10: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-18
Tabelle 11: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-19
Tabelle 12: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-19
Tabelle 13: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-23
Tabelle 14: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-24
Tabelle 15: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-24
Tabelle 16: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-28
Tabelle 17: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-28
Tabelle 18: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-29
Tabelle 19: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-33
Tabelle 20: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-33
Tabelle 21: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-34

Tabelle 22: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-38
Tabelle 23: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-38
Tabelle 24: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-39
Tabelle 25: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-43
Tabelle 26: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-43
Tabelle 27: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-44
Tabelle 28: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-48
Tabelle 29: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-48
Tabelle 30: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-49
Tabelle 31: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-53
Tabelle 32: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-53
Tabelle 33: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-54
Tabelle 34: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-58
Tabelle 35: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-59
Tabelle 36: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-59
Tabelle 37: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-63
Tabelle 38: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-63
Tabelle 39: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-64
Tabelle 40: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-68
Tabelle 41: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-69

Tabelle 42: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-69
Tabelle 43: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-73
Tabelle 44: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-74
Tabelle 45: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-74
Tabelle 46: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-78
Tabelle 47: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-79
Tabelle 48: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-79
Tabelle 49: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-83
Tabelle 50: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-83
Tabelle 51: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-84
Tabelle 52: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-88
Tabelle 53: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-88
Tabelle 54: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-89
Tabelle 55: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-94
Tabelle 56: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-94
Tabelle 57: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-95
Tabelle 58: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-99
Tabelle 59: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....	10-99
Tabelle 60: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....	10-100
Tabelle 61: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....	10-104

Tabelle 62: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....10-104

Tabelle 63: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....10-105

Tabelle 64: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.....10-109

Tabelle 65: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.....10-109

Tabelle 66: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.....10-110

11. Kapitel

Tabelle 1: Bilanzierung, PV-Anteile und lokale Nutzung der Photovoltaik über alle Stadtraumtypen.....11-1

## 1. Zusammenfassung

Dieser Studie lagen Fragestellungen zu Grunde, die sich aus dem „Energieatlas“, welcher im Rahmen der IBA Hamburg erstellt wurde, ergaben.

Zum einen war nicht klar, welche Dynamik sich bei der Umsetzung der im Energieatlas beschriebenen Szenarien ergibt. Zum anderen dient diese Studie der Analyse von Optimierungspotentialen bei Stromerzeugung und Stromnachfrage und den damit verbundenen Konsequenzen für das Stromnetz im Untersuchungsgebiet, der Speicherung und auch dem Lastmanagement.

Um diese Fragen zu beantworten wurde eine Modellierung mit Hilfe des Simulationsmodells RESSI (Renewable Energy Simulation and System Integration) durchgeführt. Die Basis dieser Modellierung ist die Erstellung von Einzelmodulen der im Energieatlas definierten Stadtraumtypen unter Berücksichtigung der in diesen Stadtraumtypen erzeugten Strommenge, der Stromnachfrage, des Wärmebedarfs und der Wärmeerzeugung. Zudem wurden weitere regenerative Energieproduzenten wie z. B. der Energiebunker aber auch die zahlreichen Windenergieanlagen innerhalb des Untersuchungsraums in die Modellierung integriert. Ergänzt wurde das Modell durch meteorologische Daten, so dass anschließend Energiebedarf und -Erzeugung in einer stündlichen Auflösung darstellbar sind. Dabei wurden zwei Varianten ohne und mit Speicherung von elektrischer Energie simuliert.

Bei der Betrachtung der einzelnen Stadtraumtypen ergeben sich signifikante Unterschiede sowohl im Strom- als auch im Wärmebereich. Das betrifft nicht nur die bilanzielle Betrachtung, sondern in hohem Maß die dynamische Darstellung. Die Vergleiche der Berechnungen mit und ohne Speichertechnologien zeigen sehr unterschiedliche Bedarfe und Notwendigkeiten von Speichern in den jeweiligen Stadtraumtypen auf.

Es zeigt sich, dass die im Energieatlas im Exzellenzszenario berechnete Annahme einer 100% Versorgung für Wilhelmsburg durch erneuerbare Energien zwar in Jahressummen erreichbar ist aber eine lokale Autarkie nicht gegeben ist. Die stark fluktuierende Stromerzeugung führt in der dynamischen Betrachtung sowohl zu hohen Stromüberschüssen als auch zu Defiziten in der Bereitstellung. Das bedeutet, dass Stromimporte bis 25 MW zur Versorgungssicherheit nach Wilhelmsburg eingebracht werden müssen. Demgegenüber stehen Stromüberschüsse bis zu 158 MW, welche aus dem Untersuchungsraum in benachbarte Netze abgeführt bzw. unter Umständen abgeregelt werden müssen. Der Einsatz von Stromspeichern verringert diese Überschüsse auf ca. 132 MW.

Die Konsequenzen daraus sind Notwendigkeiten zur Optimierung. Zum einen ergeben sich Konsequenzen für das Lastmanagement, womit eine Anpassung von Stromnachfrage und -Angebot erfolgen kann. Zum anderen ist die Entwicklung und der Einsatz von Kurz-, Mittel-, und Langfristspeichern notwendig, um den zeitlichen Abgleich von Erzeugung und Verbrauch zu realisieren.

Für die Netzbetreiber ergibt sich eine völlig neue Situation, die sich dramatisch von dem heutigen Betrieb unterscheidet. Höhere Leistungen und die Umkehr der Lastflussrichtungen sind dabei ausschlaggebend.

Die in dieser Studie mit RESSI durchgeführte Modellierung ist auch auf andere Städte und Stadtteile anwendbar. Aufgrund der auf Stadtraumtypen basierenden Berechnungen können eine Vielzahl von Lebensräumen von kleinräumigen Wohnsituationen bis hin zu stark verdichteten urbanen Räumen abgebildet werden.

## 2. Einleitung

Im Gegensatz zu den kontroversen Diskussionen noch vor wenigen Jahren herrscht heute weitgehend wissenschaftliche Einigkeit darüber, dass der Mensch das Klima bereits nachhaltig beeinflusst hat. Viele der extremen Wetterphänomene der letzten Jahre, z. B. die Häufung heftigster Stürme, die starken Überschwemmungen der letzten Jahre, aber auch längere Trockenperioden, gelten inzwischen als die ersten „Zeitzeugen“ des menschlichen Einflusses auf das globale Klima. Die Eintrittswahrscheinlichkeit plötzlicher und unumkehrbarer Veränderung des globalen Klimas steigt mit dem Ausmaß der Störungen der Biosphäre und des Wasserhaushalts, und damit mit der globalen Temperaturerhöhung. Ab einem Temperaturanstieg von 1,5 bis 2° C in diesem Jahrhundert, muss mit dramatischen Auswirkungen, z. B. einem kompletten Abschmelzen arktischer bzw. dem Abbrechen antarktischer Eismassen, gerechnet werden.

Für Deutschland würden aus dem Klimawandel Risiken, vor allem durch Trockenheit und Überschwemmungen, resultieren. Um dem aktuellen Trend entgegenzuwirken und die ökologischen und ökonomischen Folgen der Klimaänderung in einem beherrschbaren Rahmen zu halten, müssen die weltweiten Treibhausgasemissionen bis 2050 mindestens auf die Hälfte des heutigen Niveaus reduziert werden. Für die Industrienationen - als Hauptverursacher - bedeutet dies, dass bis 2050 eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um 95 bis 100% - ausgehend von den Werten des Jahres 1990 - erreicht werden muss. Will man den „Overshoot“ in der CO<sub>2</sub> Konzentration mindern, will man den Anstieg der CO<sub>2</sub> Emissionen innerhalb der nächsten Jahrzehnte umkehren, will man die Konzentration auf 400 bis 450 ppm beschränken - dann müssen die Industrieländer sogar weiter gehen und schneller handeln als in den heute bereits anerkannten Zielen formuliert ist.

Einige Eckpunkte einer nachhaltigen und zukunftsfähigen Gesellschaft sind die Umstellung auf erneuerbare Ressourcen/Energien, die ressourcenoptimierte und effiziente Bereitstellung von Dienstleistungen, aber auch die Hinterfragung und Neubewertung dessen, was wir Wohlstand nennen und wie viel davon genug ist.

Seit 1901 werden in Deutschland Internationale Bauausstellungen durchgeführt. Diese Bauausstellungen wurden unter Berücksichtigung von, der jeweiligen Zeit entsprechenden, Instrumenten des Städtebaus und der Stadtplanung durchgeführt. Ziel der Bauausstellungen ist es soziale, kulturelle und ökologische Innovationen und Projekte in der jeweiligen Stadt bzw. Region umzusetzen.

Durch die Neuausrichtung der Hamburger Stadtentwicklung zu Beginn des 21. Jahrhunderts gelangten die Hamburger Elbinseln in den Fokus der Planungen und stellen nun den wesentlichen Trittstein des „Sprungs über die Elbe“ zwischen der Hafencity im Norden und Harburg im Süden dar. Um die Umsetzung des „Sprungs“ zu forcieren, wurde die IBA Hamburg GmbH als 100prozentige Tochter der Freien und Hansestadt Hamburg gegründet.

Im Jahr 2006 startete die IBA Hamburg mit „Stadt neu bauen“ und dem Ziel, die Zukunft der Stadt im 21. Jahrhundert zu gestalten. Mit mehr als 60 baulichen, sozialen und kulturellen Projekten und Programmen zeigt die IBA Hamburg im Jahr 2013 im Herzen der Hansestadt, wie eine Metropole im 21. Jahrhundert ökologisch und sozial ausbalanciert wachsen kann.



**Abbildung 1: Die Elbinsel Wilhelmsburg**

Das 35km<sup>2</sup> große IBA-Projektgebiet mit 55.000 Menschen auf den Hamburger Elbinseln Wilhelmsburg und Veddel sowie im Harburger Binnenhafen soll zu einem Vorbild für nachhaltige, zukunftsorientierte Innenentwicklung werden. Neue Strategien zu drei aktuellen und international diskutierten Themen der Stadtentwicklung sollen dies konzeptionell untermauern. Dabei geht es zum einen um die Frage, wie eine immer internationaler und multikultureller werdende Stadtgesellschaft in Zukunft zusammen leben kann. Dieses Leitbild ist als „Kosmopolis“ benannt. Mit dem zweiten Leitbild „Metrozonen“ sollen die oft versteckten Potentiale der „inneren Stadtränder“ aufgezeigt werden. Und in ihrem dritten Leitthema „Stadt im Klimawandel“ widmet sich die IBA Hamburg der Frage, wie städtisches Wachstum und Klimaschutz miteinander verbunden werden können.



Innerhalb dieses Leitthemas wurde eine detaillierte wissenschaftliche Studie „Energieatlas“<sup>1</sup> für Wilhelmsburg entwickelt. In dieser Studie wurden mithilfe unterschiedlicher Szenarien der zukünftige Energiebedarf ermittelt, es wurden Potenziale der Energie-Einsparung und der Versorgung mit erneuerbarer Energien aufgezeigt und konkrete Maßnahmen zur Realisierung dieser Szenarien abgeleitet.

Der von der IBA Hamburg in den Szenarien aufgezeigte Übergang der Energieversorgung von einer „fossil nuklearen extra muros“<sup>2</sup> Produktion zu einer „maximalen solaren intra muros“ Versorgung zeigt erstmalig im Detail auf wie die 100% Versorgung mit erneuerbaren Energien auch im gebauten Bestand realisiert werden kann. Mit dem „Klimaschutzkonzept Erneuerbares Wilhelmsburg“ wurde ein Gesamtmodell vorgestellt, wie ein Stadtteil sich Schritt für Schritt energetisch unabhängig machen kann und zugleich um ein Vielfaches attraktiver wird.

In vier Schritten - beginnend mit 2013 und den Perspektiven für 2020/2030/2050 - wird aufgezeigt, wie ein Stadtteil bei seiner Energieversorgung nach und nach seine CO<sub>2</sub>-Emissionen auf Null reduzieren kann.

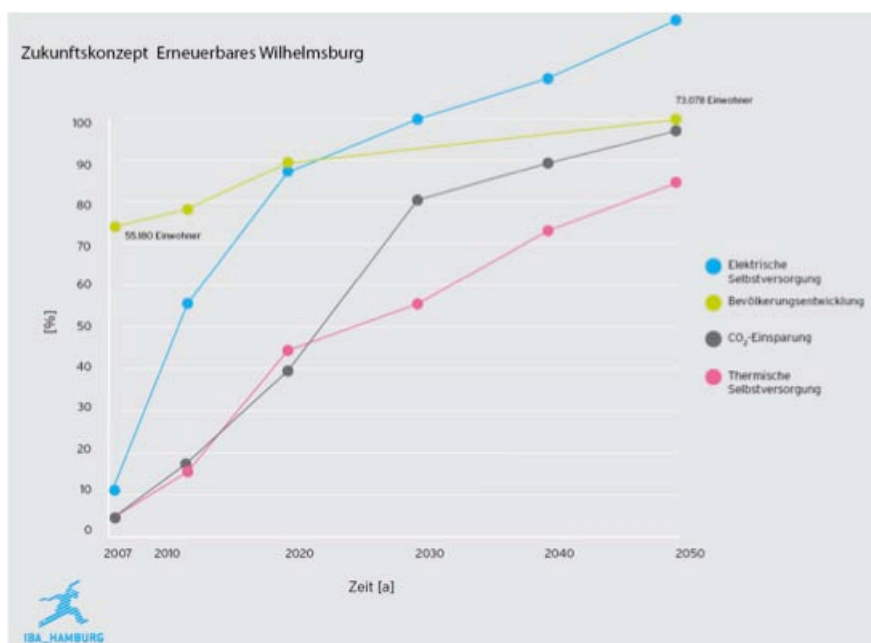


Abbildung 2: Zukunftskonzept Erneuerbares Wilhelmsburg (IBA Hamburg)

Der Energieatlas zeigt, dass es möglich ist, bereits bis 2025 den Strombedarf der Gebäude auf den Elbinseln und bis 2050 nahezu vollständig auch ihren Wärmebedarf durch erneuerbare und lokal erzeugte Energie zu decken. Bereits 2025 sind die Elbinseln sowie der Harburger Binnenhafen bezüglich der Stromversorgung 100

1 ENERGIEATLAS Zukunftskonzept Erneuerbares Wilhelmsburg: Hrsg. IBA Hamburg; Jovis Verlag 2010, Berlin

2 Die Begriffe „Extra bzw. intra muros“ wurden zur Definition der Bereiche innerhalb bzw. außerhalb der Stadtmauern benutzt. In diesem Kontext wird damit das fossile zentrale System mit Energieimporten in die Stadt versus eines erneuerbaren dezentralen Systems, welches Energie innerhalb der Stadt produziert, beschrieben.

Prozent erneuerbar und bis 2050 sowohl für Strom- als auch Wärmeversorgung annähernd CO<sub>2</sub>-neutral.

In den Exzellenzszenarien wird deutlich, dass Effizienzmaßnahmen und der gezielte Ersatz fossil-nuklearer Energie durch Erneuerbare Energien zu einer erheblichen Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen führen. Bereits zum Abschluss der IBA im Jahr 2013 werden etwas 50% mehr Treibhausgase eingespart als es in den Referenzszenarien der Fall wäre. Zum Ende des Prognosehorizonts 2050 betragen die Emissionen nur noch 5% der Emissionen von 2007. Das IBA-Gebiet ist in Bezug auf die betrachteten Energieparteien (Haushalte, Handel, Gewerbe und Dienstleistungen) nahezu klimaneutral, wohingegen im Referenzszenario immer noch knapp 40% der 2007 emittierten Treibhausgase das Klima weiter belasten.

Im Ergebnis weist die Studie nach, dass das Ziel des klimaneutralen Umbaus bis 2050 auf den Elbinseln erreicht werden kann.

Die hier vorliegende Insel - Stromstudie Hamburg-Wilhelmsburg schließt unmittelbar an den „Energieatlas“ an.

### 3. Ziel und Ergebnisse der Modellierung in der IBA Stromstudie

In den Szenarien der IBA sind Häuser, Häusergruppen und Stadtviertel aktive Elemente der Energieversorgung. Ob als Träger der Photovoltaik, als „intelligenter“ Verbraucher von Strom oder als Teile einer vernetzten Wärme- und Stromversorgung. Dieser Ansatz zeigt aber auch die Grenzen der lokalen Versorgung auf – überregionaler Netzverbund und Speicher werden notwendig um die Energieversorgung sicherzustellen.

Versorgungssicherheit ist im Elektrizitätssektor sehr wichtig, hier müssen Erzeugung und Verbrauch jederzeit übereinstimmen. Die bei der IBA Hamburg für den Energieatlas angewendete Szenariomethodik erlaubte es nicht, diese Dynamik mit einer ausreichenden zeitlichen und räumlichen Auflösung zu untersuchen. Es war auch nicht möglich zu untersuchen, ob durch geeignete Gestaltung und Steuerung der Stromnachfrage (z.B. Demand Management, Smart Grid) oder durch eine optimierte Nutzung von Speichertechnologien der Bedarf an überregionaler Versorgung mit Strom reduzierbar ist. Letztlich ist auch die Frage nach notwendigen Ausbauten im Stromnetz, der Dimensionierung von Speichern ohne eine Analyse der Dynamik des Systems, sowohl auf der Produzenten-Seite (z.B. durch fluktuierende Quellen wie PV) als auch auf der Abnehmer-Seite (z.B. durch Wärmepumpen) nicht möglich.

Will man diese Fragen beantworten, braucht man ein zeitlich (mind. 1 Std.) und räumlich hoch aufgelöstes Modell der Stromversorgung und -nachfrage Wilhelmsburgs im Jahre 2050. Dieses Simulationsmodell ist unter Berücksichtigung möglichst realitätsnaher Rahmenbedingungen implementiert worden.

Eine Stromstudie ist in dieser Form (hohe räumliche und zeitliche Auflösung der Stromversorgung und Teilen der Wärmeversorgung unter Berücksichtigung von regionalen Wetterdaten einer Region) noch nicht durchgeführt worden. Das hier durchgeführte Projekt dient der Untersuchung, Darstellung, dynamischen Simulation und Optimierung einer Stromversorgung sowie Teilen der Wärmeversorgung Wilhelmsburgs mit einer Energieversorgung, die auf 100% erneuerbaren Energien fußt. Mit Hilfe einer solchen Simulation der Szenarien können auch notwendige Innovationen identifiziert werden, um ein solches Energiekonzept realisieren zu können.

Für dieses Projekt ergaben sich folgende Fragestellungen:

- Wie sieht die Dynamik der Stromerzeugung und Stromnachfrage in Wilhelmsburg unter der Annahme der Umsetzung des im Energieatlas dargestellten Szenarios aus ?

In der Summe weist die Simulation des Exzellenzszenarios Wilhelmsburg als Stromexporteur aus; in allen vier simulierten Jahren übersteigt die Jahresstromerzeugung den Jahresstromverbrauch. Dennoch kann die vorherrschende Situation nicht als lokal autarke Versorgung im Sinne einer jederzeit garantierten Versorgungssicherheit bezeichnet werden, da im Verlauf der Versorgungsbilanz sowohl

hohe Erzeugungsüberschüsse als auch Versorgungsdefizite auftreten. Eine ausgeglichene Bilanz wird zu keiner Zeit erreicht, Über- und Unterversorgung erstrecken sich jeweils über etwa die Hälfte der Zeit. Die fluktuierende Erzeugung (PV und vor allem Windenergie) prägt der Erzeugung ihren Charakter auf, was sich deutlich im Leistungsbeitrag der lokalen Erzeugung niederschlägt: die maximal von außen zur Lastdeckung zu beziehende Leistung verringert sich nur in vergleichsweise geringem Umfang (von 31 MW auf 25 MW). Dem gegenüber stehen hohe Erzeugungsüberschüsse (max. 158 MW), die entweder in benachbarte/vorgelagerte Netze abgesetzt oder aber abgeregelt werden müssen.

Leichte Verbesserungen werden durch die Einbeziehung elektrischer Speicher in der zweiten Simulationsvariante erreicht<sup>1</sup>. Hier erhöht sich der Zeitanteil, in dem mindestens die zur Lastdeckung erforderliche Leistung bereitgestellt werden kann um etwa 1.000 Stunden (über vier Jahre hinweg). Um den gleichen Betrag verringert sich der Zeitanteil mit Unterversorgung. Die elektrischen Speicher wirken dabei auch dämpfend auf die maximal an benachbarte Netze abzugebende Leistung; diese sinkt, trotz häufigeren Erzeugungsüberschüssen, auf einen Wert von etwa 132 MW.

Der doch relativ geringe Einfluss der (dezentralen) elektrischen Speicher auf die Dynamik der Gesamtversorgungsbilanz Wilhelmsburgs ergibt sich vor allem aus der hohen Leistung der Windenergie im Untersuchungsgebiet.

- Welches Optimierungspotential bei der Erzeugung und der Nachfrage ist absehbar und umsetzbar und welche Konsequenzen für das Stromnetz, für die Speicherung und für das Management des Systems ergeben sich aus der Analyse ?

Das simulierte Szenario zeigt deutlich die Problematik, die sich aus einem hohen Anteil an fluktuierender Erzeugung ergibt. Zwar lassen sich die zur Vollversorgung notwendigen Energiemengen erzeugen bzw. sogar deutlich übertreffen, aber über weite Zeiten hinweg wird nicht dann produziert, wenn der Strom gebraucht wird; es mangelt schlicht am zeitlichen Abgleich zwischen Verbrauch und Erzeugung. Zur Gewinnung der notwendigen Energiemengen muss aber auch eine hohe Erzeugungsleistung installiert werden, mit der Folge, dass zeitweise ein Erzeugungsniveau anliegt, welches ein Vielfaches der aktuell benötigten Leistung beträgt.

Vor allem aus diesen zwei Punkten ergibt sich das Optimierungspotenzial. Geeignete Ansätze sind hier Lastmanagement (Demand-Side-Management; Anpassung der Verbraucherlast an die aktuelle Versorgungssituation) und Speicherung. Maßnahmen zur Steuerung der Verbraucherlast können dabei helfen, kritische Versorgungslagen zu verhindern oder zumindest zu dämpfen, z.B. dadurch, dass ein Teil des Verbrauchs von Zeiten geringer Erzeugung in solche mit guter Erzeugungslage verschoben wird. Hierbei existieren jedoch Grenzen bezüglich der zeitlichen Verlagerung und der erzielbaren Lastveränderungen, die sich aus der jeweiligen Stromverwendung ergeben (z.B. Waschen, Kühlen, verschiedene industrielle oder gewerbliche Prozesse).

---

<sup>1</sup> Die elektrischen Speicher sind in dieser Simulationsvariante so dimensioniert, dass ihr Speichervermögen einem durchschnittlichen Tagesverbrauch entspricht.

Es ist absehbar, dass Erzeugungsüberschüsse/Leistungsspitzen in dem hier auftretenden Ausmaß durch verbraucherseitige Maßnahmen nicht kompensiert werden können. Hierzu sind elektrische Speicher in hinreichender Dimensionierung, mit adäquatem Leistungsvermögen und geeigneter (steuerungstechnischer) Einbindung notwendig.

Insgesamt kann die Frage nach der optimalen Gestaltung der einen oder anderen Maßnahme ohne weitere Untersuchungen des Gesamtsystems nicht beantwortet werden, da Art und Ausgestaltung der unterschiedlichen Systembestandteile (Erzeugung, Verbrauch und Verbrauchsbeeinflussung sowie Speicher) sich gegenseitig beeinflussen. Zudem kann eine Optimierung des Gesamtsystems unter unterschiedlichen Gesichtspunkten erfolgen, wie z.B. ökonomischen, technischen oder ressourcenorientierten.

Auch die Betrachtung der Auswirkung auf den Betrieb des lokalen Versorgungsnetzes und die Frage nach der Sinnhaftigkeit bzw. der Plausibilität von Stromexporten im sich ergebenden Ausmaß können nicht unbeachtet bleiben.

Das simulierte Szenario einer vollständig erneuerbaren Energieversorgung für Wilhelmsburg zeigt deutlich, dass sich die Anforderungen an das Versorgungsnetz, bzw. dessen Betriebscharakteristik im hier gerechneten Fall dramatisch von der heutigen Situation unterscheiden. Es treten deutlich höhere Leistungen, gepaart mit einer Umkehr der Lastflussrichtung auf, was zwangsläufig die Frage nach der Belastbarkeit der verbauten Infrastruktur aufwirft. In diesem Kontext gewinnt dann, zumindest im Hinblick auf ökonomische und ressourcenorientierte Gesichtspunkte, die Frage an Bedeutung, ob das Abregeln überschüssiger Erzeugung in die Überlegungen zur Systemoptimierung mit einzubeziehen ist.

Bezüglich der sich ergebenden Stromexporte muss die Frage nach dem Verbleib bzw. der Verwendbarkeit der Exporte gestellt werden. Eine sinnvolle Nutzung wäre zuerst die Deckung von Stromnachfragen in benachbarten Stadtteilen. Aber auch die Speicherung in Power-to-Gas Anlagen oder die Nutzung in der Industrie zur Erzeugung von Wärme können sinnvoll sein.

- Mit welchen Instrumenten lassen sich diese realisieren?
- Was kann man auf andere urbane Viertel (vor allem Hamburgs) übertragen?

Hier ist zuallererst das Instrument der Einspeise-Vergütung zu nennen. Ohne eine garantierte Einnahme aus den dezentralen Anlagen und ohne einen gesicherten Netzzugang werden dezentrale Anwendungen nicht weiter so wie bisher in den Markt kommen. Dieses Instrument sollte auch auf Speichertechnologien erweitert werden. Parallel dazu sind auf der kommunalen Ebene alle Instrumente und Maßnahmen zur Einführung erneuerbarer Energien und zur Sanierung des Gebäudebestandes umzusetzen. Von der Information der Akteure bis hin zur Organisation von lokalen Energiegenossenschaften dienen alle Maßnahmen der Realisierung der klimaneutralen Stadt.

Die Ergebnisse des Energieatlas und der Stromstudie sind auf andere Stadtteile und andere Regionen Deutschlands übertragbar, da sie auf Stadtraumtypen basieren. Diese

unterschiedliche Stadtraumtypen bilden eine breite Spanne möglicher städtischer Wohnsituationen - von dörflich/kleinstädtig bis verdichtet - ab. Eine Übertragung auf Hamburg ist sicherlich die unproblematischste, da ein weiter Teil der städtebaulichen Gegebenheiten Hamburgs in der Bebauung Wilhelmsburgs wiederzufinden ist.

## 4. Stadtraumtypen

Hat man in einem Stadtraum weitgehend homogene Baustrukturen, so kann man diese in sogenannte typische Stadtraumtypen unterteilen. Die Beschreibung der unterschiedlich bebauten Flächeneinheiten kann dann nach strukturtypischen Kennwerten (z.B. Dichte, Energiebedarf etc.), nach Bebauungsjahr, nach Nutzung, architektonischen und bauphysikalischen Merkmalen erfolgen.

Die Definition einer Stadtraumtypologie erfolgte im Rahmen des Klimaschutzkonzeptes im Energieatlas der IBA Wilhelmsburg.

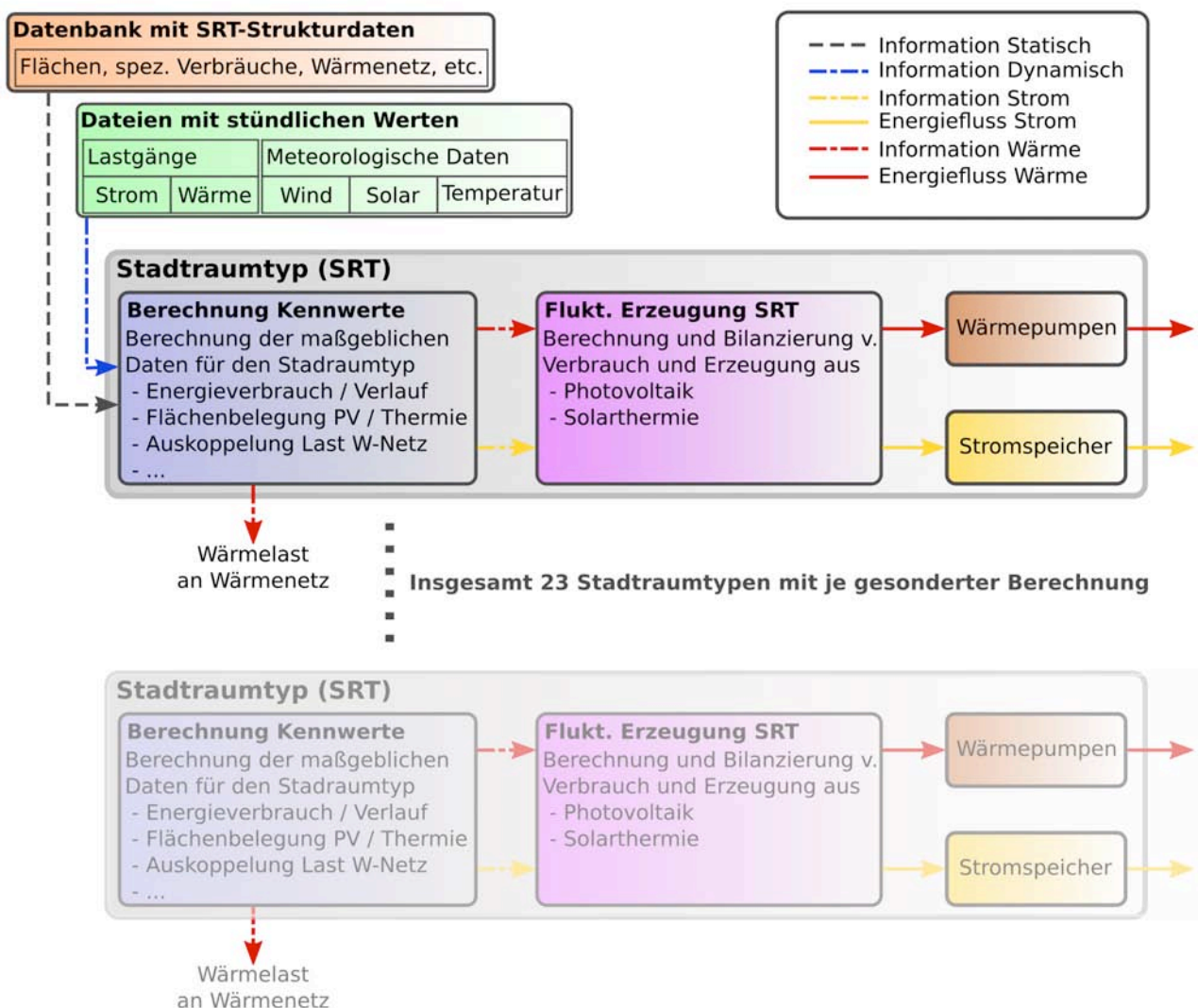


Abbildung 1: Modellierung der Stadtraumtypen

Die unterschiedlichen Stadtraumtypen wurden für Wilhelmsburg beschrieben, verortet und in einem GIS-System kartiert. Jeder Stadtraumtyp verfügt über eine eigene energetische Charakteristik und Gebäudetypologie. Daraus ergeben sich Strom-, Heizwärme- und Warmwasserbedarf.

Diese Stadtraumtypen bildeten die Basis für die Simulation mit dem Model (siehe Abbildung 1). Jeder Stadtraumtyp ist durch seine Strukturdaten und Energiedaten definiert, inklusive zeit- und wetterabhängigen Bedarfs. Innerhalb der Simulation sind zuerst die Kennwerte berechnet worden, dann die fluktuierende Erzeugung innerhalb diese Stadtraumtyps. Dieses wurde für alle Stadtraumtypen unabhängig durchgeführt.

Folgende Auflistung zeigt die Charakterisierung per Definition aus dem Exzellenzszenario für 2050 der benutzten Stadtraumtypen mit Darstellung der wesentlichen dazugehörigen Daten:

#### Mischnutzung

##### Stadtraumtyp I (SRT I): Vorindustriell/Altstadt < 1840

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 0,16 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 0,1 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 0,12 ha (0,1% der gesamten Energiebezugsfläche).

##### Stadtraumtyp IIa (SRT IIa): Baublöcke/Gründerzeit < 1938

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 9,4 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 0,67 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 12,02 ha (1,42% der gesamten Energiebezugsfläche).

##### Stadtraumtyp IIb (SRT IIb): Nachahmerbauten Stil IIa > 1990

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 2,33 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 0,17 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 2,99 ha (0,35% der gesamten Energiebezugsfläche).

##### Stadtraumtyp IIc (SRT IIc): Villen der Gründerzeit < 1938

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 2,38 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 0,17 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 0,46 ha (0,05% der gesamten Energiebezugsfläche).

##### Stadtraumtyp III (SRT III): Wiederaufbau 1950er

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 7,44 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 0,53 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 9,52ha (1,13% der gesamten Energiebezugsfläche).

##### Stadtraumtyp IV (SRT IV): Dörflich-kleinteilig

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 29,24 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 2,08 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 5,61 ha (0,66% der gesamten Energiebezugsfläche).

#### Wohnen

##### Stadtraumtyp V (SRT V): Wohlfahrt Siedlungen Vorkriegszeit < 1938

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 27,25 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 1,94 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 17,39 ha (2,06% der gesamten Energiebezugsfläche).



**Stadtraumtyp VI (SRT VI): Wohnsiedlungen Sozialer Wohnungsbau 1950er**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 9,47 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 0,67 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 3,03 ha (0,36% der gesamten Energiebezugsfläche).

**Stadtraumtyp VII (SRT VII): Hochhauswohnsiedlungen 70er Platte NBL 1970er**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 28,77 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 2,05 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 23,07 ha (2,73% der gesamten Energiebezugsfläche).

**Stadtraumtyp VIIIa (SRT VIIIa): Geschosswohnungsbau 1960-80er**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 34,09 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 2,42 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 16,88 ha (2,0% der gesamten Energiebezugsfläche).

**Stadtraumtyp VIIIb (SRT VIIIb): Geschosswohnungsbau 1990er**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 1,4 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 0,1 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 0,72 ha (0,1% der gesamten Energiebezugsfläche). 0,09

**Stadtraumtyp VIIIc (SRT VIIIc): Geschosswohnungsbau Niedrigenergie**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 5,03 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 0,36 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 0,63 ha (0,07% der gesamten Energiebezugsfläche).

**Stadtraumtyp VIIIc+ (SRT VIIIc+): Geschosswohnungsbau Passivhausstandard**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 46,7 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 3,32 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 42,63 ha (5,04% der gesamten Energiebezugsfläche).

**Stadtraumtyp IXa (SRT IXa): Einfamilienhäuser < 1950**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 168,14 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 11,96 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 37,45 ha (4,43% der gesamten Energiebezugsfläche).

**Stadtraumtyp IXb (SRT IXb): Einfamilienhäuser Niedrigenergie**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 15,89 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 1,13 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 1,32 ha (0,16% der gesamten Energiebezugsfläche).

**Stadtraumtyp IXb+ (SRT IXb+): Einfamilienhäuser Passivhausstandard**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 79,48 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 5,68 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 11,49 ha (1,36% der gesamten Energiebezugsfläche).

**Reines Gewerbe****Stadtraumtyp Xa (SRT Xa):**

### Gewerbe

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 228,54 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 16,26 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 187,01 ha (22,12% der gesamten Energiebezugsfläche).

#### Stadtraumtyp Xa+ (SRT Xa+): Gewerbe Passivhausstandard

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 0,73 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 0,05 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 3,19 ha (0,38% der gesamten Energiebezugsfläche).

### Industrie

#### Stadtraumtyp Xb (SRT Xb): Industrie ist nicht berücksichtigt worden.

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 609,84 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 43,38 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 360,42 ha (42,63% der gesamten Energiebezugsfläche).

### Zweckbauten

#### Stadtraumtyp Xc (SRT Xc): Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 75,35 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 5,36 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 85,7 ha (10,14% der gesamten Energiebezugsfläche).

#### Stadtraumtyp Xc+ (SRT Xc+): Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen Passivhausstandard

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 3,8 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 0,27 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 4,84 ha (0,57% der gesamten Energiebezugsfläche).

### Gewerbe

#### Stadtraumtyp Xd (SRT Xd): Gewerbe in Mischgebieten

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 16,98 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 1,21 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 10,24 ha (1,21% der gesamten Energiebezugsfläche).

### Sondertypen

#### Stadtraumtyp S1 (SRT S1): Schumacherbauten 1920-30er

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 6,85 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 0,49 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 8,77 ha (1,04% der gesamten Energiebezugsfläche).

Weitere Beschreibungen zu den Stadtraumtypen sind dem Energieatlas zu entnehmen.

## 5. Simulationsmodell RESSI

Bei dem verwendeten Simulationsmodell (RESSI, Renewable Energy Simulation and System Integration) handelt es sich um ein Modell nach dem „Bottom-Up“ Ansatz. Das Modell baut sich aus kleinen Einheiten mit unterschiedlicher Funktionalität (Funktionsmodule) auf. Diese sind die „Bausteine“ des Simulationsmodells. Funktionsmodule in RESSI sind in einer grafischen Benutzeroberfläche platziert und können miteinander verbunden werden, um so Prozessketten ab- bzw. nachzubilden. Ein solcher Modellansatz bietet die Möglichkeit der Simulation komplexer Systeme durch die Zusammenstellung einzelner Funktionsmodule. RESSI bietet eine Vielzahl solcher Module, nicht abgedeckte Funktionsweisen können über eine integrierte Programmierumgebung erstellt werden. Jedes Funktionsmodul kann innerhalb eines Modells beliebig oft verwendet werden. Sowohl einzelne Funktionsmodule, als auch komplexere, aus einer Vielzahl von Modulen bestehende Teilmodelle können auf einfache Weise vervielfältigt werden. Dabei verfügt jedes Modul über eine eigenen Parametersatz, so dass gleiche Module zwar über die gleiche Funktionalität verfügen, aber mit einem unterschiedlichen Setup arbeiten können (z.B. Fläche, Ausrichtung, etc. im Photovoltaikmodul). So kann z.B. der Ausgang eines Stadtraumtyp-Moduls die notwendigen Eingangsdaten für ein PV-Modul bereitstellen.

Modellparameter können in einer integrierten Datenbank gehalten und flexibel den Funktionsblöcken zugeordnet werden, Dies ermöglicht nicht nur das Zuweisen von Parametern an einzelne Module, sondern auch den zugriff vieler Module auf den gleichen Parametersatz.

Der Aufbau eines Simulationssystems beginnend mit der Ebene des Stadtraumtyps dient maßgeblich dem Ziel einen hohen Grad an Parametrierbarkeit zu erreichen und so zu einem flexiblen Modell zu gelangen, in dem die Kenndaten schnell veränderbar sind.

Zudem soll die auf den unterschiedlichen Stadtraumtypen aufbauende Modellierung einen weitestgehenden Abgleich zwischen dem Simulationsmodell und dem erarbeiteten Energiekonzept gewährleisten. Jeder im Energiekonzept enthaltene Stadtraumtyp findet sich im Simulationsmodell wieder und ist dort mit den im Energiekonzept angegebenen Kenndaten verknüpft.

Die Modellgestaltung der Stadtraumtypen dient der Untersuchung des Zusammenspiels der Dynamik von eigener Erzeugung (PV), dem Stromverbrauch und - in einer erweiterten Variante des Simulationsmodells - dem Einfluss dezentraler elektrischer Speichersysteme auf den Selbstversorgungsbeitrag innerhalb der Stadtraumtypen. Neben der Speicherung von Strom wird Transformation von Überschussstrom in Wärme und deren Speicherung für jeden Stadtraumtyp abgebildet (Strom → Wärmepumpe → Speicher).

Jedem Stadtraumtyp werden innerhalb des Modells spezifische Kennwerte zugeordnet; Wohnflächen, Wärmebedarf pro Quadratmeter, Wohnfläche und Jahr, Angebot an solarem Flächenpotenzial. Das bedeutet, dass die Stadtraumtypen in der

Simulation als konfigurierbare Klasseneinheiten abgebildet werden und so auf einfache Weise verändert, bzw. andere Stadtraumtypen hinzugefügt werden können.

Auf Ebene der Programmierung besteht kein Unterschied zwischen den unterschiedlichen Stadtraumtypen; dieser wird ausschließlich über die Definition der Strukturen in der Datenbank erreicht.

Die benötigten Grunddaten für die Definition der Stadtraumtypen entstammen dem bereits ausgearbeiteten Energiekonzept.

Die Modellierung des Versorgungssystems fußt auf einer blockbasierten<sup>1</sup> kontinuierlichen Simulation mit einer zeitlichen Auflösung im Stundenraster. Daher müssen die durchgeführten Simulationen als „quasidynamisch“ betrachtet werden; aufgrund des Zeitrasters von einer Stunde entfallen alle Effekte und Variationen, die sich in kleineren Zeiträumen abspielen.

Verbraucht z.B. ein Haushalt eine Kilowattstunde in einem Zeitschritt der Simulation (= 1 Stunde), entspricht dies einem durchschnittlichen Leistungsbezug von einem Kilowatt (=1.000 Watt). In der Realität ist ein solch gleichmäßiger Leistungsbezug wohl eher die Ausnahme. In der Regel kommt es auch innerhalb dieser jeweiligen Stunde zu teils deutlichen Schwankungen, z.B. durch das Aus- und Einschalten von elektrischen Geräten, dem unsteten Betrieb von KühlgerätekompRESSoren etc.

Alle in das Modell eingespeisten Daten weisen diese Unterteilung auf stündlicher Basis auf, sowohl die Lastprofile des Strom- und Wärmebezugs als auch die meteorologischen Daten zu Solarstrahlung, Windgeschwindigkeiten und Temperaturen.

Das Simulationsmodell gliedert sich in drei grundlegende Bereiche:

- 1) dem Bedarfsmodell, welches den Energiebedarf abbildet,
- 2) dem Klimamodell, welches die meteorologischen Daten zur Berechnung der Stromerzeugung mittels Solar- und Windkraft bereitstellt, sowie
- 3) dem Versorgungsmodell, das alle im Modell verwendeten Energieerzeuger wie auch die Energiespeicher enthält.

Im Wesentlichen besteht das **Bedarfsmodell** aus den hinterlegten Strom- und Wärmelastgängen für die privaten Haushalte sowie Gewerbe und Industrie. Die Lastprofile liegen dabei in normierter Form vor – hier z.B. analog zu den Standardlastprofilen der Energieversorger – normiert auf einen Jahresverbrauch von 1.000 kWh. Verwendet wurden keine sog. Standardlastprofile, die das kollektive Verhalten für unterschiedliche Verbrauchergruppen beschreiben und für die Planung

---

<sup>1</sup> „Blöcke“ stellen in der verwendeten Simulationsumgebung in sich geschlossene Funktionseinheiten dar, die eine mathematische und/oder algorithmische Beschreibung der jeweiligen Funktionalität enthalten. Jeder Block kann sog. Konnektoren haben, über die er Daten empfangen und ausgeben kann (Eingangs- u. Ausgangskonnektoren). Z.B. enthält der Block zur Berechnung des Sonnenstandes die Programmierung zur Berechnung von Sonnenhöhe, Stundenwinkel und wahrer Ortszeit aus den Eingangsdaten für die geographische Lage und die Ortszeit. Die berechneten Werte werden an den Ausgangskonnektoren für die Weiterverwendung in anderen Blöcken bereitgestellt. Die unterschiedlichen Blöcke können auf einer grafischen Benutzeroberfläche frei platziert und mittels Maus miteinander verbunden werden. Hierdurch lassen sich beliebige Verarbeitungsketten von Eingangsdatenströmen zu Ausgangsdatenströmen aufbauen.

der kommerziellen Energieversorger verwendet werden. Stattdessen wurden individuelle Lastprofile für Gewerbe und Industrie eingespeist sowie für die Haushalte Lastprofile, die aus den gemessenen Daten von etwa 90 Privathaushalten entwickelt wurden. Die Aufbereitung der Lastgänge, d.h. die Skalierung auf den benötigten Jahresverbrauch und die Mischung unterschiedlicher Lastgänge, ist ebenfalls Bestandteil des Bedarfsmodells.

Das **Klimamodell** dient im wesentlichen als Datenserver, enthält jedoch darüber hinaus (Funktions-)Blöcke, die z.B. den Sonnenstand für die zugehörigen Strahlungsdaten berechnen oder die gemessenen Windgeschwindigkeiten von der Höhe des Messpunktes auf die Nabenhöhe der verwendeten Windenergieanlagen umrechnen. Die solchermaßen bereitgestellten Daten dienen als Treibergrößen zur Ermittlung der Erzeugung von Photovoltaik, Solarthermie und Windenergie für die jeweilige Stunde der Simulation.

Im **Versorgungsmodell** befinden sich alle an der Energieversorgung und -speicherung beteiligten Funktionseinheiten (Blöcke) wie Windenergie-, Photovoltaik- und Solarthermieanlagen, aber auch die thermischen und elektrischen Speicher. Im hier verwendeten Modell werden die Erzeugungsarten entsprechend der vorhandenen Potenziale zusammengefasst abgebildet.

Für die Photovoltaik bedeutet dies, dass dieses Funktionsmodul pro Stadtraumtyp nur einmal mit der insgesamt dort installierten Leistung vorhanden ist, sowie je ein weiteres mal für größere, über das Untersuchungsgebiet verteilte Einzelstandorte (z.B. Energieberg, Kirchdorf, etc.).

Eben so, wie die Einzelstandorte größerer PV-Anlagen, werden auch Windenergie und Sonderprojekte als über Wilhelmsburg verteilte Erzeugung behandelt, die sich nicht unmittelbar einem Stadtraumtyp zuordnen lässt. Folglich wird die Erzeugung dieser Anlagen nicht mit dem Bedarfsverlauf eines Stadtraumtyps bilanziert, sondern mit der für Wilhelmsburg anliegenden Gesamtlast.

Speicher sind jeweils als zusammengefasste Speicherkapazität für jeden Stadtraumtyp im Modell abgebildet. Im Fall der thermischen Speicher kann der verwendete Block wahlweise auch eine Vielzahl einzelner Speicher nachbilden, was insbesondere für die Berechnung und den Vergleich der Wärmeverluste von unterschiedlichen Speicherkonfigurationen von Vorteil ist.

Thermische Speicher können im Modell anhand des Speichervolumens, der Speicherverluste sowie der maximalen Be- und Entladeleistung abgebildet werden.

Für die Stromspeicherung gilt prinzipiell, aus Sicht der Modellierung, das Gleiche wie auch für die thermischen Speicher, d.h. dass die (stationären) Speicher nach jetzigem Stand mittels Leistung(en), Kapazität und Verlusten, aber ohne konkrete Festlegung auf eine bestimmte Technologie modelliert werden. Gegenüber den thermischen Speichern verfügen die Stromspeicher jedoch über einen zusätzlichen Parameter, über den etwaige Rückwandlungsverluste definiert werden können. Grundsätzlich kann mit diesem Parametersatz das Verhalten jeder Speicherkette nachempfunden werden.

## Wärmelastprofile

Die Einbeziehung der Wärmelast in die Betrachtung des Versorgungssystems ist integraler Bestandteil des Modells. Anders als bei den Stromlastgängen konnten hierfür keine gemessenen Daten beschafft werden. Um dennoch eine möglichst realitätsnahe Abbildung der Wärmelast im geforderten Stundenraster zu ermöglichen, wurde ein Verfahren adaptiert, welches Gasversorger zur Vorausberechnung der Gaslieferungen an Endkunden verwenden (vgl. /BGW 2006/).

Im Wesentlichen fließen in dieses „Verfahren zur Belieferung von nicht-leistungsgemessenen Haushalts- und Gewerbekunden mit Erdgas“<sup>2</sup> die jeweiligen Außentemperaturen und Strukturfaktoren der Bebauung des zu versorgenden Gebiets mit ein.

### Bestandteile und Arbeitsweise des Versorgungsmodells

Das Versorgungsmodell enthält alle Modellblöcke, in denen Energieerzeugung und/oder -speicherung stattfinden sowie die Verknüpfung der Einzelsysteme untereinander.

Der im Modell verwendete „Photovoltaikblock“ berechnet die Leistung der installierten PV auf Basis der auf die Modulfläche treffenden Direkt- und Diffusstrahlung. Diese Werte werden vom Klimamodell zur Verfügung gestellt.

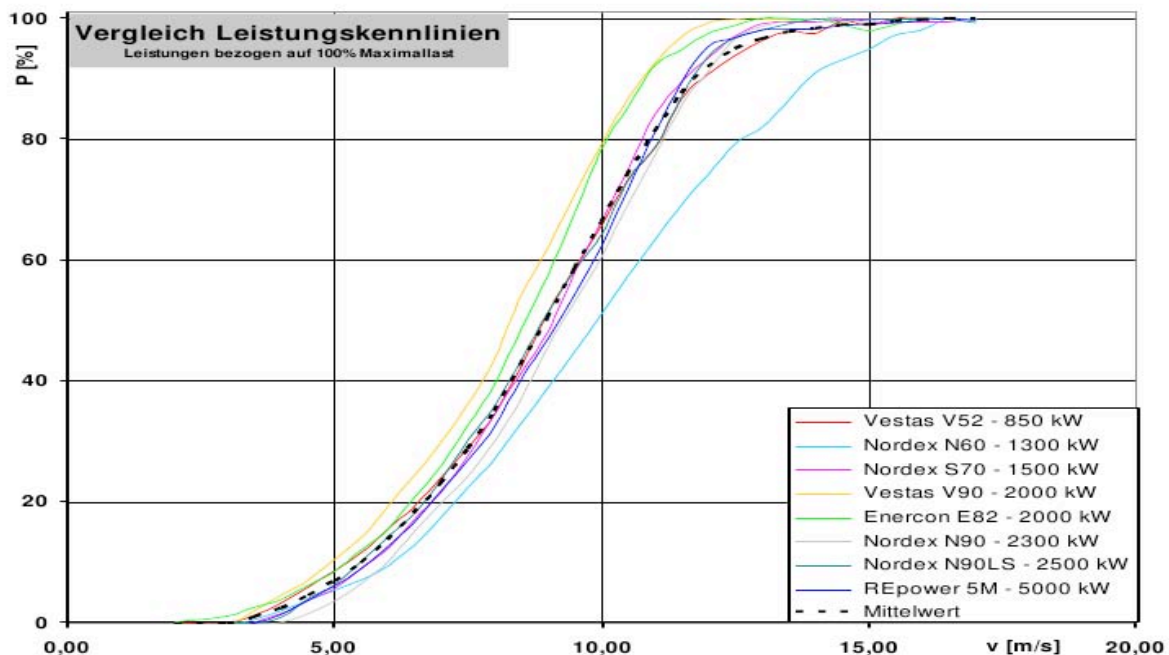


Abbildung 1: Verläufe der Leistungskennlinien ausgewählter WEA. Quelle: /Energiestudie 2010/.

Die Abbildung der Windenergie erfolgt über eine Kennlinie, welche die Leistung der Anlage(n) in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit darstellt. Die verwendete Kennlinie repräsentiert den Mittelwert der Kennlinien moderner Windenergieanlagen unterschiedlicher Leistungsklassen /Energiestudie 2010/ (siehe Abbildung 1).

<sup>2</sup> Die Berechnung des Gaslieferprofils erfolgt über eine Sigmoid-Funktion /BGW 2006/.

Leistung und Nabenhöhe der Anlagen können frei bestimmt werden. Der Eingangswert der Windgeschwindigkeit wird innerhalb des Modellblocks, dem Potenzansatz nach Hellmann<sup>3</sup>, folgend auf die verwendete Nabenhöhe umgerechnet.

### Wärmepumpen

Wärmepumpen stellen im Modell einen einfach umzusetzenden Block dar. Sie werden hier mittels der Arbeitszahl abgebildet, d.h. dem Verhältnis von aufgenommener elektrischer Leistung zur abgegebenen Nutzwärme. Die im Modell innerhalb der Stadtraumtypen enthaltenen Wärmepumpen werden als sog. „must-run“ Einheiten behandelt, d.h. auch wenn keine Stromüberschüsse aus der lokalen Erzeugung vorliegen, werden die Wärmepumpen zur Bereitstellung der benötigten Wärme eingesetzt, sodass aus deren Betrieb dann eine zusätzliche Stromlast resultiert.

### Solarthermie

Der Ertrag der Kollektoren wird mit Hilfe der Kollektorkennlinie nachgebildet. Für jede Stunde wird mittels iterativer Berechnung ein stationärer „Ersatzzustand“ berechnet, der durch die Parameter absorbierte Energiemenge, Volumenstrom und Temperatur gekennzeichnet ist.

### Speicher im Versorgungsmodell

Als Speichersetup werden im Modell für die Abbildung der elektrischen Speicher die Parameter für Bleiakumulatoren verwendet. Hierbei wird eine Speichereffizienz von 70% zu Grunde gelegt, d.h. über die Prozesskette: Ladung - Speicherung - Entladung sind 70% der eingeladenen Energiemenge dem Speicher wieder entnehmbar. Überlagert wird dies durch die Selbstentladung der Akkumulatoren, welche bei 60% pro Jahr liegt.

Die Bleiakumulatoren stehen in der Simulation stellvertretend für eine Reihe weiterer, potenziell verwendbarer Akkumulatortechnologien, die jeweils Vor- und Nachteile aufweisen. Je nach Technologie bestehen hier physikalisch vor allem Unterschiede in der Energiedichte (z.B. Wh/kg oder Wh/l), der Leistungsdichte (z.B. W/kg), der Zyklenfestigkeit (Lebensdauer) und teils der Betriebstemperatur.

Die thermischen Speicher werden innerhalb der Stadtraumtypen nicht als Schichtspeicher abgebildet, sondern anhand der mittleren Speichertemperatur, die für das gesamte Speichervolumen als homogen angenommen wird.

Thermische Verluste der Speicher werden über die Angabe der Wärmeverlustrate ermittelt, welche den energetischen Verlust des Speichers pro Kelvin Temperaturdifferenz zur Umgebung beschreibt. Die Daten der Wärmeverlustraten thermischer Speicher unterschiedlicher Größe orientieren sich an Messergebnissen des Instituts für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW) der Universität Stuttgart. Neben den Daten der besten Speicher mit kleineren Speichervolumina (bis ca. 1.500 Liter) wurden für die Abschätzung der Wärmeverlustraten größer dimensionierter Speicher auch veröffentlichte Daten zu bestehenden großen thermischen Speichern berücksichtigt /ITW 2006/, /solites 2009/.

<sup>3</sup> siehe dazu auch: [http://de.wikipedia.org/wiki/Potenzgesetz\\_nach\\_Hellmann](http://de.wikipedia.org/wiki/Potenzgesetz_nach_Hellmann)

Für das Sonderprojekt „Energiebunker“ wird der thermische Speicher als Schichtspeicher simuliert.

### Arbeitsweise und Informationsfluss

Zunächst wird die fluktuierende Stromerzeugung berechnet und mit den aktuell vorliegenden Lastdaten für jeden Stadtraumtyp bilanziert. An dieser Stelle ist dann die Information darüber verfügbar, ob eine Deckung des Strombedarfs, ein Stromüberschuss (negative Residuallast) oder eine Deckungslücke (positive Residuallast) besteht.

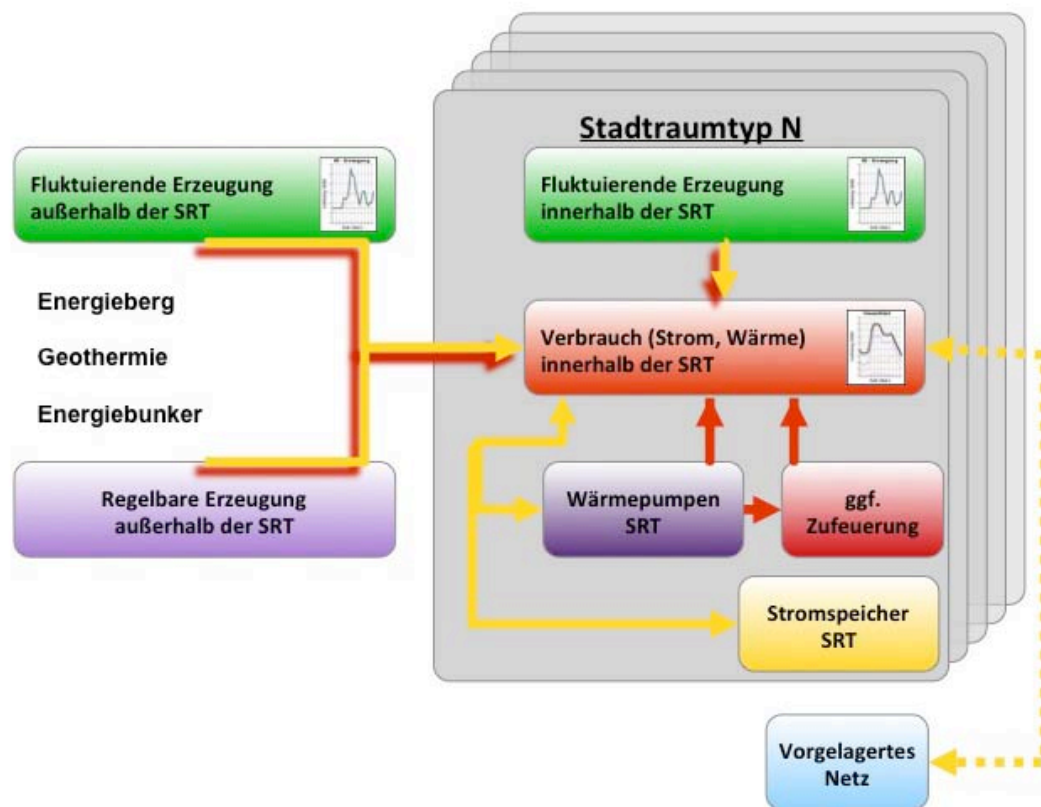


Abbildung 2: Darstellung der Verknüpfung von Erzeugung und Verbrauch im Modell RESSI

Neben dem Stromverbrauch der Haushalte wird auch der Wert der aktuellen Wärmelast in Form der äquivalenten elektrischen Leistung für den Betrieb der Wärmepumpen im Modell separat mitgeführt und an den jeweils relevanten Stellen mit der lokalen Wärmeerzeugung bilanziert, bzw. um deren Beitrag korrigiert. Im Modell stellt dies die Stelle dar, an der die Versorgungssituation im Bereich der Wärme direkten Einfluss auf die elektrische Last hat. Kann z.B. der gesamte Wärmebedarf in einem Simulationsschritt mittels Solarthermie und/oder der thermischen Speicher gedeckt werden, müssen die Wärmepumpen nicht betrieben werden und benötigen dementsprechend auch keinen Strom.



Die Strombilanz nach fluktuierender Erzeugung, dem eigentlichen Strombedarf und dem Strombedarf der Wärmeversorgung ergibt die Residuallast eines Stadtraumtyps, bzw. stellt in der Simulationsvariante mit dezentralen elektrischen Speichern die Eingangsgröße für die elektrischen Speicher dar. So lassen sich an dieser Stelle bestehende Stromüberschüsse einspeichern oder Versorgungsdefizite aus den elektrischen Speichern ausgleichen. Hier ergibt sich die Residuallast der Stadtraumtypen erst nach nach Einsatz der Speicher.

## 6. Ergebnisse - Simulation ohne dezentrale elektrische Speicher

In der Simulation ohne Berücksichtigung dezentraler elektrischer Speicher findet keinerlei zeitlicher Abgleich zwischen fluktuierender Erzeugung und vorliegendem Stromverbrauch statt. Stromüberschüsse und -defizite aus der fluktuierenden Erzeugung innerhalb der Stadtraumtypen wirken sich demzufolge auch unmittelbar und ungedämpft auf die Gesamtversorgungssituation aus.

Die Strombilanzen der einzelnen Stadtraumtypen (SRT) fallen - entsprechend der bestehenden Unterschiede, z.B. in Größe, Solarflächenangebot, Wärmepumpennutzung und Nutzung der Solarflächen - stark unterschiedlich aus. Wenige der Stadtraumtypen erzielen in den Jahressummen eine PV-Erzeugung, die den Strombedarf um ein Vielfaches übersteigt, während in anderen nur einen Bruchteil des benötigten Stroms bereitgestellt werden kann.

SRT	Stromlast gesamt	PV gesamt	Bilanz nach PV	Stromlast inkl. Wärmepumpen	Bilanz nach Wärmepumpen
in MWh					
Vorindustriell/Altstadt < 1840	120,0	25,2	94,8	203,0	177,9
Baublöcke Gründerzeit < 1938	12.019,7	3.337,6	8.682,1	12.257,7	8.920,1
Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	2.989,9	931,1	2.058,9	3.039,4	2.108,3
Villen der Gründerzeit < 1938	368,0	459,1	-91,2	371,2	-88,0
Wiederaufbau 1950er	7.996,6	5.864,8	2.131,8	8.168,5	2.303,7
Dörflich-kleinteilig	4.263,5	691,8	3.571,7	4.339,2	3.647,4
Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	14.607,2	4.043,4	10.563,8	14.803,4	10.759,9
WS Soz. Wohnungsbau 1950er	3.029,9	3.291,5	-261,6	3.212,4	-79,1
HH WS 70er Platte NBL 1970er	20.301,1	13.351,0	6.950,1	20.423,0	7.072,0
Geschosswohnungsbau 1960-80er	14.178,8	9.807,7	4.371,2	14.341,5	4.533,8
Geschosswohnungsbau 1990er	604,8	452,7	152,1	614,2	161,6
Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	529,2	1.635,6	-1.106,4	530,1	-1.105,6
Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	35.808,3	7.796,1	28.012,2	35.992,1	28.196,1
Einfamilienhäuser > 1950	29.959,2	7.549,9	22.409,3	30.096,7	22.546,8
Einfamilienhäuser Niedrigenergie	1.056,0	620,9	435,1	1.190,2	569,3
Einfamilienhäuser Passivhausstandard	9.191,8	4.311,2	4.880,6	9.333,9	5.022,7
Gewerbe	291.731,3	105.856,6	185.874,7	291.792,8	185.936,2
Gewerbe Passivhausstandard	4.976,3	576,5	4.399,9	5.044,9	4.468,4
Industrie	0,0	0,0	0,0	192,1	192,1
Zweckbauten u. öff. Einrichtungen	85.698,7	26.856,5	58.842,2	85.805,7	58.949,2
Zweckbauten u. öff. Einrichtungen Passivhausstandard	4.839,9	0,0	4.839,9	5.008,4	5.008,4
Gewerbe in Mischgebieten	16.383,8	2.151,6	14.232,2	16.506,3	14.354,7
Schumacherbauten 1920-30er	8.769,8	811,1	7.958,7	8.769,8	7.958,7
<b>Summe</b>	<b>569.423,8</b>	<b>201.938,9</b>	<b>367.484,9</b>	<b>572.036,2</b>	<b>370.097,3</b>

Tabelle 1: Mengenbilanzierung der Stadtraumtypen über den gesamten Zeitraum von vier Jahren

In Tabelle 1 sind für jeden Stadtraumtyp die Bilanzmengen für den gesamten simulierten Zeitraum von vier Jahren angegeben. Diese Art der Bilanzierung (statische Bilanzierung) berücksichtigt nicht wann Erzeugungs-überschüsse und -defizite vorhanden sind, sondern verrechnet diese miteinander. Unterschlagen wird dabei, dass

alle lokal auftretenden Überschüsse an benachbarte Netze exportiert werden müssen, während alle Defizite durch Leistungsbezug aus benachbarten Netzen gedeckt werden müssen.

In der statischen Bilanzierung über alle Stadtraumtypen verbleibt in der Summe eine nicht gedeckte Last von ca. 370.097 MWh über den gesamten Zeitraum von vier Jahren.

Unter Einbeziehung des zeitlichen Auftretens der bereits angesprochenen Erzeugungsüberschüsse, also unter Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens von Verbrauch und Erzeugung, ergeben sich für jeden Stadtraumtyp zu exportierende Leistungs- bzw. Energieüberschüsse, sowie nicht gedeckter Strombedarf, der entweder durch den Ausgleich der Stadtraumtypen untereinander, die Verteilte Erzeugung innerhalb Wilhelmsburgs oder Strombezug aus umgebenden Netzen gedeckt werden müssen (Tabelle 2).

SRT	Restlast nach PV	Überschüsse nach PV	Restlast nach Wärmepumpen	Überschüsse nach Wärmepumpen
	in MWh			
Vorindustriell/Altstadt < 1840	98,8	-3,9	181,8	-3,9
Baublöcke Gründerzeit < 1938	9.544,2	-862,1	9.781,0	-860,9
Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	2.340,9	-282,0	2.390,0	-281,7
Villen der Gründerzeit < 1938	243,7	-334,9	246,8	-334,7
Wiederaufbau 1950er	5.651,9	-3.520,1	5.819,3	-3.515,6
Dörflich-kleinteilig	3.626,5	-54,8	3.702,1	-54,7
Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	11.603,3	-1.039,5	11.798,6	-1.038,7
WS Soz. Wohnungsbau 1950er	2.041,5	-2.303,1	2.216,6	-2.295,7
HH WS 70er Platte NBL 1970er	14.536,2	-7.586,1	14.655,0	-7.583,0
Geschosswohnungsbau 1960-80er	10.091,7	-5.720,5	10.249,8	-5.716,0
Geschosswohnungsbau 1990er	426,4	-274,3	435,6	-274,0
Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	313,3	-1.419,7	314,0	-1.419,6
Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	29.325,2	-1.312,9	29.508,6	-1.312,5
Einfamilienhäuser > 1950	24.080,4	-1.671,1	24.217,4	-1.670,6
Einfamilienhäuser Niedrigenergie	766,2	-331,1	898,0	-328,7
Einfamilienhäuser Passivhausstandard	6.850,4	-1.969,8	6.990,4	-1.967,7
Gewerbe	219.610,5	-33.735,9	219.671,5	-33.735,3
Gewerbe Passivhausstandard	4.410,2	-10,3	4.478,8	-10,3
Industrie	0,0	0,0	192,1	0,0
Zweckbauten u. öff. Einrichtungen	65.815,6	-6.973,5	65.922,0	-6.972,8
Zweckbauten u. öff. Einrichtungen Passivhausstandard	3.716,8	-394,2	3.866,2	-375,1
Gewerbe in Mischgebieten	14.298,0	-65,8	14.420,5	-65,8
Schumacherbauten 1920-30er	7.961,6	-3,0	7.961,6	-3,0
<b>Summe</b>	<b>437.353,4</b>	<b>-69.868,5</b>	<b>439.917,7</b>	<b>-69.820,5</b>

Tabelle 2: Verbleibende Defizite (Restlast) und Überschüsse in der Stromversorgung der Stadtraumtypen an den Bilanzstellen nach PV-Erzeugung sowie nach Wärmepumpenverwendung.

Beachtet man in der Bilanzierung auch die aktuelle Versorgungslage, d.h. Erzeugungsüberschuss, ausgeglichene Bilanz oder Erzeugungsdefizit (dynamische Bilanz), steht einem insgesamt nicht gedeckten Strombedarf von etwa 433.776 MWh ein Gesamtüberschuss von ca. 62.161 MWh gegenüber (in Tabelle 3 als „negativer Bedarf“ mit einem vorangestellten Minus gekennzeichnet). Hierbei müsste der nicht

gedeckte Bedarf aus der verteilten Erzeugung in Wilhelmsburg (größere PV-Einzelanlagen, Windenergie, Sonderprojekte und/oder aus dem vorgelagerten Netz der allgemeinen Stromversorgung bezogen werden. Überschüsse müssen in das vorgelagerte Netz exportiert werden.

Diese Werte weichen von den in Tabelle 2 angegebenen Bilanzsummen über alle Stadtraumtypen ab (439.918 MWh Restlast und 69.821 MWh Überschüsse, jeweils nach Wärmepumpenverwendung). Dies liegt daran, dass die Summenbildung aus den Gesamtbilanzen der Stadtraumtypen keine Ausgleichseffekte im Verbund der Stadtraumtypen erfassen kann. Die korrekten Werte ergeben sich erst aus der Summierung der einzelnen Stundenwerte, da dann auch zeitgleich auftretende Erzeugungsüberschüsse und -defizite miteinander bilanziert werden. Die Unterschiede zwischen den Werten stellen den Vorteil dar, der aus dem Netzverbund der Stadtraumtypen resultiert.

In der Betrachtung der einzelnen Jahre für den Gesamtverbund der Stadtraumtypen variieren sowohl der ungedeckte Bedarf, als auch die Überschüsse in einem Bereich von etwa 5,4% beim ungedeckten Bedarf und etwa 28% bei den Erzeugungsüberschüssen (Tabelle 3).

	Energienmengen, kWh	Leistungen, kW	Zeiten, Std.
	Restbilanz über alle SRT		Ausgeglichene Bilanz
<b>Gesamtzeit</b>	370.097.297		0
<b>Jahr 1</b>	96.894.379		0
<b>Jahr 2</b>	93.454.801		0
<b>Jahr 3</b>	94.330.277		0
<b>Jahr 4</b>	85.417.839		0
	<b>dabei Erzeugungsüberschüsse</b>	<b>maximaler Überschuss</b>	<b>Erzeugungsüberschüsse</b>
<b>Gesamtzeit</b>	-63.259.529	-50.784	4.899
<b>Jahr 1</b>	-14.168.205	-33.439	1.146
<b>Jahr 2</b>	-14.165.672	-36.444	1.159
<b>Jahr 3</b>	-15.262.897	-34.535	1.218
<b>Jahr 4</b>	-19.662.756	-50.784	1.376
	<b>dabei ungedeckte Last</b>	<b>maximales Defizit</b>	<b>Erzeugungsdefizite</b>
<b>Gesamtzeit</b>	433.356.826	30.626	30.140
<b>Jahr 1</b>	111.062.584	30.131	7.614
<b>Jahr 2</b>	107.620.473	29.805	7.601
<b>Jahr 3</b>	109.593.174	30.585	7.542
<b>Jahr 4</b>	105.080.595	30.626	7.383

Tabelle 3: Strombilanzierung: resultierende Bilanz über alle Stadtraumtypen (SRT), unter Berücksichtigung der PV-Erzeugung innerhalb der SRT.

Analog zu den Variationen bei den Energiemengen, zeigen sich auch in Bezug auf die Leistungsdefizite und Leistungsüberschüsse über die Jahre hinweg deutlichere Unterschiede bei den Überschüssen, als dies bei der fehlenden Erzeugungsleistung der Fall ist. Während der maximale Leistungsüberschuss innerhalb der vier Jahre zwischen ca. 51 und 33 MW variiert, zeigt sich der Wert für Leistungsdefizite, mit Maximalwerten von ca. 29,8 bis 30,6 MW, deutlich konstanter.

Die Betrachtung der Anzahl der Stunden zu denen entweder eine defizitäre Versorgungssituation vorliegt, der Strombedarf gerade gedeckt wird, oder aber die Erzeugungsleistung den aktuellen Bedarf übersteigt, zeigt ein deutliches Überwiegen von Versorgungsdefiziten. Über die vier Jahre hinweg kann der Strombedarf binnen etwa 7.400 bis 7.600 Stunden pro Jahr (von insgesamt 8.760 Stunden pro Jahr) nicht gedeckt werden. Damit liegt die Defizitquote in einem Bereich von ca. 84 bis 87%. Im

Umkehrschluss kann innerhalb des Verbunds der Stadtraumtypen zu etwa 13 bis 16% der Zeit eines Jahres mindestens die zur Deckung des vorhandenen Strombedarf notwendige Leistung bereitgestellt werden.

Betrachtet man hierzu die entsprechenden Werte der einzelnen Stadtraumtypen (Tabelle 4) ergeben sich auch hier Unterschiede, die auf Ausgleichseffekte in Verbund der Stadtraumtypen zurückzuführen sind. Dadurch, dass die maximalen Leistungsdefizite in den Stadtraumtypen nicht zeitgleich anfallen, ist z.B. das maximale Leistungsdefizit im Verbund der Stadtraumtypen um etwa 2 MW geringer, als die Summe der maximalen Leistungsdefizite aller SRT; gleiches gilt für die Leistungsüberschüsse.

SRT	max.Defizit	max. Überschuss	Defizit	Überschuss
	in kW		in Stunden	
Vorindustriell/Altstadt < 1840	17,161	-4,869	32.078,000	2.961,000
Baublöcke Gründerzeit < 1938	1.143,287	-742,034	30.813,000	4.226,000
Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	282,962	-215,938	30.345,000	4.694,000
Villen der Gründerzeit < 1938	33,807	-133,727	25.626,000	9.413,000
Wiederaufbau 1950er	749,994	-1.626,978	27.347,000	7.692,000
Dörflich-kleinteilig	406,876	-110,177	33.193,000	1.846,000
Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	1.384,943	-897,826	30.820,000	4.219,000
WS Soz. Wohnungsbau 1950er	289,065	-949,000	26.156,000	8.883,000
HH WS 70er Platte NBL 1970er	1.882,772	-3.652,135	27.685,000	7.354,000
Geschosswohnungsbau 1960-80er	1.319,013	-2.700,943	27.518,000	7.521,000
Geschosswohnungsbau 1990er	56,576	-125,881	27.278,000	7.761,000
Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	46,629	-505,668	22.685,000	12.354,000
Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	3.381,813	-1.542,908	31.887,000	3.152,000
Einfamilienhäuser > 1950	2.824,095	-1.610,355	31.244,000	3.795,000
Einfamilienhäuser Niedrigenergie	106,553	-167,083	28.150,000	6.889,000
Einfamilienhäuser Passivhausstandard	864,709	-1.114,409	28.826,000	6.213,000
Gewerbe	12.358,867	-28.548,547	30.133,000	4.906,000
Gewerbe Passivhausstandard	215,260	-91,203	34.505,000	534,000
Industrie	5,484	5,484	35.039,000	0,000
Zweckbauten u. öff. Einrichtungen	3.637,808	-7.021,301	30.752,000	4.287,000
Zweckbauten u. öff. Einrichtungen Passivhausstandard	214,043	70,016	35.039,000	0,000
Gewerbe in Mischgebieten	702,514	-381,945	34.278,000	761,000
Schumacherbauten 1920-30er	829,854	-68,658	34.857,000	182,000

Tabelle 4: Defizite- (Restlast) und Überschussleistung sowie Stunden mit Versorgungsdefizit und Erzeugungsüberschuss in der Stromversorgung der Stadtraumtypen, bezogen auf den Gesamtstrombedarf inkl. Wärmepumpen.

Neben der PV-Erzeugung innerhalb der Stadtraumtypen findet weitere Stromerzeugung über das Gebiet von Wilhelmsburg verteilt statt. Hier sieht das Energiekonzept sowohl fluktuierende Erzeugung in nennenswertem Umfang vor (Windenergie und Photovoltaik an verschiedenen Standorten), als auch regelfähige erneuerbare Erzeugung, z.B. aus Biomethan.

Die hier getroffene Unterscheidung zwischen fluktuierender und regelbarer erneuerbarer Erzeugung muss an dieser Stelle dahingehend konkretisiert werden, dass die o.g. Erzeugungstypen zwar grundsätzlich regelfähig sind, sich aus der Sicht der Stromversorgung aber nicht so darstellen. Zu Begründen ist dies dadurch, dass die

vorgesehenen KWK-Anlagen (Kraft-Wärme-Kopplung) primär zur Deckung des Wärmebedarfs eingesetzt und zur Erfüllung dieses Zwecks geregelt werden. Die parallel zur Wärmeerzeugung anfallende Stromerzeugung ist in Bezug auf die Versorgungssituation beim Strom demnach ungeregelt, bzw. aufgezwungen.

Insgesamt liefert die Windenergie den bei weitem größten Beitrag zur Stromerzeugung innerhalb Wilhelmsburgs (insgesamt ca. 939.419 MWh, mit deutlichen Unterschieden in den einzelnen Jahren), gefolgt von der Photovoltaik (ca. 29.908 MWh insgesamt), sowie den KWK-Anlagen (ca. 7.500 bis 10.500 MWh insgesamt). Ebenso wie die Windenergie, zeigt auch die Photovoltaik Unterschiede in der Jahreserzeugung. Besonders auffällig ist das vierte Jahr mit weit überdurchschnittlichen Erzeugungswerten.

Die statische Bilanzierung von Stromerzeugung und Stromverbrauch für Gesamt-Wilhelmsburg zeigt durchweg Erzeugungsüberschüsse. Über den gesamten Zeitraum betrachtet übersteigt die lokal erzeugte Strommenge den gesamten Strombedarf um etwa 612.590 MWh, d.h. in der Summe wird Wilhelmsburg zum Stromexporteur. Betrachtet man die einzelnen Jahre, stechen vor allem das zweite und dritte Jahr der Simulation hervor: die überdurchschnittliche Erzeugung der Windenergie führt in diesen Jahren zu besonders hohen Erzeugungsüberschüssen. Im ersten und im vierten Jahr liegen die Erzeugungsüberschüsse in etwa auf dem gleichen Niveau, setzen sich jedoch unterschiedlich zusammen. Während im ersten Jahr sowohl Windenergie als auch Photovoltaik mittlere Jahreserträge liefern, trifft im vierten Jahr ein deutlich unterdurchschnittlicher Ertrag der Windenergie auf eine deutlich überdurchschnittliche Erzeugung der Photovoltaik.

	Gesamtzeitraum	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4
	in kWh				
Windenergie Energieberg	187.883.774	44.429.867	51.639.856	50.214.151	41.599.900
Windenergie Wilhelmsburg, verteilt	751.535.095	177.719.468	206.559.423	200.856.603	166.399.599
<b>Windenergie gesamt</b>	<b>939.418.869</b>	<b>222.149.335</b>	<b>258.199.279</b>	<b>251.070.754</b>	<b>207.999.499</b>
Photovoltaik Energieberg	3.201.674	760.598	756.373	800.942	883.760
Photovoltaik Energiebunker	774.031	183.881	182.859	193.634	213.656
PV Kirchdorf Süd	19.991.109	4.749.140	4.722.759	5.001.048	5.518.162
PV Wilhelmsburg, sonstige, verteilt	5.941.040	1.411.369	1.403.529	1.486.232	1.639.910
<b>PV Wilhelmsburg, gesamt</b>	<b>29.907.854</b>	<b>7.104.988</b>	<b>7.065.520</b>	<b>7.481.856</b>	<b>8.255.488</b>
Biomethan Wilhelmsburg Mitte	7.532.504	1.883.126	1.883.126	1.883.126	1.883.126
Biomethan Energiebunker	8.539.905	2.143.113	2.131.534	2.131.394	2.133.863
KWK-E.ON Wilhelmsburg Mitte	10.461.392	2.615.348	2.615.348	2.615.348	2.615.348
<b>Fluktuierende EE gesamt</b>	<b>969.326.723</b>	<b>229.254.323</b>	<b>265.264.799</b>	<b>258.552.610</b>	<b>216.254.987</b>
<b>Regelbare EE gesamt</b>	<b>26.533.801</b>	<b>6.641.587</b>	<b>6.630.008</b>	<b>6.629.868</b>	<b>6.632.337</b>
<b>Strombilanz</b>	<b>-612.590.218</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
		135.708.112	175.146.588	167.558.783	134.176.735

Tabelle 5: Über Wilhelmsburg verteilte erneuerbare Erzeugung und resultierende statische Gesamtstrombilanz für Wilhelmsburg

Obwohl Wilhelmsburg insgesamt als Stromexporteur erscheint, zeigt ein Blick auf die die Dynamik des Systems (Tabelle 6), dass während etwas weniger als der Hälfte der Zeit (ca. 46%) trotzdem Stromimporte zur Deckung der Last notwendig sind.

Insgesamt erreicht oder übersteigt die Stromerzeugung in Wilhelmsburg binnen 18.793 Stunden den jeweils zeitgleich vorliegenden Strombedarf. Die während dieser Zeit anfallenden Überschüsse sind sowohl in der Menge, als auch in der Leistung beträchtlich: insgesamt müssen etwa 790.621 MWh Strom mit einer maximalen Leistung von gut 158 MW in das Stromnetz außerhalb Wilhelmsburgs exportiert werden.

Demgegenüber stehen insgesamt 16.246 Stunden, in denen Strom von außerhalb importiert werden muss. Die dabei zu importierende Energiemenge beträgt ca. 178.031 MWh insgesamt, die maximale Leistung des Stromimports liegt dabei, mit gut 25 MW, deutlich unter der maximal für den Export benötigten Leistung.

Stellt man diese Werte dem Reststrombedarf gegenüber, 370.097 MWh Reststrombedarf aus den Stadtraumtypen plus 13.173 MWh Strombedarf für die Wärmepumpen in Veddel, muss insgesamt eine Strommenge exportiert werden, die gut das Zweifache des zu deckenden Reststrombedarfs beträgt. Auch in Bezug auf die Leistung liegen die Werte für den Export (max. 158 MW) deutlich über den Werten der maximal zur Versorgung zu beziehenden Leistung (ca. 31 MW ohne, bzw. 25 MW mit eigener Erzeugung in Wilhelmsburg). Insgesamt muss für die hier simulierte Versorgungsvariante eine deutlich asymmetrische Netzbelastung festgestellt werden.

	Energiemengen, kWh	Leistungen, kW	Zeiten, Std.
	<b>Gesamtbilanz über Wilhelmsburg</b>		<b>Ausgeglichene Bilanz</b>
<b>Gesamtzeit</b>	-612.590.218		0
Jahr 1	-135.708.112		0
Jahr 2	-175.146.588		0
Jahr 3	-167.558.783		0
Jahr 4	-134.176.735		0
	<b>dabei Erzeugungsüberschüsse</b>	<b>maximaler Überschuss</b>	<b>Erzeugungsüberschüsse</b>
<b>Gesamtzeit</b>	-790.620.844	-158.438	18.793
Jahr 1	-181.469.609	-143.924	4.580
Jahr 2	-216.594.315	-151.387	4.890
Jahr 3	-210.895.292	-145.008	4.853
Jahr 4	-181.661.627	-158.438	4.470
	<b>dabei Versorgungsdefizite</b>	<b>maximales Defizit</b>	<b>Versorgungsdefizite</b>
<b>Gesamtzeit</b>	178.030.626	25.274	16.246
Jahr 1	45.761.498	24.533	4.180
Jahr 2	41.447.727	25.274	3.870
Jahr 3	43.336.509	24.295	3.907
Jahr 4	47.484.893	24.513	4.289

Tabelle 6: Strombilanzierung: resultierende dynamische Bilanz für Wilhelmsburg insgesamt, unter Berücksichtigung der im Stadtgebiet verteilten EE-Erzeugung.

## 7. Die Stadtraumtypen im Detail

### 7.1 Eingangsdaten der Stadtraumtypen für die Simulation

Die Daten zu den unterschiedlichen Stadtraumtypen werden im Simulationsmodell in einer Datenbank gehalten. Die folgenden Tabellen geben diese Eingangsdaten für die Simulation wieder. In Tabelle 1 sind die Bezeichnung, die Simulationsinterne eindeutige ID Nummer und die Größe der unterschiedlichen Stadtraumtypen dargestellt:

SRT	SRT Name	SRT ID	Abschlag	Nettobauland (m <sup>2</sup> )
I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	1	0,6	1.666,67
IIa	Baublöcke Gründerzeit < 1938	2	0,6	100.250,00
IIb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	3	0,6	24.916,67
IIc	Villen der Gründerzeit < 1938	4	0,6	25.555,56
III	Wiederaufbau 1950er	5	0,6	79.333,33
IV	Dörflich-kleinteilig	6	0,6	311.666,67
V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	7	0,6	290.666,67
VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	8	0,6	101.000,00
VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	9	0,6	306.923,08
VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	10	0,6	363.541,67
VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	11	0,6	15.000,00
VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	12	0,6	53.541,67
VIIIc+	Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	13	0,6	498.125,00
IXa	Einfamilienhäuser > 1950	14	0,6	1.793.333,33
IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	15	0,6	169.523,81
IXb+	Einfamilienhäuser Passivhausstandard	16	0,6	851.904,76
Xa	Gewerbe	17	0,6	2.437.833,33
Xa+	Gewerbe Passivhausstandard	18	0,6	7.833,33
Xb	Industrie	19	0,6	6.505.000,00
Xc	Zweckbauten u. öff. Einrichtungen	20	0,6	803.666,67
Xc+	Zweckbauten u. öff. Einrichtungen Passivhausstandard	21	0,6	n.a.
Xd	Gewerbe in Mischgebieten	22	0,6	153.753,75
S1	Schumacherbauten 1920-30er	23	0,6	73.083,33

Tabelle 1: Bezeichnung und Größe der Stadtraumtypen für die Verwendung im Simulationsmodell.

Entsprechend der Erhebungen im Rahmen der Erstellung des Energiekonzepts verfügen die unterschiedlichen Stadtraumtypen über unterschiedliche Bedingungen für die Nutzung der Solarenergie. Im Simulationsmodell liefert eine integrierte Datenbank die notwendigen Eingangsdaten für die solaren Potenzialflächen sowie deren Nutzung durch Photovoltaik und/oder Solarthermie. Grundsätzlich werden in Stadtraumtypen, deren Wärmebedarf ganz oder teilweise durch Wärmenetze gedeckt werden geringere Flächenkontingente für die Installation solarthermischer Anlagen vorgesehen. Statt dessen wird dort der Flächenanteil der Photovoltaik erhöht. Potenziell nutzbare Fassadenflächen sind pro Stadtraumtyp ausgewiesen, werden in der Simulation aber nicht für die Installation von Anlagen verwendet (Tabelle 2).



SRT	SRT Name	SRT ID	Solarflächen Dach (m <sup>2</sup> )	Anteil Thermie Dach (%)	Anteil PV Dach (%)	Solarflächen Fassade (m <sup>2</sup> )
I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	1	226,67	76,9%	23,1%	0,00
IIa	Baublöcke Gründerzeit < 1938	2	9.724,25	28,5%	71,5%	0,00
IIb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	3	2.416,92	3,4%	80,3%	0,00
IIc	Villen der Gründerzeit < 1938	4	1.175,56	0,4%	81,4%	0,00
III	Wiederaufbau 1950er	5	15.232,00	2,5%	80,3%	0,00
IV	Dörflich-kleinteilig	6	6.233,33	76,9%	23,1%	0,00
V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	7	10.464,00	4,0%	80,5%	0,00
VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	8	11.110,00	10,1%	61,8%	0,00
VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	9	35.910,00	5,1%	77,5%	42.662,31
VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	10	28.356,25	14,1%	72,1%	14.541,67
VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	11	1.170,00	1,3%	80,6%	600,00
VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	12	4.176,25	0,1%	81,6%	2.141,67
VIIIc+	Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	13	38.853,75	42,5%	41,8%	19.925,00
IXa	Einfamilienhäuser > 1950	14	59.180,00	73,4%	26,6%	16.140,00
IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	15	5.594,29	17,2%	23,1%	1.525,71
IXb+	Einfamilienhäuser Passivhausstandard	16	28.112,86	19,7%	32,0%	7.667,14
Xa	Gewerbe	17	626.523,17	33,1%	35,2%	129.205,17
Xa+	Gewerbe Passivhausstandard	18	2.013,17	40,3%	59,7%	415,17
Xb	Industrie	19	0,00	0,0%	0,0%	0,00
Xc	Zweckbauten u. öff. Einrichtungen	20	97.243,67	28,4%	57,6%	29.735,67
Xc+	Zweckbauten u. öff. Einrichtungen Passivhausstandard	21	5.490,38	28,40%	57,6%	1.678,88
Xd	Gewerbe in Mischgebieten	22	9.840,24	54,4%	45,6%	0,00
S1	Schumacherbauten 1920-30er	23	7.308,33	76,9%	23,1%	0,00

Tabelle 2: Solarflächen der Stadtraumtypen und deren Verwendung im Simulationsmodell.

Der mögliche Umfang der Nutzung von Wärmepumpen im Simulationsmodell wird wesentlich durch die in den jeweiligen Stadtraumtypen möglichen Erdwärmesonden bestimmt. Je nach Lage des Stadtraumtyps variieren die mögliche Anzahl an Erdwärmesonden, deren Tiefe, die mögliche spezifische Extraktionsleistung sowie der spezifische Jahresertrag. Die entsprechenden in der Simulation verwendeten Werte sind in Tabelle 3 wiedergegeben.

SRT	SRT Name	SRT ID	Anzahl	mittlere Tiefe (m)	mittlere Leistung (kWh/m)	mittlerer Ertrag (kWh/m*a)
I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	1	8	50,00	0,0390	98,00
IIa	Baublöcke Gründerzeit < 1938	2	12	75,85	0,0442	110,92
IIb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	3	12	80,00	0,0450	113,00
IIc	Villen der Gründerzeit < 1938	4	10	80,00	0,0450	113,00
III	Wiederaufbau 1950er	5	11	71,36	0,0433	108,68
IV	Dörflich-kleinteilig	6	9	29,80	0,0463	116,59
V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	7	11	79,55	0,0449	112,77
VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	8	13	59,78	0,0410	102,89
VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	9	10	53,33	0,0397	99,66
VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	10	11	61,95	0,0414	103,97
VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	11	11	56,55	0,0407	102,27
VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	12	11	54,83	0,0400	100,42
VIIIc+	Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	13	11	67,17	0,0431	108,21
IXa	Einfamilienhäuser > 1950	14	12	50,36	0,0394	99,06
IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	15	12	50,00	0,0390	98,00
IXb+	Einfamilienhäuser Passivhausstandard	16	12	47,74	0,0430	108,15
Xa	Gewerbe	17	5	47,35	0,0450	113,22
Xa+	Gewerbe Passivhausstandard	18	5	49,46	0,0439	110,41
Xb	Industrie	19	5	66,91	0,0436	109,51
Xc	Zweckbauten u. öff. Einrichtungen	20	8	55,97	0,0414	104,13
Xc+	Zweckbauten u. öff. Einrichtungen Passivhausstandard	21	8	50,00	0,0390	98,00
Xd	Gewerbe in Mischgebieten	22	10	50,00	0,0390	98,00
S1	Schumacherbauten 1920-30er	23	12	80,00	0,0450	113,00

Tabelle 3: Möglicher Umfang der Nutzung von Erdwärmesonden in den Stadtraumtypen für die Verwendung in der Simulation.

Der Energiebedarf der einzelnen Stadtraumtypen ergibt sich aus den im Energiekonzept abgegebenen Daten zu den Energiebezugsflächen und dem jeweiligen spezifischen Energiebedarf an Strom und Wärme.

Die Gesamtflächen und die Energiebezugsflächen der einzelnen Stadtraumtypen sind in Abbildung 1 dargestellt.

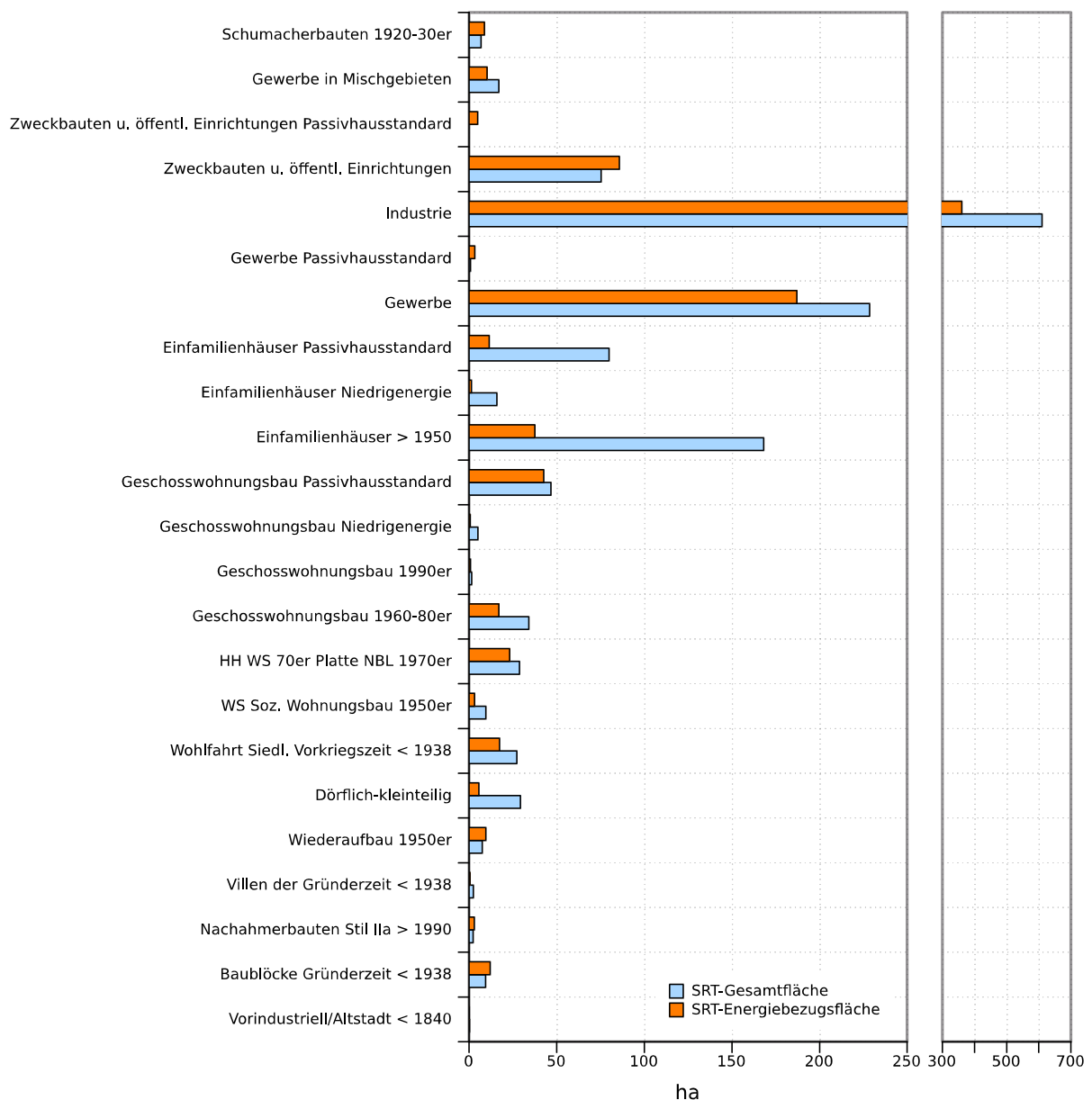


Abbildung 1: Gesamtflächen und Energiebezugsflächen der Stadtraumtypen

Die Berechnung des Energiebedarfs eines Stadtraumtyps erfolgt durch Multiplikation der Energiebezugsfläche mit dem spezifischen Strom- bzw. Wärmebedarf.

In Tabelle 4 sind die entsprechenden Daten für die Berechnung des Wärmebedarfs der einzelnen Stadtraumtypen und der resultierende Jahreswärmebedarf angegeben.

		Energiebezu gsfläche	Heizen	Warm- Wasser	Gesamt	Wärmebe darf
		in ha	in kWh/m2a	in kWh/m2a	in kWh/m2a	in MWh/a
SRT	Stadtraumtypen	2050	2050	2050	2050	2050
I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	0,12	72	26	98	117,60
IIa	Baublöcke Gründerzeit < 1938	12,02	64	25	89	10697,80
IIb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	2,99	44	20	64	1913,60
IIc	Villen der Gründerzeit < 1938	0,46	73	20	93	427,80
III	Wiederaufbau 1950er	9,52	63	26	89	8472,80
IV	Dörflich-kleinteilig	5,61	55	9	64	3590,40
V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	17,39	42	24	66	11477,40
VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	3,03	44	23	67	2030,10
VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	23,07	40	26	66	15226,20
VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	16,88	65	23	88	14854,40
VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	0,72	45	20	65	468,00
VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	0,63	25	20	45	283,50
VIIIc+	Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	42,63	15	20	35	14920,50
IXa	Einfamilienhäuser > 1950	37,45	63	13	76	28462,00
IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	1,32	25	20	45	594,00
IXb+	Einfamilienhäuser Passivhausstandard	11,49	15	20	35	4021,50
Xa	Gewerbe	187,01	44	42	86	160828,60
Xa+	Gewerbe Passivhausstandard	3,19	15	42	57	1818,30
Xb	Industrie	360,42	15	0	15	54063,00
Xc	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	85,7	31	17	48	41136,00
Xc+	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen Passivhausstandard	4,84	15	17	32	1548,80
Xd	Gewerbe in Mischgebieten	10,24	60	10	70	7168,00
S1	Schumacherbauten 1920-30er	8,77	67	33	100	8770,00

Tabelle 4: Energiebezugsflächen, spezifischer Wärmebedarf und resultierender Gesamtwärmebedarf der Stadtraumtypen.

Viele der Stadtraumtypen werden teilweise oder auch ganz durch Wärmenetze versorgt. In der Simulation wird dieser Anteil des Wärmebedarfs gesondert behandelt und dem entsprechenden Simulationsteil (Wärmenetz) zugeführt. Innerhalb der einzelnen Stadtraumtypen - und in deren Einzelbilanzen - verbleibt nur der restliche Bedarf, der durch lokale Wärmeerzeugung innerhalb der Stadtraumtypen gedeckt werden muss. Die entsprechenden Werte sind in Tabelle 5 dargestellt.

		<b>Gesamtwärmebedarf</b>	<b>Bereitstellung durch Wärmenetze</b>	<b>Bereitstellung durch Wärmenetze</b>	<b>Restwärmebedarf nach Wärmenetzen</b>
<b>SRT</b>	<b>Stadtraumtypen</b>	<b>in Mwh</b>	<b>Anteile in %</b>	<b>Wärme in Mwh</b>	<b>in Mwh</b>
<b>I</b>	<b>Vorindustriell/Altstadt &lt; 1840</b>	117,6	0,0%	0,0	117,6
<b>IIa</b>	<b>Baublöcke Gründerzeit &lt; 1938</b>	10.697,8	82,4%	8.819,3	1.878,5
<b>IIb</b>	<b>Nachahmerbauten Stil IIa &gt; 1990</b>	1.913,6	97,4%	1.862,9	50,7
<b>IIc</b>	<b>Villen der Gründerzeit &lt; 1938</b>	427,8	99,3%	424,6	3,2
<b>III</b>	<b>Wiederaufbau 1950er</b>	8.472,8	97,3%	8.242,3	230,5
<b>IV</b>	<b>Dörflich-kleinteilig</b>	3.590,4	0,0%	0,0	3.590,4
<b>V</b>	<b>Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit &lt; 1938</b>	11.477,4	97,8%	11.221,5	255,9
<b>VI</b>	<b>WS Soz. Wohnungsbau 1950er</b>	2.030,1	65,8%	1.335,2	694,9
<b>VII</b>	<b>HH WS 70er Platte NBL 1970er</b>	15.226,2	92,6%	14.096,4	1.129,8
<b>VIIIa</b>	<b>Geschosswohnungsbau 1960-80er</b>	14.854,4	83,4%	12.385,6	2.468,8
<b>VIIIb</b>	<b>Geschosswohnungsbau 1990er</b>	468,0	97,9%	458,4	9,6
<b>VIIIc</b>	<b>Geschosswohnungsbau Niedrigenergie</b>	283,5	99,6%	282,5	1,0
<b>VIIIc+</b>	<b>Geschosswohnungsbau Passivhausstandard</b>	14.920,5	31,8%	4.749,2	10.171,3
<b>IXa</b>	<b>Einfamilienhäuser &gt; 1950</b>	28.462,0	5,9%	1.676,4	26.785,6
<b>IXb</b>	<b>Einfamilienhäuser Niedrigenergie</b>	594,0	0,0%	0,0	594,0
<b>IXb+</b>	<b>Einfamilienhäuser Passivhausstandard</b>	4.021,5	15,0%	604,8	3.416,7
<b>Xa</b>	<b>Gewerbe</b>	160.828,6	20,6%	33.098,5	127.730,1
<b>Xa+</b>	<b>Gewerbe Passivhausstandard</b>	1.818,3	62,3%	1.131,9	686,4
<b>Xb</b>	<b>Industrie</b>	54.063,0	10,1%	5.476,6	48.586,4
<b>Xc</b>	<b>Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen</b>	41.136,0	58,6%	24.122,2	17.013,8
<b>Xc+</b>	<b>Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen Passivhausstandard</b>	1.548,8	87,1%	1.349,2	199,6
<b>Xd</b>	<b>Gewerbe in Mischgebieten</b>	7.168,0	38,2%	2.739,6	4.428,4
<b>S1</b>	<b>Schumacherbauten 1920-30er</b>	8.770,0	100,0%	8.770,0	0,0

Tabelle 5: Aufteilung des Wärmebedarfs der Stadtraumtypen: durch Wärmenetze zudeckende Mengen und Anteile sowie verbleibender, durch lokale Erzeugung zu deckende Wärmemengen.

Der Gesamtstrombedarf der Stadtraumtypen wird auf die gleiche Art und Weise berechnet, wie auch der Wärmebedarf. Die entsprechenden Ausgangsdaten aus dem Energiekonzept und der resultierende Jahresstrombedarf der einzelnen Stadtraumtypen sind in Tabelle 6 wiedergegeben.

		Energiebezugsfläche	Spez. Strombedarf	Gesamt Strombedarf
		in ha	in kWh/m <sup>2</sup> a	in MWh
SRT	Stadtraumtypen	2050	2050	2050
I	Vorindustriell/Altstadt < 1840	0,12	25	30,0
IIa	Baublöcke Gründerzeit < 1938	12,02	25	3.005,0
IIb	Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	2,99	25	747,5
IIc	Villen der Gründerzeit < 1938	0,46	20	92,0
III	Wiederaufbau 1950er	9,52	21	1.999,2
IV	Dörflich-kleinteilig	5,61	19	1.065,9
V	Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	17,39	21	3.651,9
VI	WS Soz. Wohnungsbau 1950er	3,03	25	757,5
VII	HH WS 70er Platte NBL 1970er	23,07	22	5.075,4
VIIIa	Geschosswohnungsbau 1960-80er	16,88	21	3.544,8
VIIIb	Geschosswohnungsbau 1990er	0,72	21	151,2
VIIIc	Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	0,63	21	132,3
VIIIc+	Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	42,63	21	8.952,3
IXa	Einfamilienhäuser > 1950	37,45	20	7.490,0
IXb	Einfamilienhäuser Niedrigenergie	1,32	20	264,0
IXb+	Einfamilienhäuser Passivhausstandard	11,49	20	2.298,0
Xa	Gewerbe	187,01	39	72.933,9
Xa+	Gewerbe Passivhausstandard	3,19	39	1.244,1
Xb	Industrie	360,42	0	0,0
Xc	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	85,7	25	21.425,0
Xc+	Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen Passivhausstandard	4,84	25	1.210,0
Xd	Gewerbe in Mischgebieten	10,24	40	4.096,0
S1	Schumacherbauten 1920-30er	8,77	25	2.192,5

Tabelle 6: Energiebezugsflächen, spezifischer Strombedarf und resultierender Gesamtstrombedarf der Stadtraumtypen

## 7.2 Gesamtbilanzen der einzelnen Stadtraumtypen

### 7.2.1 Stadtraumtyp I (SRT I): Vorindustriell/Altstadt < 1840

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 0,16 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 0,1%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 0,12 ha (0,1% der gesamten Energiebezugsfläche).

#### 7.2.1.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können 21% des Strombedarfs der Haushalte aus der Stromerzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Berücksichtigt man zusätzlich den Stromverbrauch der zur Wärmebereitstellung genutzten Wärmepumpen, so reduziert dies den durch die PV gedeckten Anteil des Stromverbrauchs auf 12,4%.

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch beträgt ca. 69% des Stromverbrauchs der Haushalte für die allgemeine Elektrizitätsversorgung.

Vorindustriell Altstadt	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	119.997,0	25.156,1	94.840,9	83.050,5	177.891,4
Anteile in %	100,0%	21,0%	79,0%	69,2%	87,6%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>21,0%</b>		<b>12,4%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 7: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Geht man über die statische Betrachtung der verbrauchten und erzeugten Strommengen hinaus und beachtet auch den dynamischen Verlauf der Stromversorgung, mit verbleibenden Erzeugungsdefiziten und nicht lokal nutzbaren Erzeugungüberschüssen, reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Strombedarfs auf 17,7% des Bedarf der Haushalte, bzw. auf 10,5%, wenn zusätzlich der Strombedarf der Wärmepumpen berücksichtigt wird.

Vorindustriell Altstadt	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	119.997,0	25.156,1	94.840,9	83.050,5
Anteile in %	100,0%	21,0%	79,0%	69,2%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>119.997,0</b>		<b>98.752,0</b>	<b>181.784,4</b>
<b>Anteile in %</b>	<b>100,0%</b>		<b>82,3%</b>	<b>89,5%</b>
Überschüsse			-3.911,2	-3.893,0
Anteile in %			-3,3%	-1,9%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>21.245,0</b>	<b>21.263,1</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>17,7%</b>	<b>10,5%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 8: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses, d.h. elektrische Leistung muss aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei 4,9 kW. Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung zu beziehenden Leistung findet nicht in nennenswertem Umfang statt (Tabelle 9). Jedoch steigt die maximale Bezugslast durch den Betrieb der Wärmepumpen gegenüber dem ausschließlichen Bedarf der Haushalte von 11,4 kW auf 17,2 kW an.

Vorindustriell Altstadt	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	11,4	11,3	17,2
minimale Last <sup>1)</sup>	1,2	-4,9	-4,9

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 9: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 470,4 MWh. Hiervon können etwa 160,2 MWh durch die Solarthermie bereitgestellt werden, weitere knapp 221 MWh werden durch den Betrieb der Wärmepumpen gedeckt. Insgesamt werden damit 81% des lokal bestehenden Wärmebedarfs gedeckt, etwa 34% durch die Solarthermie und weitere 47% durch die Wärmepumpen.

Vorindustriell Altstadt	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
Wärmelast	470.385,41	42,09	1,18	100,0%
Solarthermische Wärme	160.215,26	33,34	0,00	34,1%
Restwärmebedarf nach Solarthermie	310.170,15	42,09	0,00	65,9%
Wärmebeitrag aus Wärmepumpen	220.914,35	15,60	0,00	47,0%
Verbleibender Wärmebedarf	89.255,80	26,49	0,00	19,0%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>381.129,61</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>81,0%</b>

Tabelle 10: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

### 7.2.1.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

Die folgenden Abbildungen zeigen den Verlauf von Stromverbrauch und Stromerzeugung mittels Photovoltaik für den Stadtraumtyp. Dargestellt sind jeweils die Tagesmittelwerte der Leistung, die hier im Sinne einer äquivalenten Konstantleistung zu verstehen sind. Dies bedeutet, dass z.B. die Tagessumme des Stromverbrauchs durch 24 Stunden geteilt wird. Das Ergebnis ist die konstante Leistung, die innerhalb von 24 Stunden in der Summe die am jeweiligen Tag verbrauchte bzw. erzeugte Strommenge ausmacht. Bei einem Tagesverbrauch von 24 kWh ergibt sich beispielsweise eine äquivalente Konstantleistung von 1 kW über 24 Stunden hinweg, dieser Wert (1 kW) entspricht dem in der Abbildung dargestellten. Die Darstellung erfolgt in dieser Art und Weise, da eine Darstellung aller Stundenwerte für den gesamten Jahresverlauf schlicht nicht lesbar ist.

Im Weiteren wird der Verlauf der Strom- und Wärmeversorgung auch in Form von Stundenwerten dargestellt werden, diese Darstellungen umfassen jedoch jeweils nur einen Zeitraum von je 2 Wochen, da dies sich als guter Kompromiss zwischen dargestelltem Zeitraum und Lesbarkeit der Abbildung erwiesen hat.



7.2.1.2.1 Strom

In der Abbildung 2 (1. Jahr) ist der Jahresgängige Verlauf des Stromverbrauchs, mit höherem Verbrauch in den kalten, dunkleren, und niedrigerem Verbrauch in den wärmeren, hellen Jahreszeiten gut zu erkennen (schwarze Linie. Die PV Erzeugung (orange Linie) zeigt den typischen, gegenläufigen Charakter. In den Sommermonaten reicht die Tageserzeugung der PV stellenweise fast an die Kurve des Lastverlaufs heran.

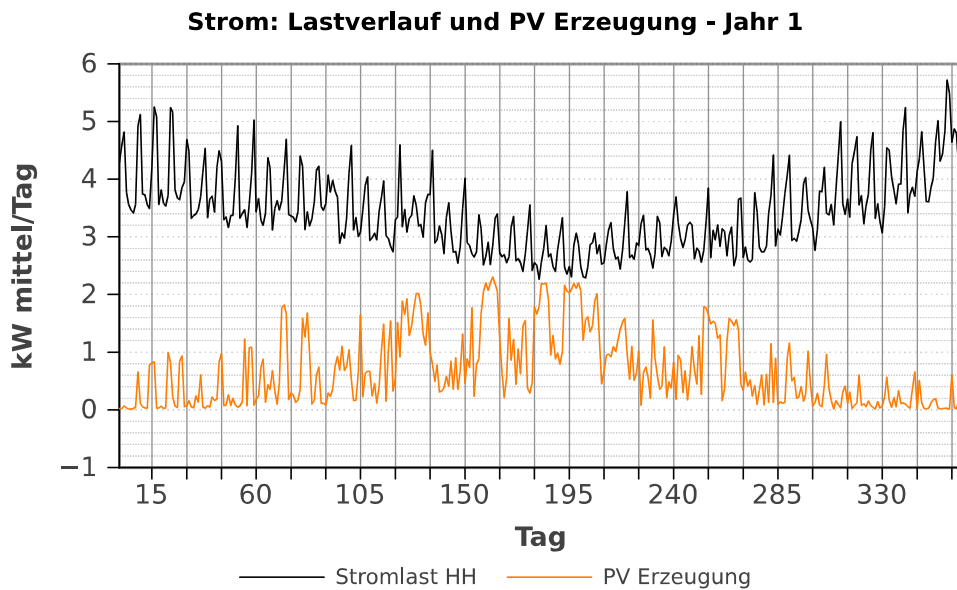


Abbildung 2: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

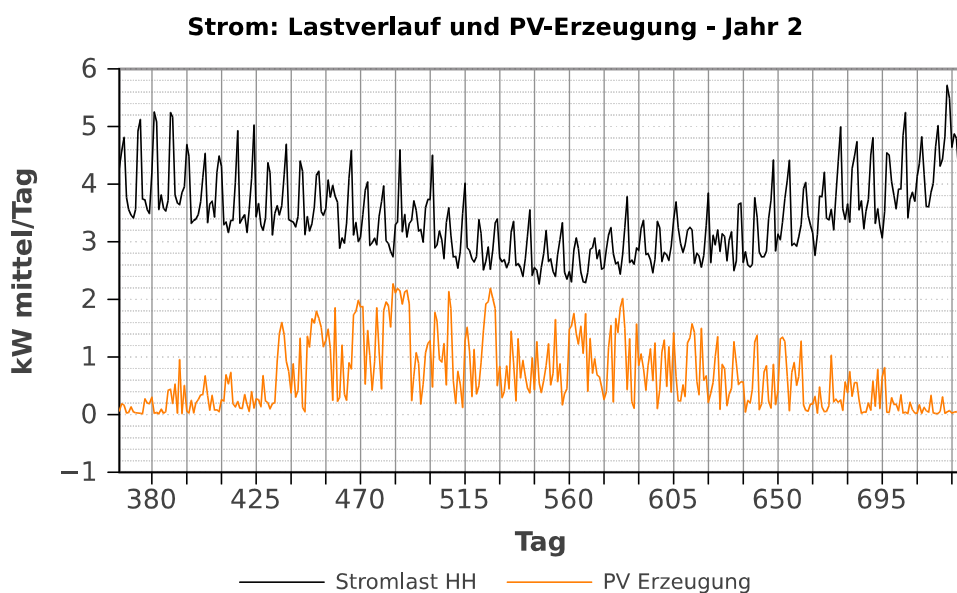
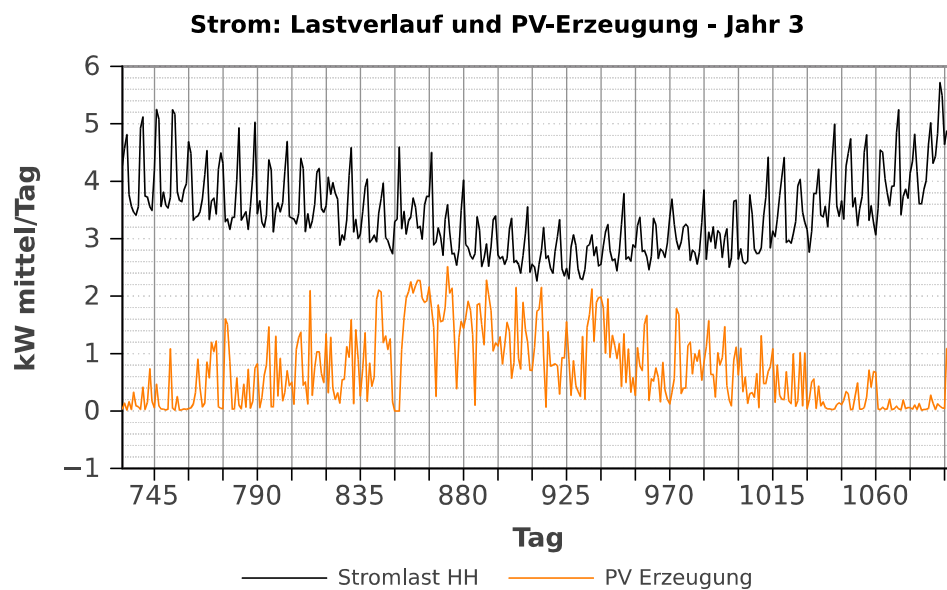


Abbildung 3: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

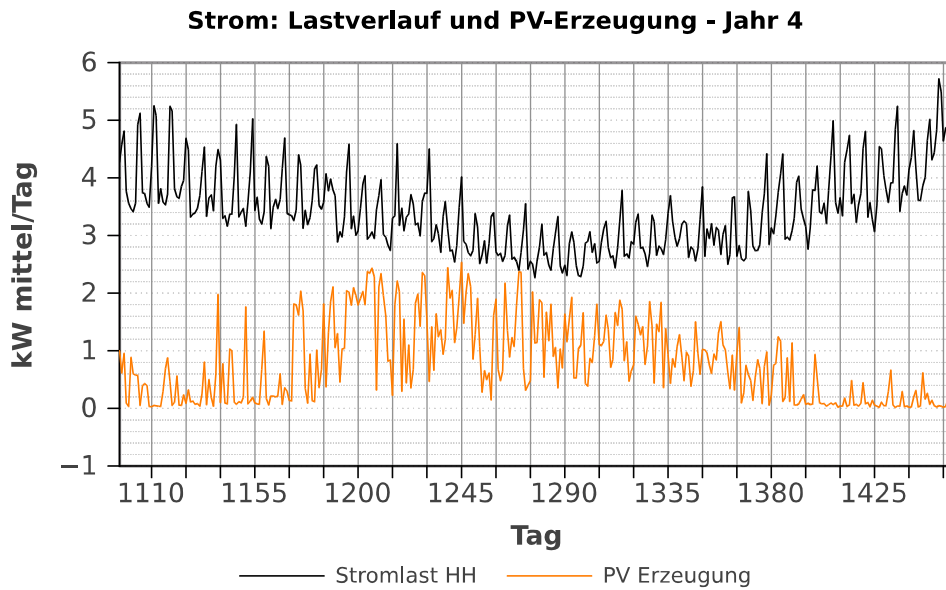
Im zweiten Jahr (Abbildung 3) weist der Verlauf der PV Erzeugung deutliche Unterschiede gegenüber den 1. Jahr auf: während die Erzeugung in der Jahresmitte gegenüber dem 1. Jahr abfällt, ist die im zweiten Viertel des Jahres eine deutliche höhere Erzeugung zu erkennen.

Der Verlauf der PV Erzeugung im dritten Jahr (Abbildung 4) kann als Mischform der Verläufe des ersten und zweiten Jahres angesehen werden, mit hoher Erzeugung insbesondere in der zweiten Hälfte des zweiten Vierteljahres und diskontinuierlicherer Erzeugung um die Jahreshälfte herum, als dies im ersten Jahr der Fall war.



*Abbildung 4: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.*

Das vierte Jahr zeigt gerade im zweiten Vierteljahr die höchste und kontinuierlichste PV Erzeugung aller vier simulierten Jahre. Ab der Jahresmitte geht die Erzeugung deutlich zurück.



*Abbildung 5: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.*

### 7.2.1.2.2 Wärme

Erwartungsgemäß folgt der Wärmebedarf (schwarze Linie, Abbildung 6) des Stadtraumtyps den Jahreszeiten stärker, als dies beim Strom der Fall ist. Wärmepumpen (dunkelrote Linie) werden in der kältesten Zeit des Jahres oftmals kontinuierlich an ihrem Leistungsmaximum betrieben. Insgesamt müssen die Wärmepumpen hauptsächlich in den kalten Jahreszeiten und den Übergangszeiten ihren Beitrag zur Wärmebereitstellung leisten. Über das zweite und dritte Vierteljahr hinweg kommen die Wärmepumpen nur noch selten zum Einsatz, da die im Stadtraumtyp installierten solarthermischen Anlagen hier über weite Zeiten hinweg den kompletten Wärmebedarf decken können.

Die Verläufe aller vier Jahre ähneln sich sehr, spiegeln jedoch in Bezug auf das Zusammenspiel von Wärmepumpen und Solarthermie den schon weiter oben beschriebenen Charakter des jährlich variierenden Angebots an Solarenergie wider.

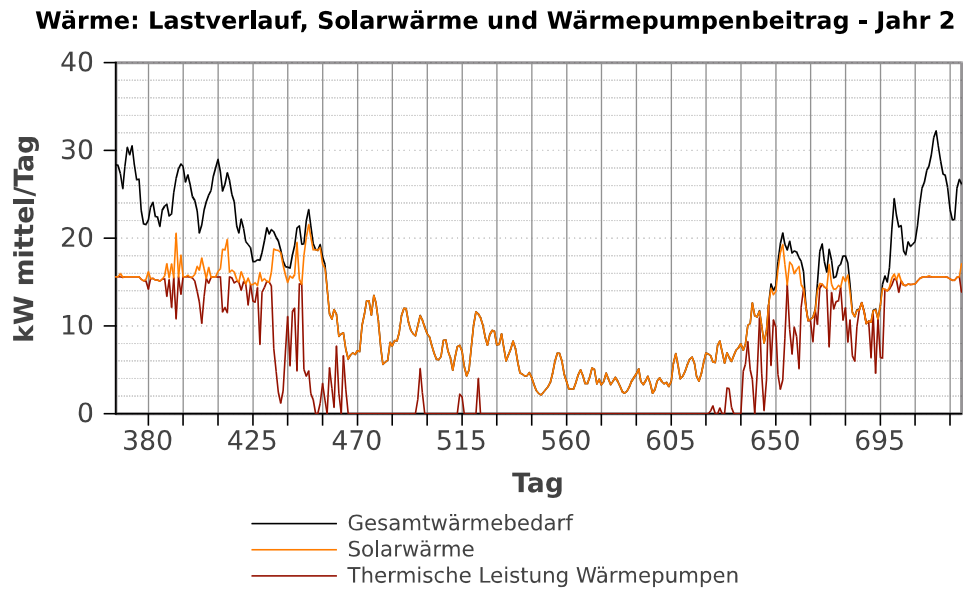


Abbildung 6: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

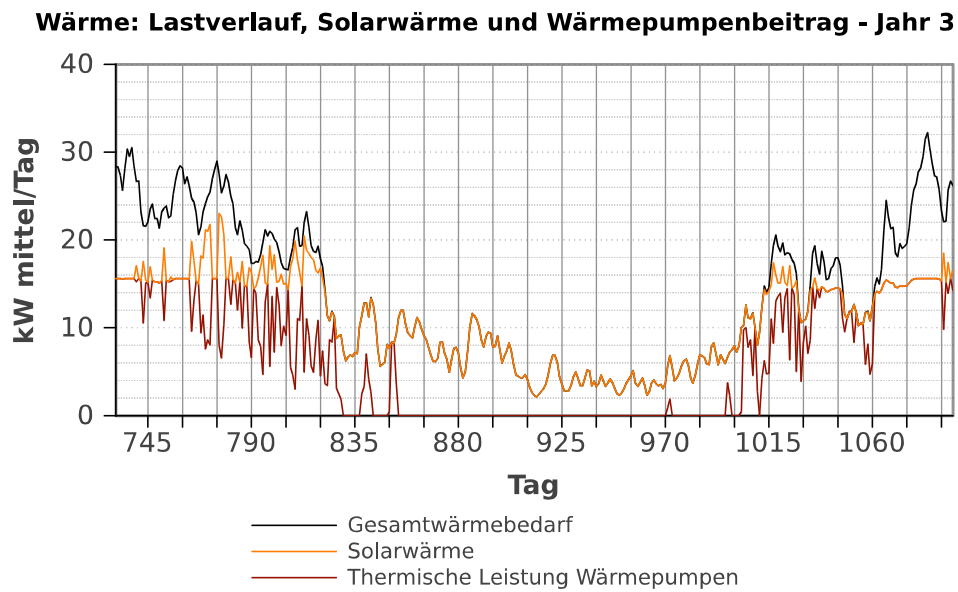


Abbildung 7: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

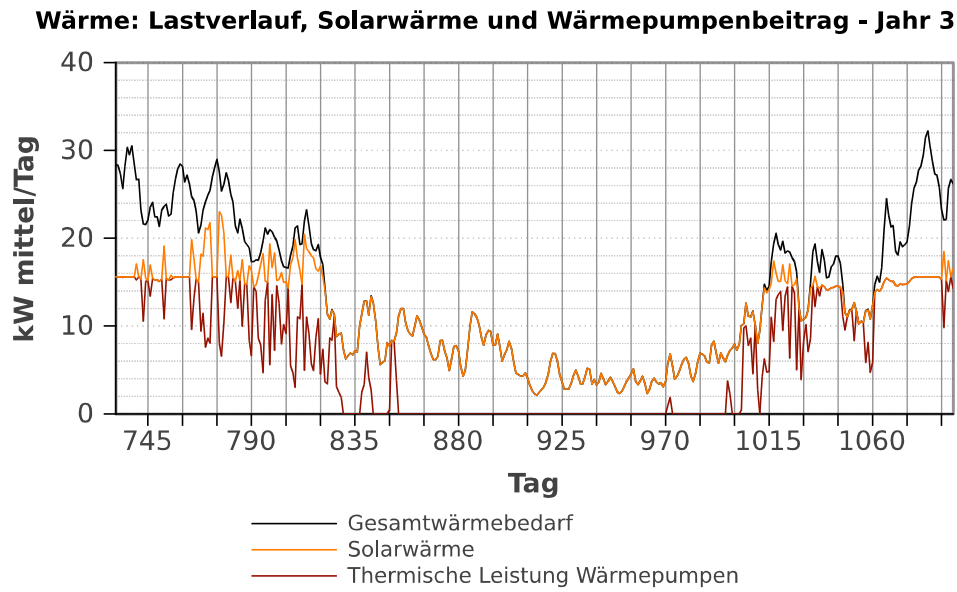


Abbildung 8: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

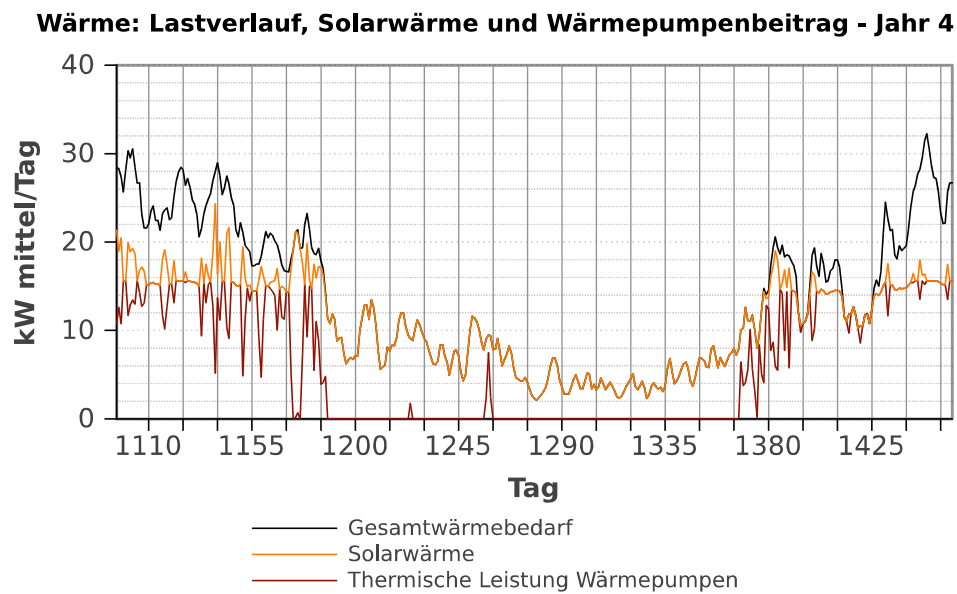


Abbildung 9: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.1.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

Die Abbildung 10 zeigt den Verlauf von Stromlast (schwarze Linie), Wärmepumpenstrombedarf (blaue, gestrichelte Linie), daraus resultierender Gesamtstromlast (lila Fläche) und den Deckungsbeitrag der Stadtraumtyp internen Stromerzeugung (rote Linie) im oberen Diagramm der Darstellung. Die orange Fläche im mittleren Diagramm zeigt den Verlauf der Stromerzeugung der Photovoltaik, die blaue Linie im unteren Diagramm den Verlauf der Restlast an Strom, die sich aus dem stundenweisen Gesamtstrombedarf abzüglich der PV Erzeugung berechnet.

Während der Lastverlauf des Stromverbrauchs der Haushalte (schwarze Linie) den typischen, variablen Tagesgang wiedergibt, werden die Wärmepumpen (gestrichelte blaue Linie) über weite Teile des dargestellten Zeitraums kontinuierlich an ihrem Leistungsmaximum betrieben. Der Deckungsbeitrag der Photovoltaik (rote Linie) übersteigt aber bereits hier punktuell sowohl den Leistungsbedarf der Haushalte als auch den gesamten Leistungsbedarf inklusive des Wärmepumpenstroms; dies zeigt sich auch im Verlauf der Restlast (blaue Linie im unteren Diagramm), die zu diesen Zeiten eine negative Stromlast aufweist. Der zu beobachtende Einbruch der Gesamtstromlast fällt mit den Zeiten guter PV Erzeugung zusammen: zu diesen Zeiten herrschen auch gute Bedingungen für die solarthermische Wärmeerzeugung, so dass in der Folge ein geringerer oder gar kein Beitrag der Wärmepumpen zur Deckung des Wärmebedarf benötigt wird. Dies zeigt sich auch in der Darstellung der Wärmeversorgung (Abbildung 11).

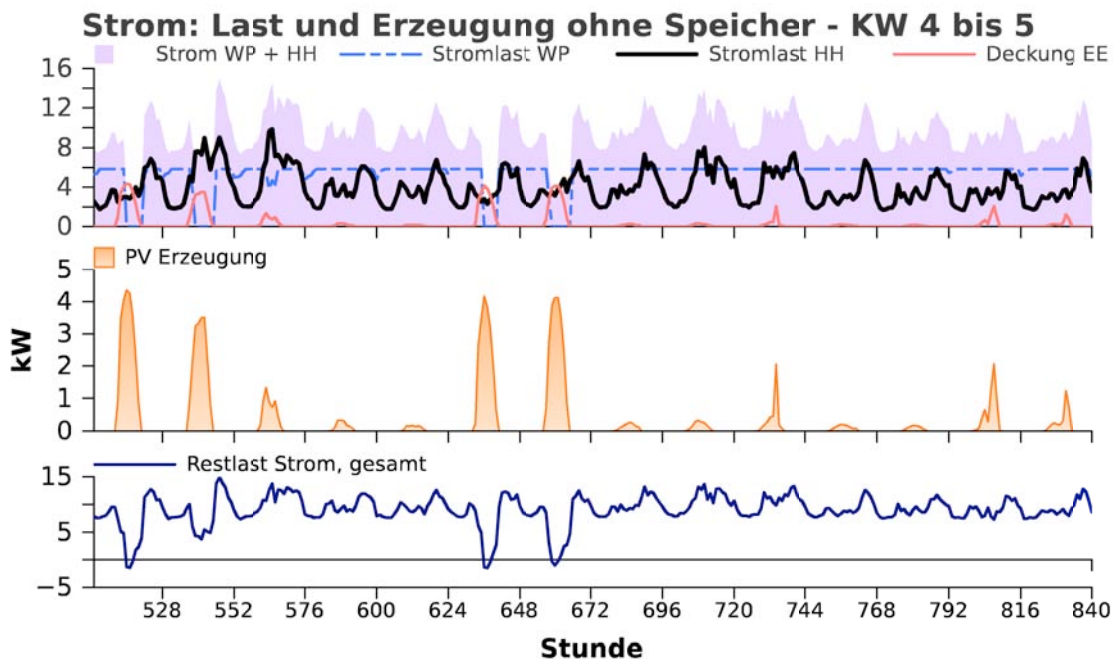


Abbildung 10: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

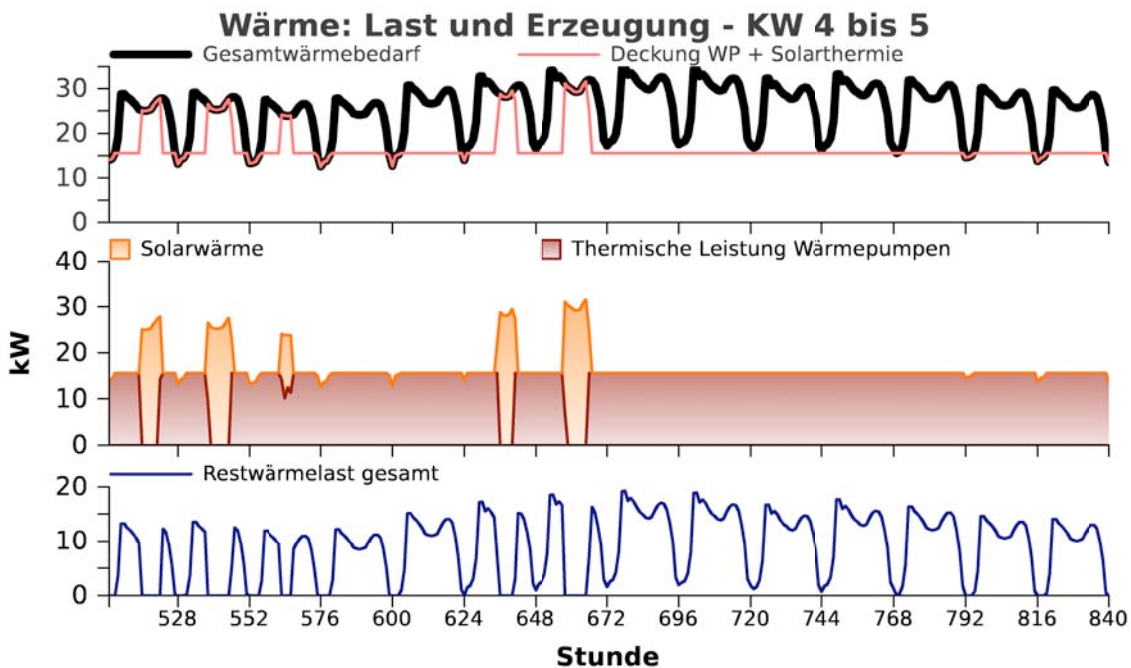


Abbildung 11: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

Zur Jahresmitte liegen oftmals gute Bedingungen für die Solarenergie vor. In der Folge reicht der Leistungsbeitrag der Photovoltaik oftmals an die Stromlast der Haushalte heran oder übersteigt diese. Die Gesamtlast ist gleich der Stromlast der Haushalte, da Wärmepumpen nicht zur Wärmedeckung benötigt werden.

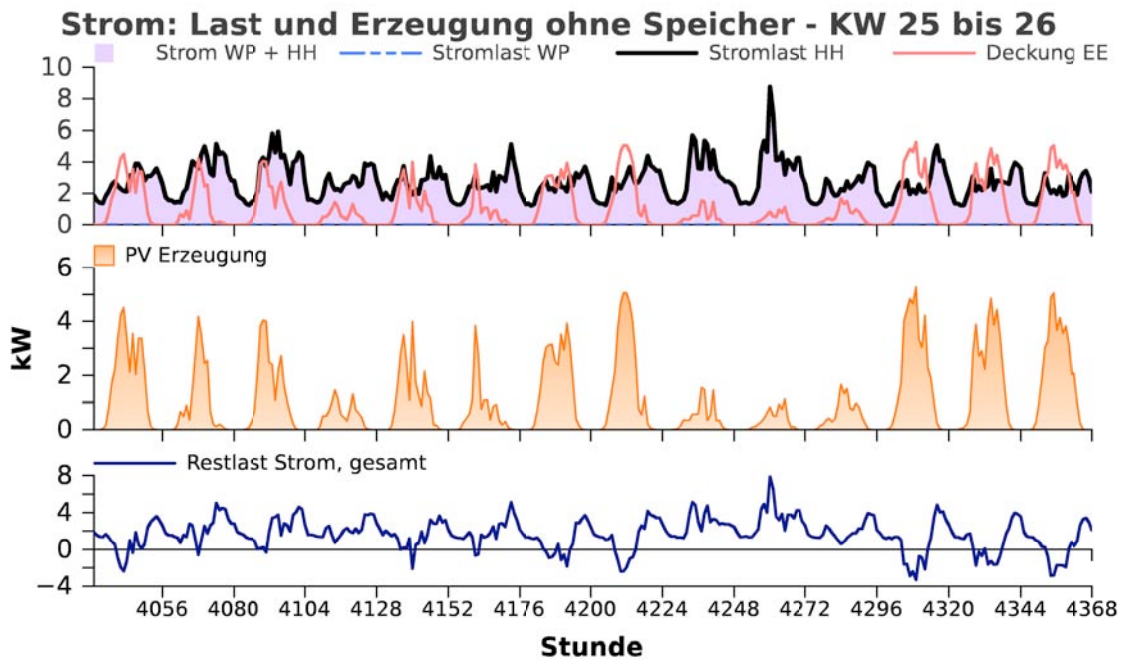


Abbildung 12: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

Dies spiegelt sich auch in der Darstellung der Wärmeversorgung wider: der komplette Wärmebedarf kann aus dem Betrieb der Solarthermie gedeckt werden.

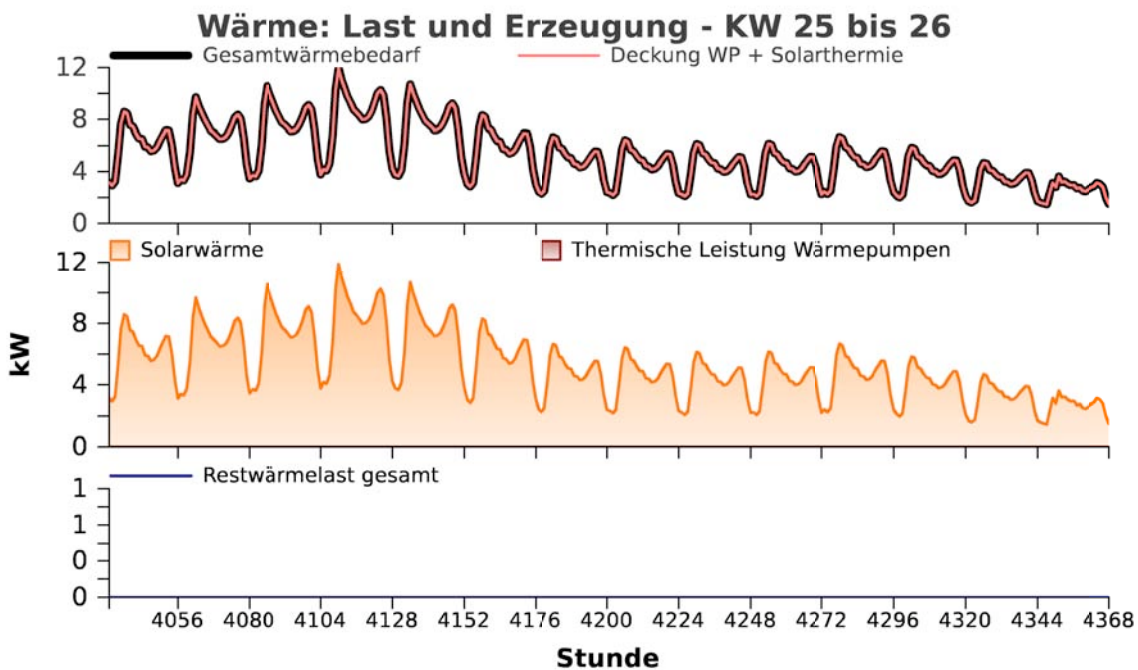


Abbildung 13: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.



### 7.2.2 Stadtraumtyp IIa (SRT IIa): Baublöcke/Gründerzeit < 1938

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 9,4 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 0,67%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 12,02 ha (1,42% der gesamten Energiebezugsfläche).

#### 7.2.2.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können knapp 28% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Berücksichtigt man zusätzlich den Stromverbrauch der zur Wärmebereitstellung genutzten Wärmepumpen, so reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Stromverbrauchs auf 27,2%.

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch beträgt 2% des Stromverbrauchs der Haushalte für die allgemeine Elektrizitätsversorgung.

Baublöcke Gründerzeit < 1938	Stromverbrauch SRT	PV- Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	12.019.698,3	3.337.604,1	8.682.094,1	237.987,2	8.920.081,3
Anteile in %	100,0%	27,8%	72,2%	2,0%	72,8%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>27,8%</b>		<b>27,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 11: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Geht man über die statische Betrachtung der verbrauchten und erzeugten Strommengen hinaus und beachtet auch den dynamischen verlauf der Stromversorgung, mit verbleibenden Erzeugungsdefiziten und nicht lokal nutzbaren Erzeugungüberschüssen, reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Strombedarfs auf 20,6% des Bedarf der Haushalte, bzw. auf 20,2%, wenn zusätzlich der Strombedarf der Wärmepumpen berücksichtigt wird.

Baublöcke Gründerzeit < 1938	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	12.019.698,3	3.337.604,1	8.682.094,1	237.987,2
Anteile in %	100,0%	27,8%	72,2%	2,0%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>12.019.698,3</b>		<b>9.544.175,9</b>	<b>9.780.983,7</b>
Anteile in %	100,0%		79,4%	79,8%
Überschüsse			-862.081,8	-860.902,3
Anteile in %			-7,2%	-7,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>2.475.522,4</b>	<b>2.476.701,8</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>20,6%</b>	<b>20,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 12: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses, d.h. elektrische Leistung muss aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei 742 kW. Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung zu beziehenden Leistung findet nicht in nennenswertem Umfang statt (Tabelle 13). Jedoch steigt auch die maximale Bezugsleistung durch den Betrieb der Wärmepumpen gegenüber dem ausschließlichen Bedarf der Haushalte nur geringfügig, von 1.142 kW auf 1.143 kW, an. Dies liegt daran, dass der größte Teil des Wärmebedarfs des SRT durch Wärmenetze gedeckt wird, so dass nur ein geringer Teil des Gesamtwärmebedarfs mit anderen Maßnahmen bereitgestellt werden muss.

Baublöcke Gründerzeit < 1938	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	1.142,0	1.128,2	1.143,3
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	118,0	-742,0	-742,0

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 13: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 7.514 MWh. Hiervon können etwa 2.557 MWh durch die Solarthermie bereitgestellt werden, weitere knapp 633 MWh werden durch den Betrieb der Wärmepumpen gedeckt. Insgesamt werden damit 42,5% des lokal bestehenden Wärmebedarfs gedeckt, etwa 34% durch die Solarthermie und weitere 8,5% durch die Wärmepumpen.

Baublöcke Gründerzeit < 1938	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
<b>Wärmelast</b>	<b>7.513.901,64</b>	672,31	18,81	100,0%
<b>Solarthermische Wärme</b>	<b>2.557.266,02</b>	532,54	0,00	34,0%
<b>Restwärmebedarf nach Solarthermie</b>	<b>4.956.635,61</b>	672,31	0,00	66,0%
<b>Wärmebeitrag aus Wärmepumpen</b>	<b>633.045,89</b>	40,23	0,00	8,4%
<b>Verbleibender Wärmebedarf</b>	<b>4.323.589,73</b>	632,08	0,00	57,5%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>3.190.311,91</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>42,5%</b>

Tabelle 14: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.2.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.2.2.1 Strom

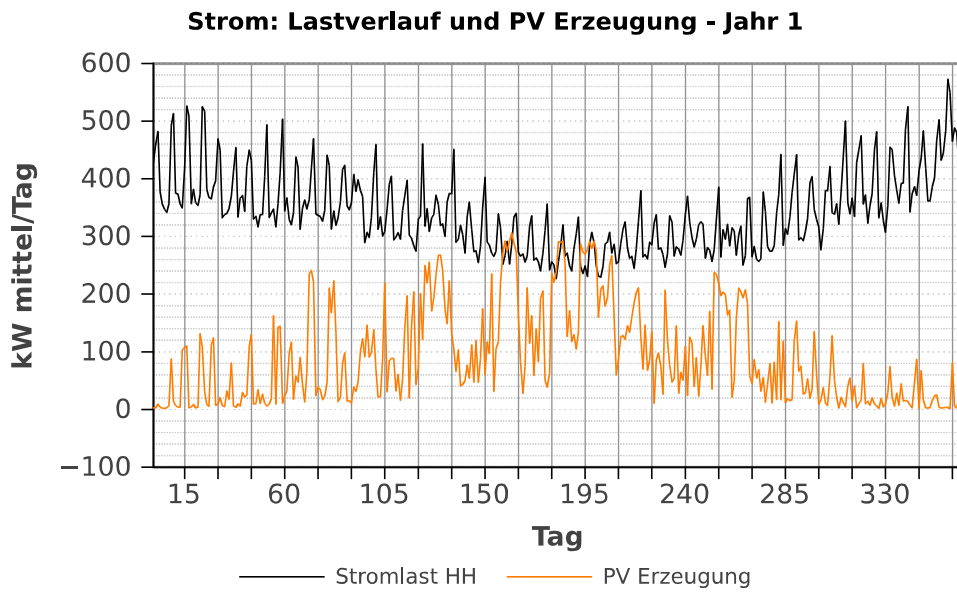


Abbildung 14: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

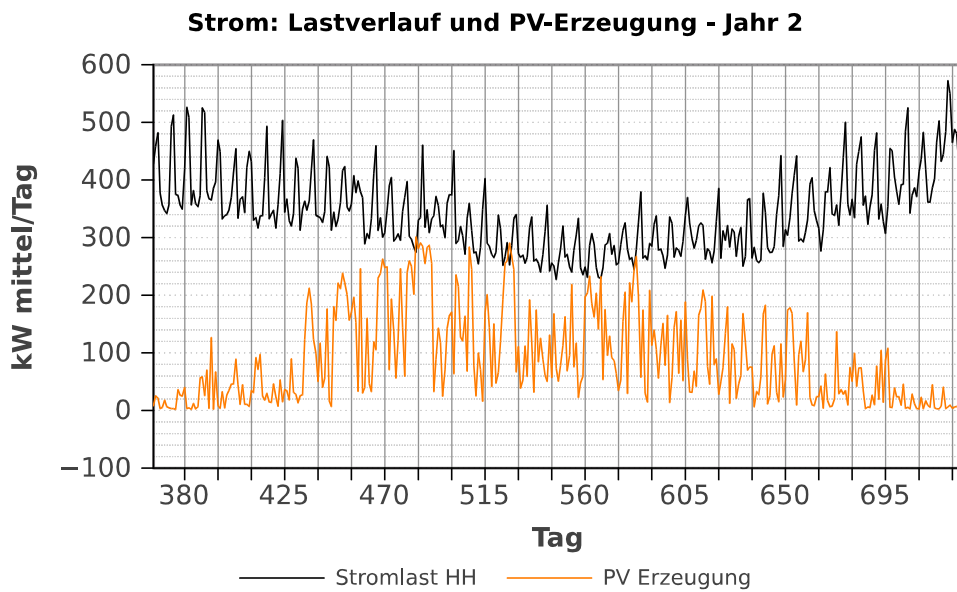


Abbildung 15: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

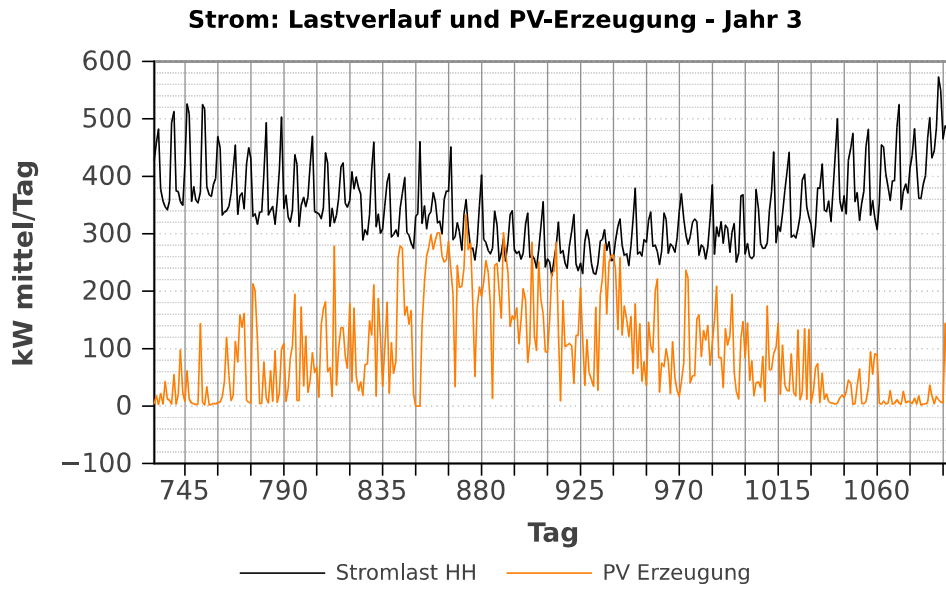


Abbildung 16: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

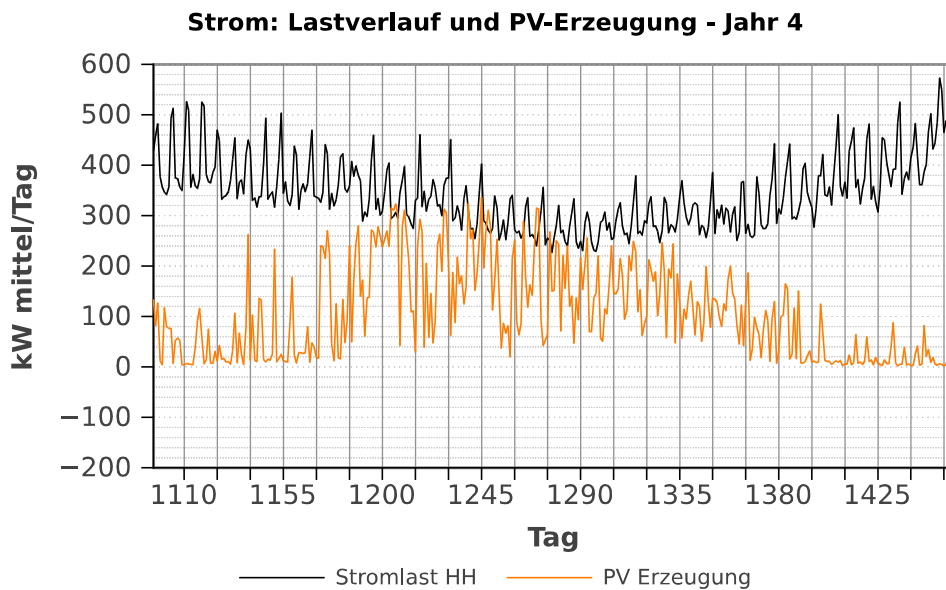


Abbildung 17: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.2.2 Wärme

Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag- Jahr 1

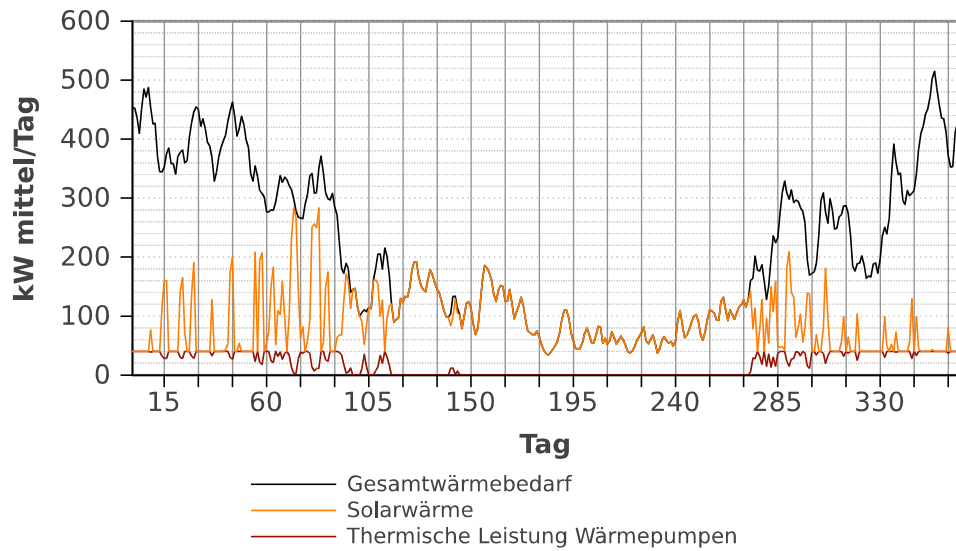


Abbildung 18: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 2

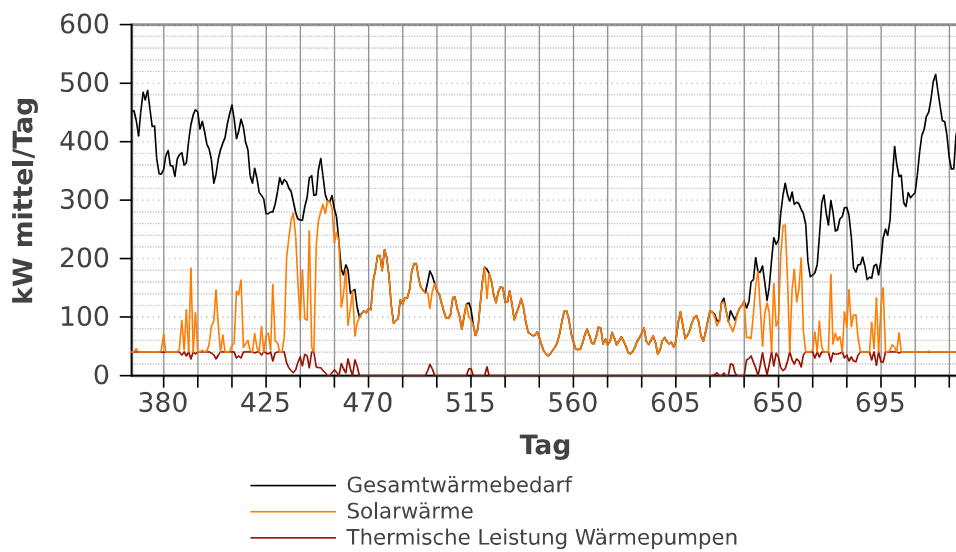


Abbildung 19: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

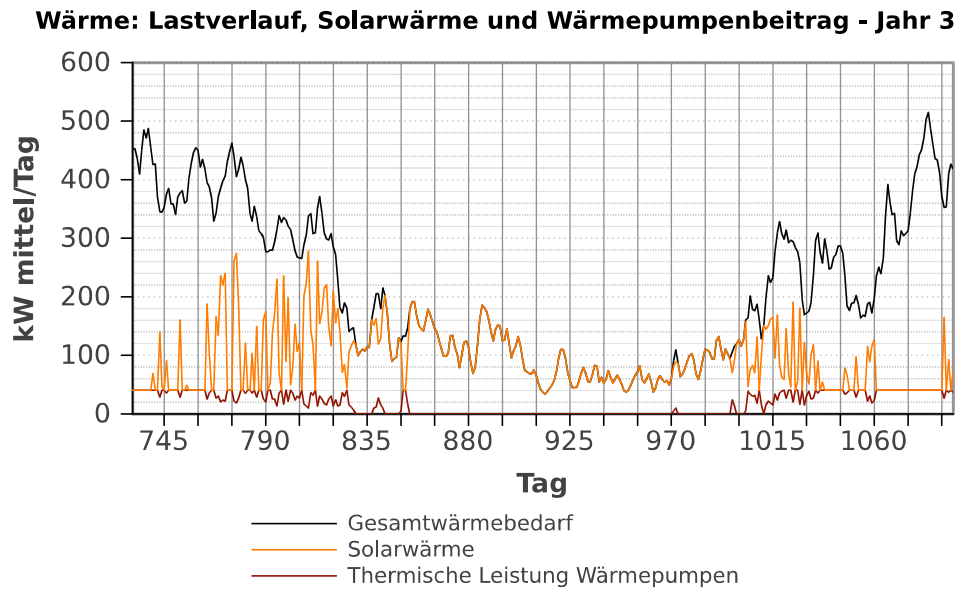


Abbildung 20: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

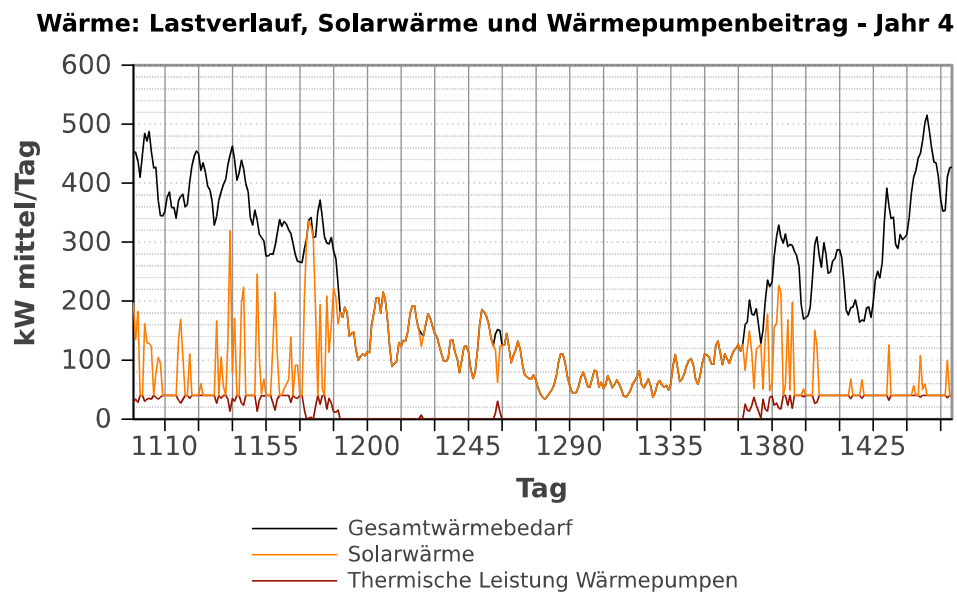


Abbildung 21: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.2.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

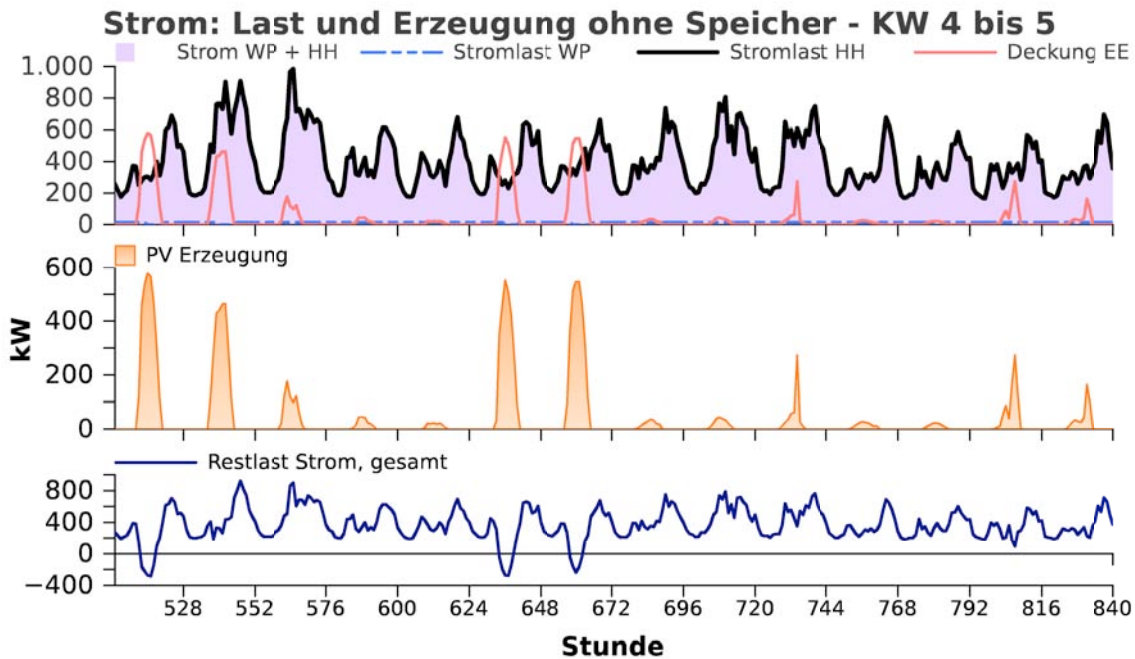


Abbildung 22: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

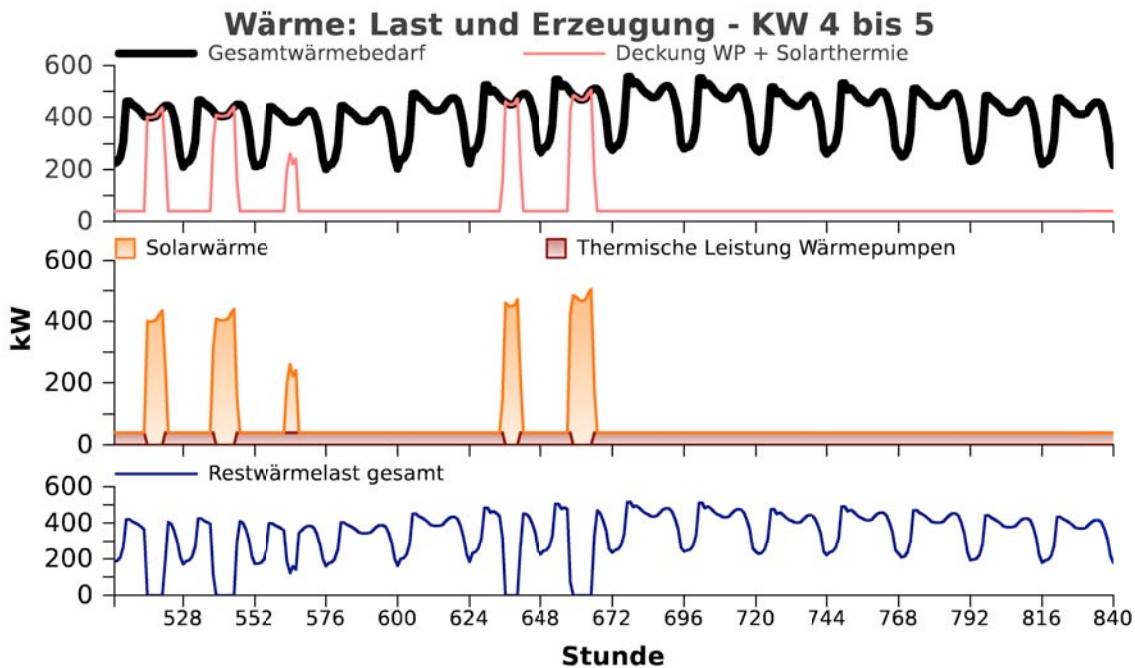


Abbildung 23: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

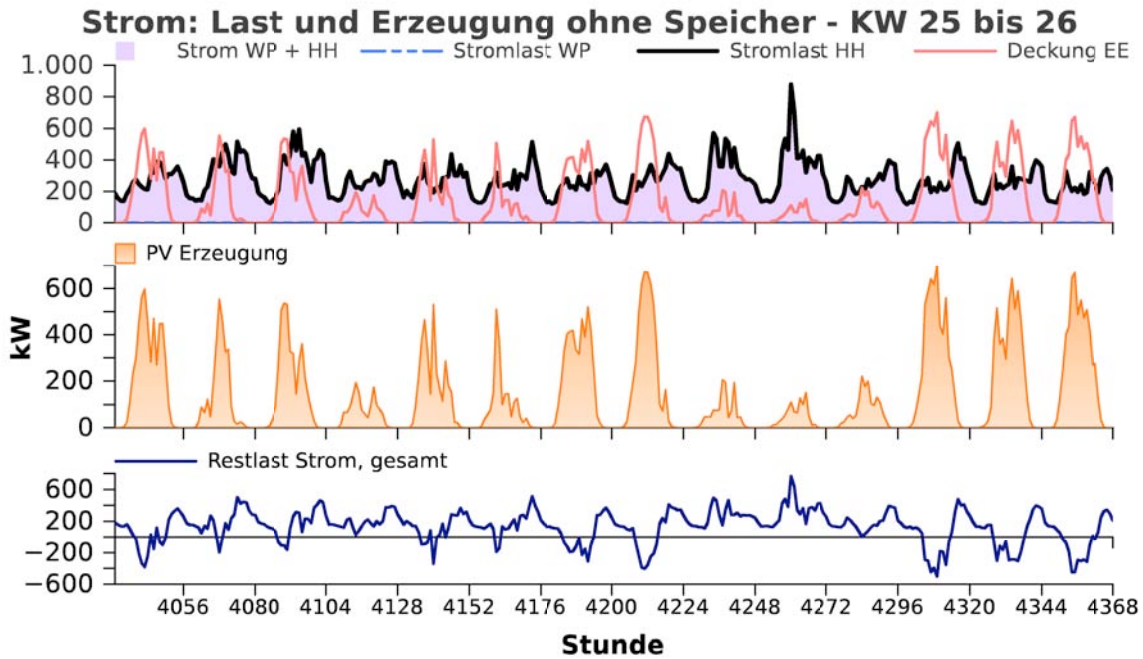


Abbildung 24: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

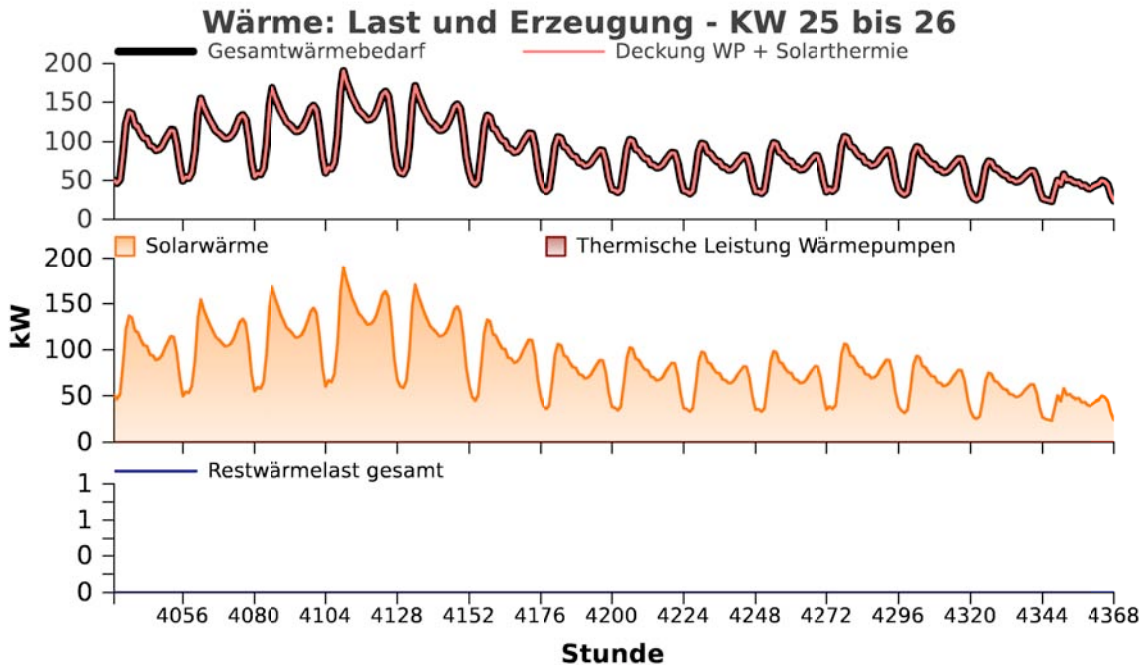


Abbildung 25: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.



**7.2.3 Stadtraumtyp IIb (SRT IIb): Nachahmerbauten Stil IIa > 1990**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 2,33 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 0,17%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 2,99 ha (0,35% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.3.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können 31% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Berücksichtigt man zusätzlich den Stromverbrauch der zur Wärmebereitstellung genutzten Wärmepumpen, so reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Stromverbrauchs lediglich geringfügig auf 30,6%.

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch beträgt nur 1,7% des Stromverbrauchs der Haushalte für die allgemeine Elektrizitätsversorgung, da der überwiegende Teil des Wärmebedarfs durch Wärmenetze gedeckt wird.

<b>Nachahmerbauten Stil IIa &gt; 1990</b>	<b>Stromverbrauch SRT</b>	<b>PV-Erzeugung</b>	<b>Mengenbilanz Stromverb. - PV1)</b>	<b>Stromverbrauch Wärmepumpen</b>	<b>Mengenbilanz nach Wärmepumpen</b>
<b>Alle 4 Jahre</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>
Energiemenge	2.989.924,9	931.063,8	2.058.861,2	49.432,2	2.108.293,4
Anteile in %	100,0%	31,1%	68,9%	1,7%	69,4%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>31,1%</b>		<b>30,6%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 15: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Geht man über die statische Betrachtung der verbrauchten und erzeugten Strommengen hinaus und beachtet auch den dynamischen verlauf der Stromversorgung, mit verbleibenden Erzeugungsdefiziten und nicht lokal nutzbaren Erzeugungsüberschüssen, reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Strombedarfs auf 21,7% des Bedarf der Haushalte, bzw. auf 21,4%, wenn zusätzlich der Strombedarf der Wärmepumpen berücksichtigt wird.

Nachahmerbauten Stil Ila > 1990	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	2.989.924,9	931.063,8	2.058.861,2	49.432,2
Anteile in %	100,0%	31,1%	68,9%	1,7%
Last (Defizit)	2.989.924,9		2.340.892,5	2.390.018,1
Anteile in %	100,0%		78,3%	78,6%
Überschüsse			-282.031,3	-281.724,7
Anteile in %			-9,4%	-9,4%
Lastdeckung (dynamisch)			<b>649.032,5</b>	<b>649.339,1</b>
Deckungsgrad (dynamisch)			<b>21,7%</b>	<b>21,4%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungsüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 16: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen – allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses, d.h. elektrische Leistung muss aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei 216 kW. Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung zu beziehenden Leistung findet zwar in geringem Umfang statt (von 284 kW auf 280 kW, Tabelle 17), wird jedoch durch den Betrieb der Wärmepumpen fast wieder kompensiert.

Nachahmerbauten Stil Ila > 1990	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	284,1	280,2	283,0
minimale Last <sup>1)</sup>	29,3	-215,9	-215,9

- 1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 17: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 203 MWh. Hiervon können etwa 71 MWh durch die Solarthermie bereitgestellt werden, weitere gut 131 MWh werden durch den Betrieb der Wärmepumpen gedeckt. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit komplett gedeckt, etwa 35% durch die Solarthermie und weitere knapp 65% durch die Wärmepumpen.

<b>Nachahmerbauten Stil IIa &gt; 1990</b>	<b>Gesamtmenge</b>	<b>Höchstwert</b>	<b>Niedrigstwert</b>	<b>Anteile</b>
<b>Alle 4 Jahre</b>	<b>in kWh</b>	<b>in kW</b>	<b>in kW</b>	<b>in %</b>
<b>Wärmelast</b>	<b>202.835,31</b>	<b>18,15</b>	<b>0,51</b>	<b>100,0%</b>
<b>Solarthermische Wärme</b>	<b>71.345,67</b>	<b>14,38</b>	<b>0,00</b>	<b>35,2%</b>
<b>Restwärmebedarf nach Solarthermie</b>	<b>131.489,64</b>	<b>18,15</b>	<b>0,00</b>	<b>64,8%</b>
<b>Wärmebeitrag aus Wärmepumpen</b>	<b>131.489,64</b>	<b>18,15</b>	<b>0,00</b>	<b>64,8%</b>
<b>Verbleibender Wärmebedarf</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,0%</b>
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>202.835,31</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>100,0%</b>

Tabelle 18: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.3.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.3.2.1 Strom

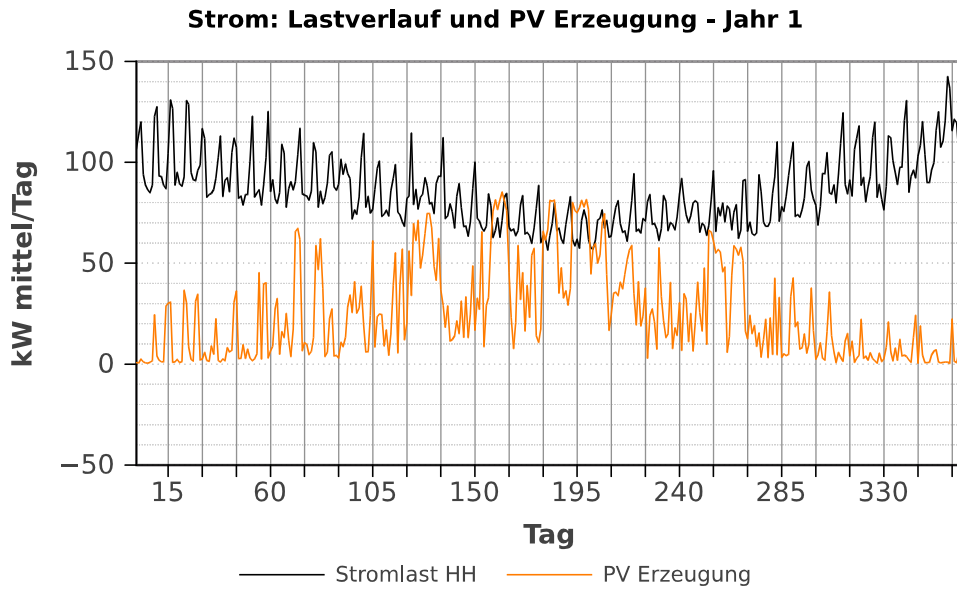


Abbildung 26: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

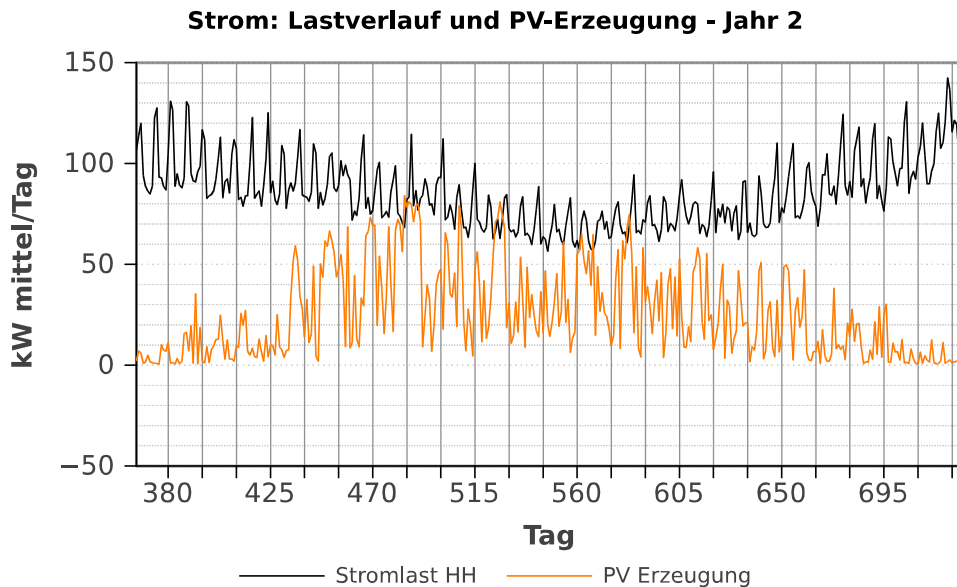


Abbildung 27: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

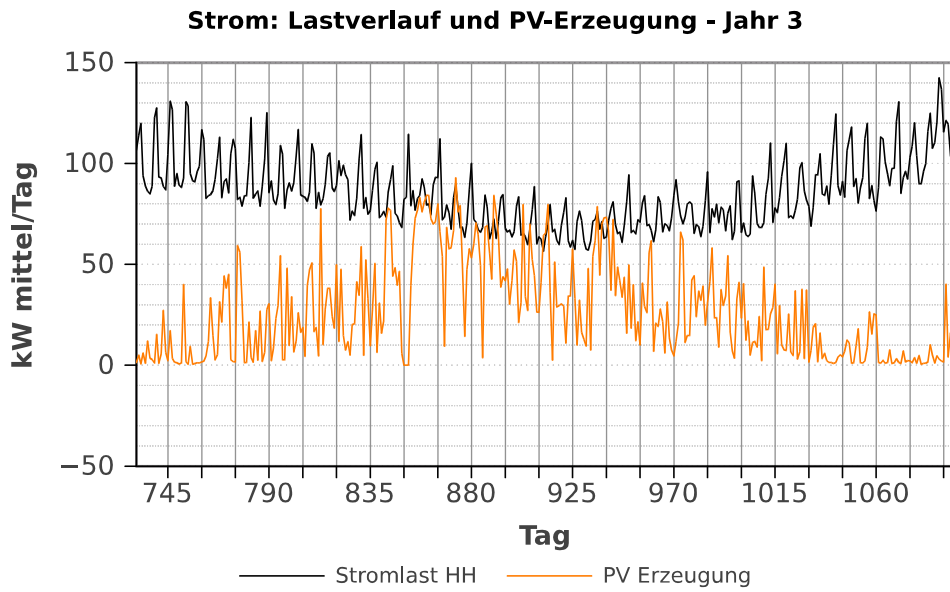


Abbildung 28: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

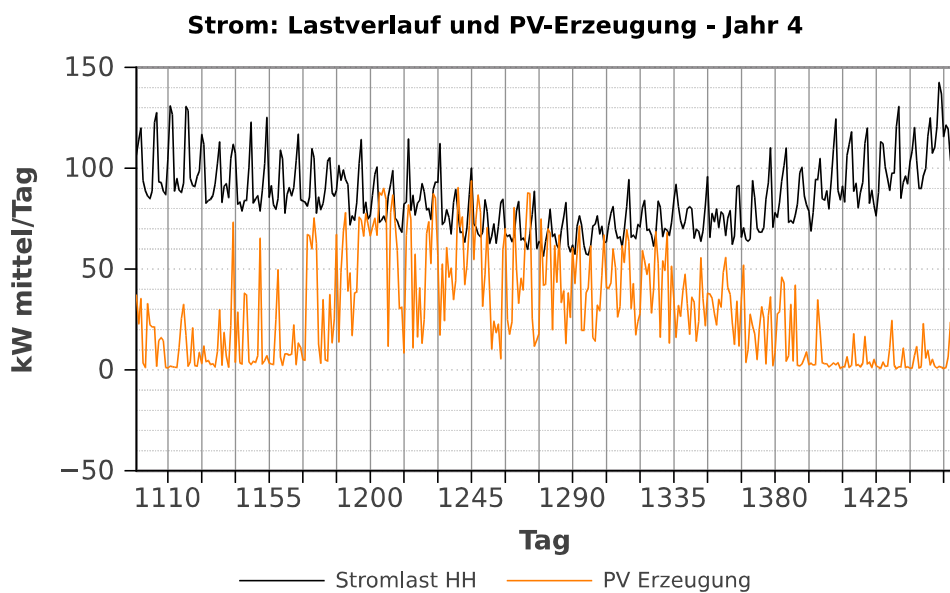
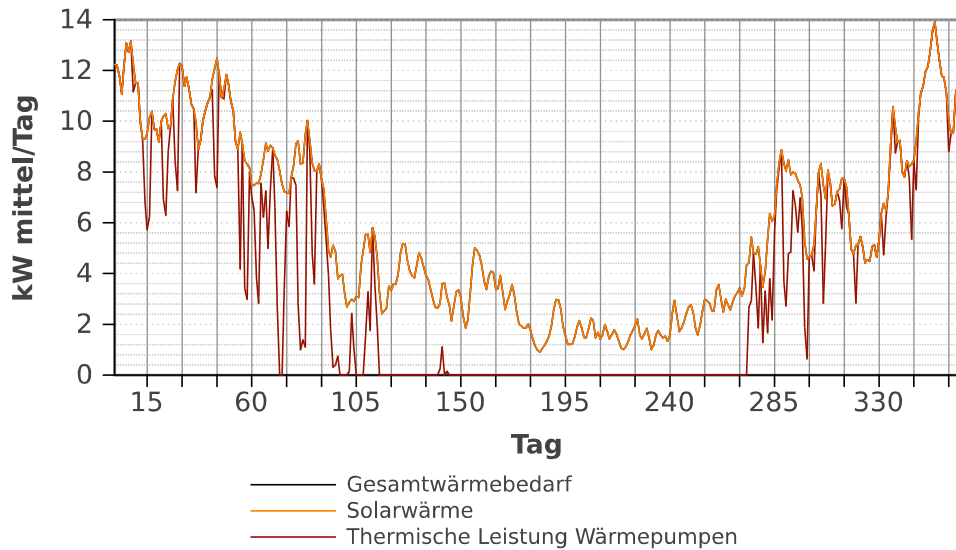


Abbildung 29: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

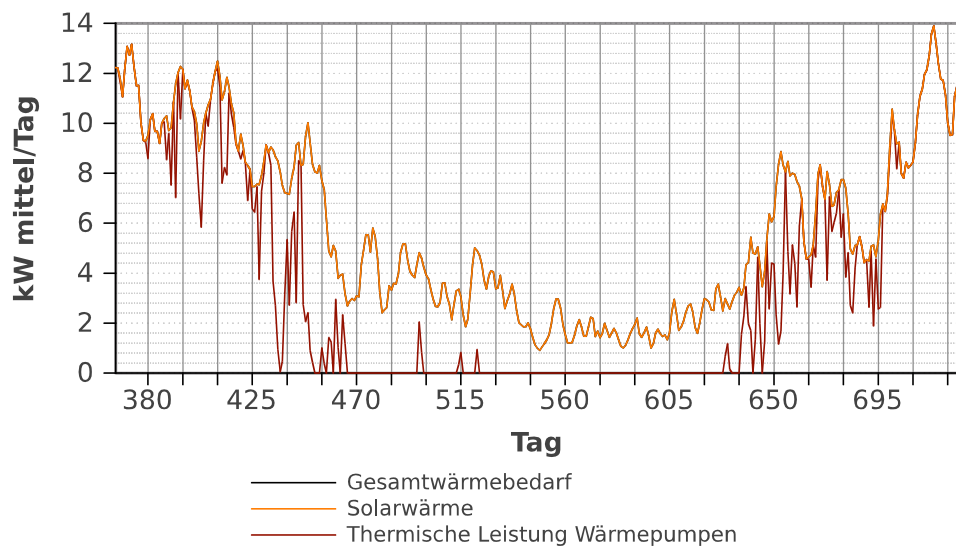
7.2.3.2.2 Wärme

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag- Jahr 1**



**Abbildung 30: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 2**



**Abbildung 31: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**

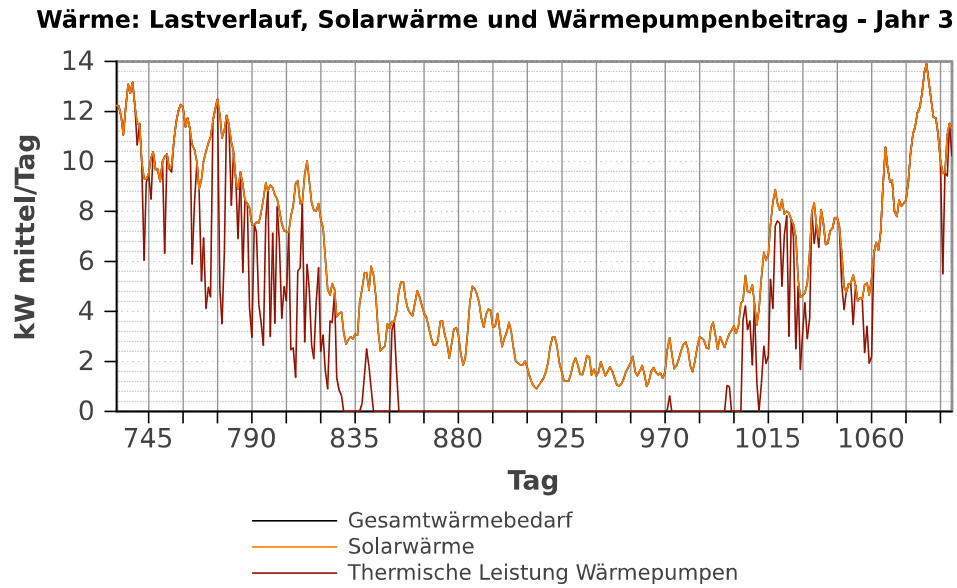


Abbildung 32: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

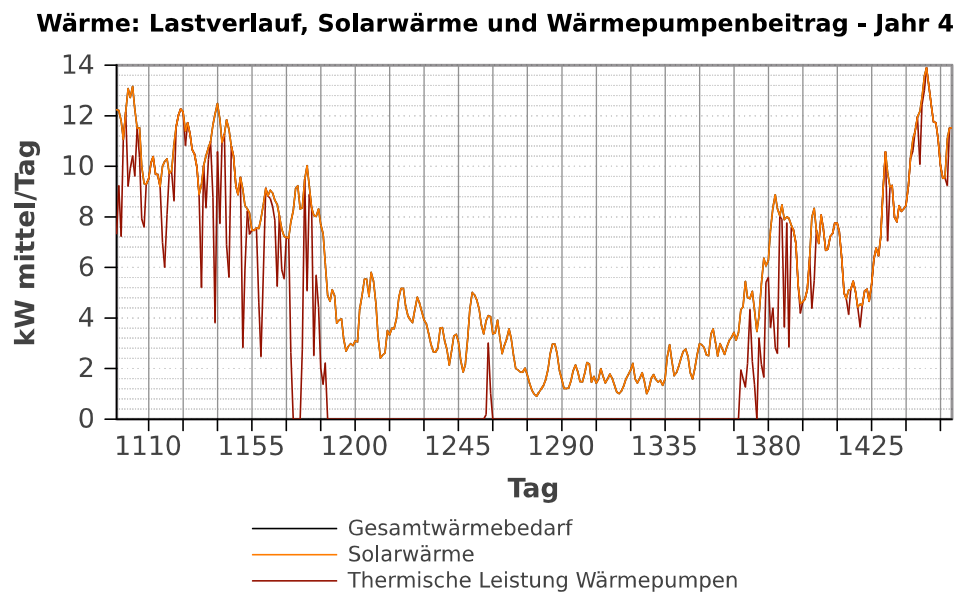


Abbildung 33: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.3.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

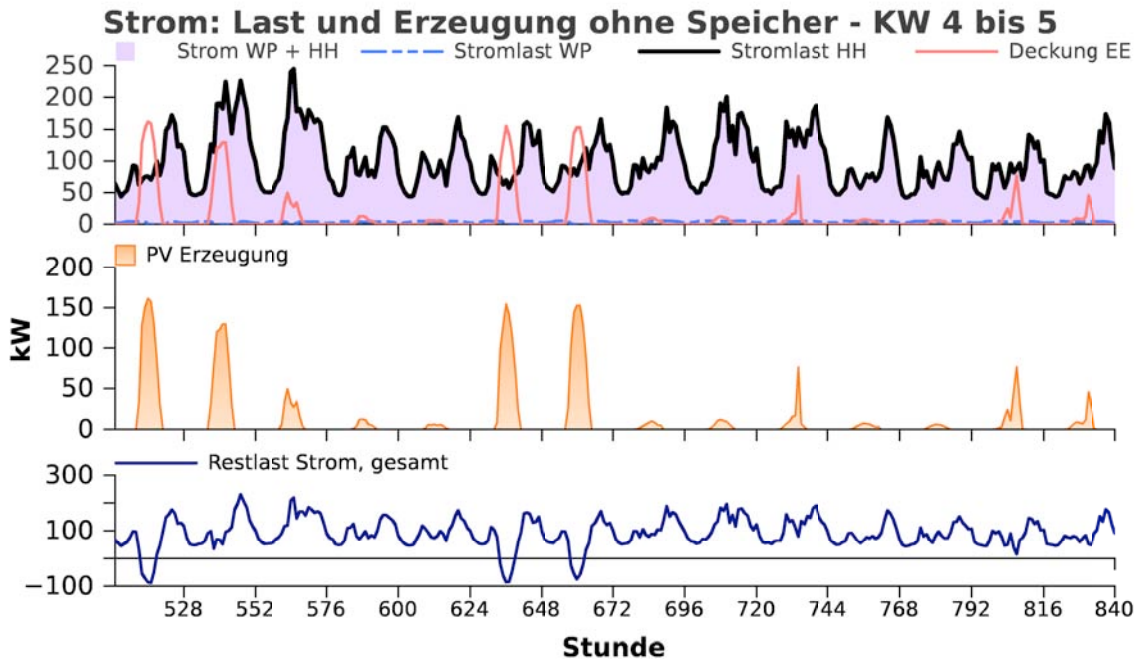


Abbildung 34: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

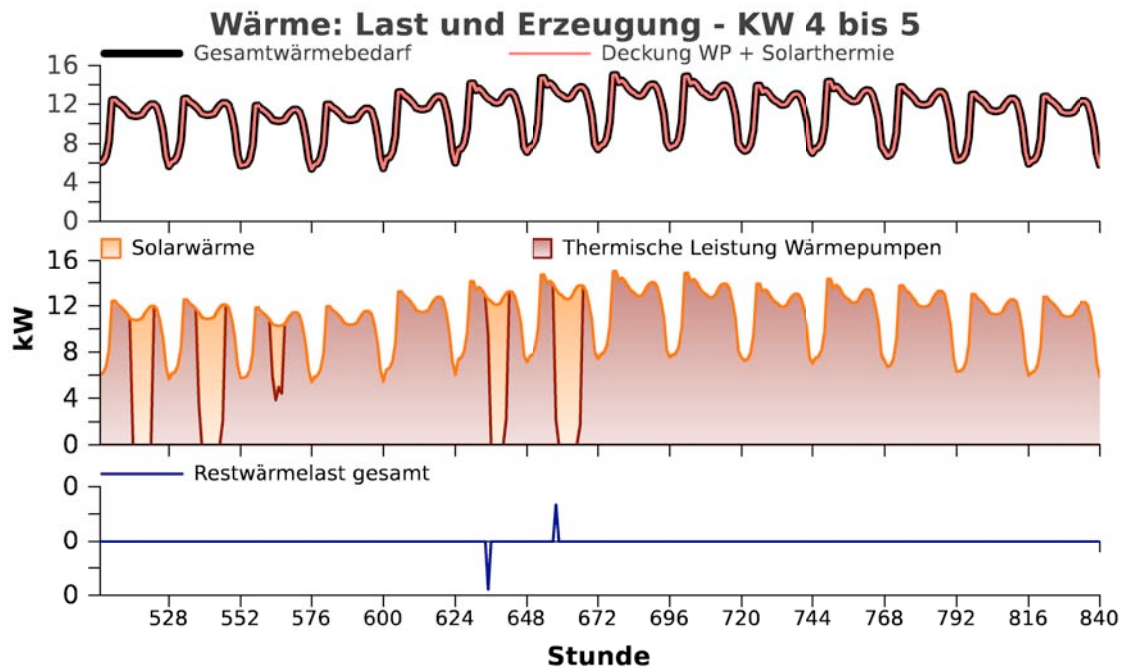


Abbildung 35: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.



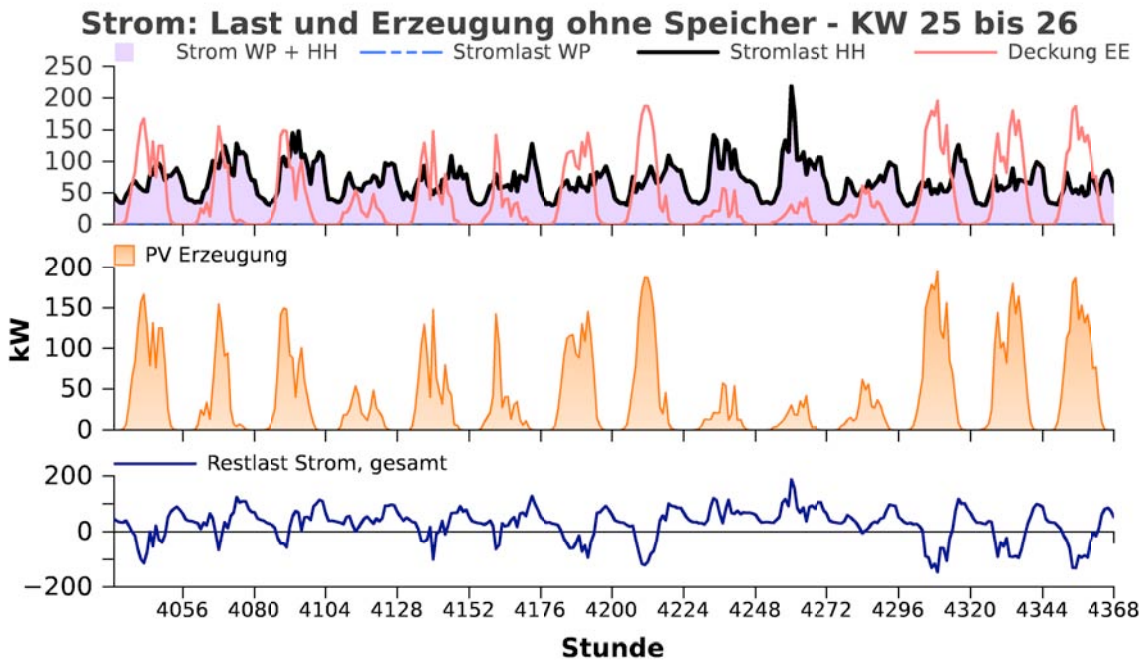


Abbildung 36: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

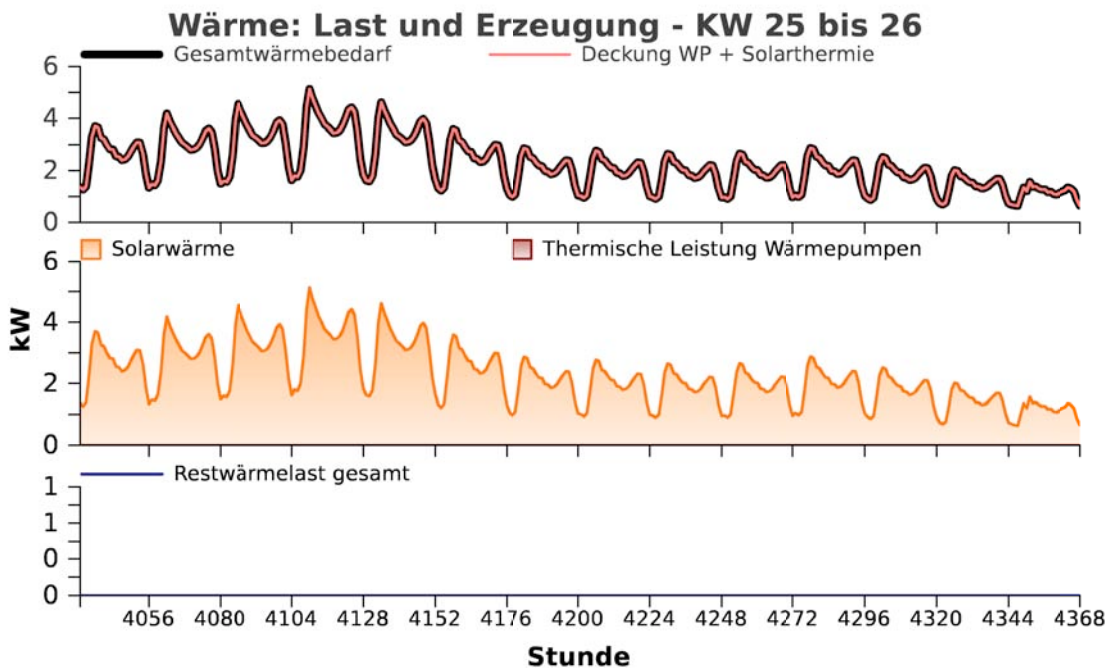


Abbildung 37: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

### 7.2.4 Stadtraumtyp Ilc (SRT Ilc): Villen der Gründerzeit < 1938

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 2,38 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 0,17%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 0,46 ha (0,05% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.4.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg kann mehr als der komplette Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden (knapp 125%). Auch unter Berücksichtigung des zusätzlichen Stromverbrauchs der zur Wärmebereitstellung genutzten Wärmepumpen verbleibt der Anteil des PV-Stroms fast unverändert bei knapp 124%.

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch beträgt weniger als 1% des Stromverbrauchs der Haushalte für die allgemeine Elektrizitätsversorgung, da der überwiegende Teil des Wärmebedarfs durch Wärmenetze gedeckt wird.

Villen der Gründerzeit < 1938	Stromverbrauch SRT	PV- Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	367.990,8	459.149,1	-91.158,3	3.199,0	-87.959,3
Anteile in %	100,0%	124,8%	-24,8%	0,9%	-23,7%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>124,8%</b>		<b>123,7%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 19: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Durch den im Vergleich zum Stromverbrauch des Stadtraumtyps enormen Umfang der installierten Photovoltaik fällt der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung hier besonders stark aus. Durch die zeitlichen Unterschiede von benötigter und erzeugter Leistung fällt der innerhalb des SRT direkt nutzbare Anteil der PV-Erzeugung sehr stark ab und erreicht nur noch einen Wert von knapp 34%, gemessen am reinen Haushaltsstrombedarf. Dadurch dass der überwiegende Anteil des Wärmebedarfs durch Wärmenetze bereitgestellt wird, findet Wärmepumpennutzung nur in geringem Umfang statt. In der Folge trägt der Strombedarf zum Betrieb der Wärmepumpen nur zu einer geringen weiteren Erhöhung des Stromverbrauchs bei, sodass auch der Anteil der Photovoltaik bezogen auf den Gesamtstromverbrauch nur geringfügig abfällt (33,5%). Als weitere Konsequenz fallen hohe, lokal nicht nutzbare Erzeugungüberschüsse an, die in ihrer Größenordnung beinahe mit dem Gesamtstrombedarf des SRT gleichauf liegen.

Villen der Gründerzeit < 1938	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	367.990,8	459.149,1	-91.158,3	3.199,0
Anteile in %	100,0%	124,8%	-24,8%	0,9%
Last (Defizit)	367.990,8		243.731,1	246.768,6
Anteile in %	100,0%		66,2%	66,5%
Überschüsse			-334.889,4	-334.727,9
Anteile in %			-91,0%	-91,0%
Lastdeckung (dynamisch)			<b>124.259,7</b>	<b>124.421,2</b>
Deckungsgrad (dynamisch)			<b>33,8%</b>	<b>33,5%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 20: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der massiven Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses, d.h. elektrische Leistung muss aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei fast 134 kW und somit etwa beim Vierfachen der maximal benötigten Leistung des Stadtraumtyps. Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung benötigten Bezugsleistung findet trotz der hohen PV-Leistung nur in geringem Umfang statt (von 35 kW auf 33,5 kW, bzw. 33,8 kW inklusive Wärmepumpenstrom; Tabelle 21).

Villen der Gründerzeit < 1938	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	35,0	33,5	33,8
minimale Last <sup>1)</sup>	3,6	-133,7	-133,7

- 1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 21: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 13 MWh. Hiervon können 4,3 MWh durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 8,5 MWh durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit komplett gedeckt, etwa 34% durch die Solarthermie und weitere knapp 66% durch die Wärmepumpen.

<b>Villen der Gründerzeit &lt; 1938</b>	<b>Gesamtmenge</b>	<b>Höchstwert</b>	<b>Niedrigstwert</b>	<b>Anteile</b>
<b>Alle 4 Jahre</b>	<b>in kWh</b>	<b>in kW</b>	<b>in kW</b>	<b>in %</b>
<b>Wärmelast</b>	<b>12.833,60</b>	1,15	0,03	100,0%
<b>Solarthermische Wärme</b>	<b>4.324,31</b>	0,90	0,00	33,7%
<b>Restwärmebedarf nach Solarthermie</b>	<b>8.509,30</b>	1,15	0,00	66,3%
<b>Wärmebeitrag aus Wärmepumpen</b>	<b>8.509,30</b>	1,15	0,00	66,3%
<b>Verbleibender Wärmebedarf</b>	<b>0,00</b>	0,00	0,00	0,0%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>12.833,60</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>100,0%</b>

Tabelle 22: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.4.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.4.2.1 Strom

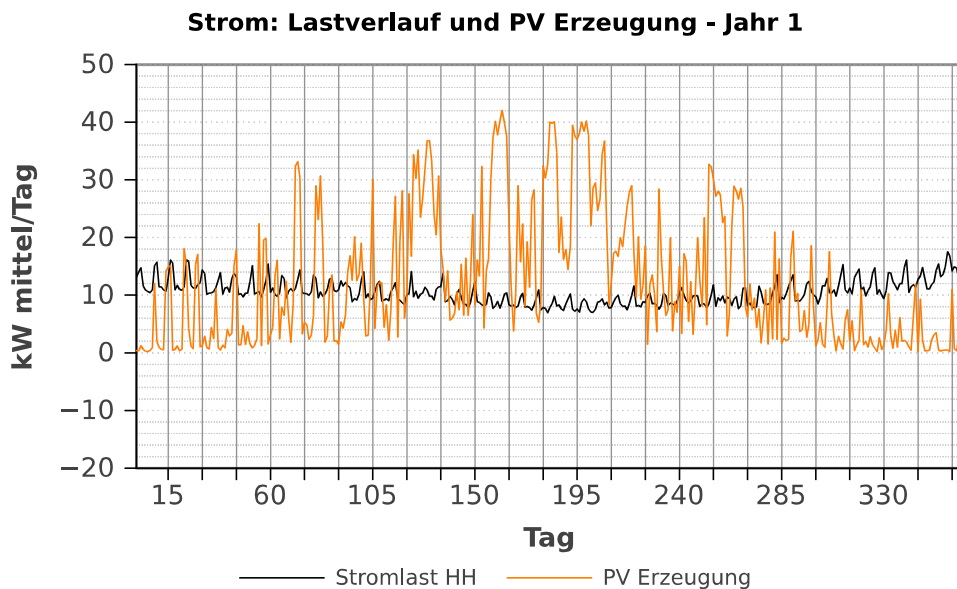
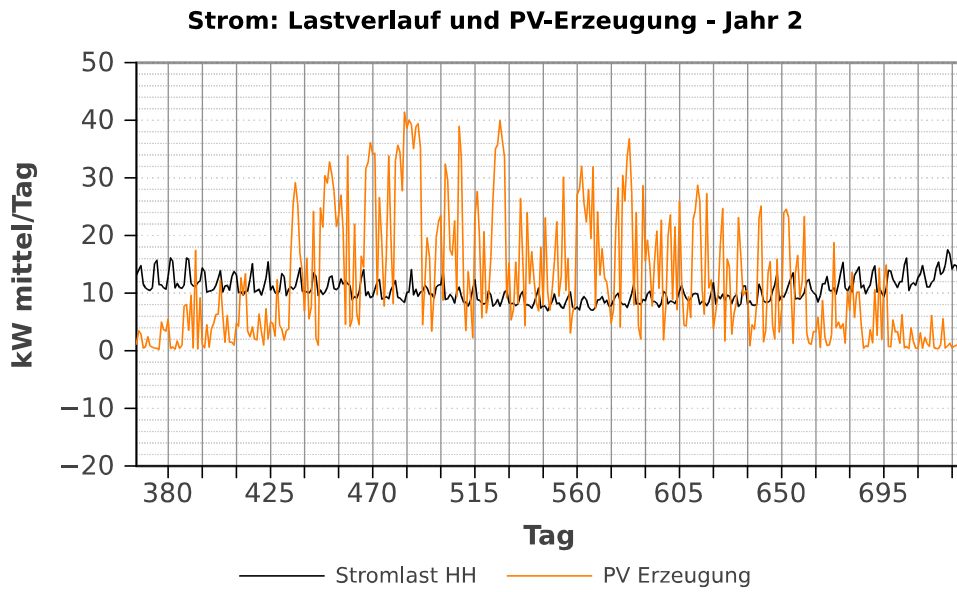
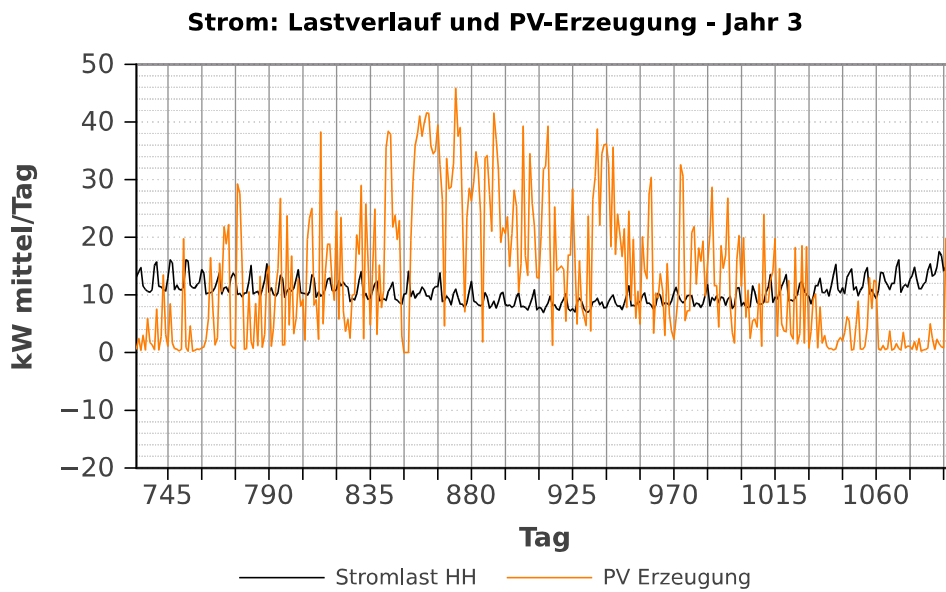


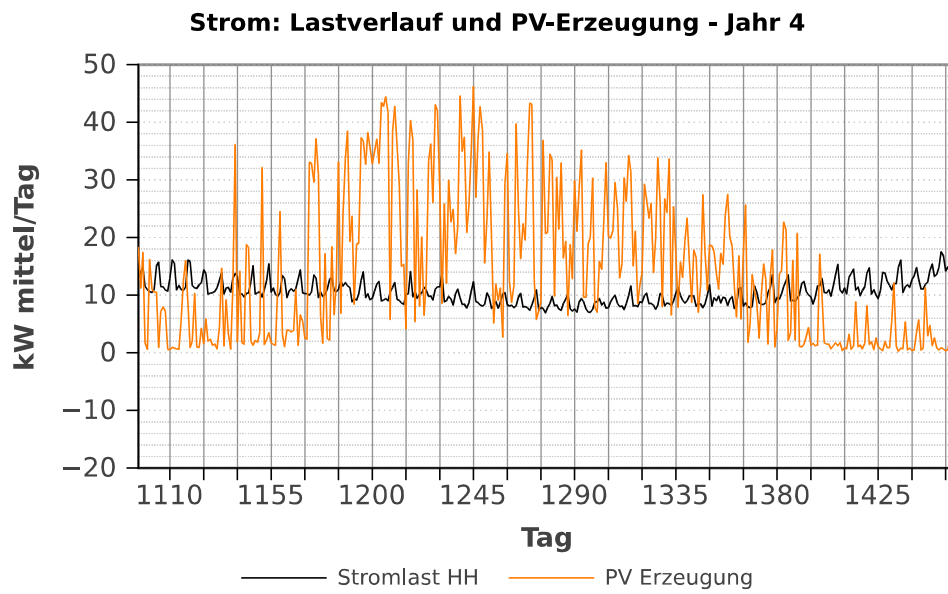
Abbildung 38: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.



**Abbildung 39: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 2.**



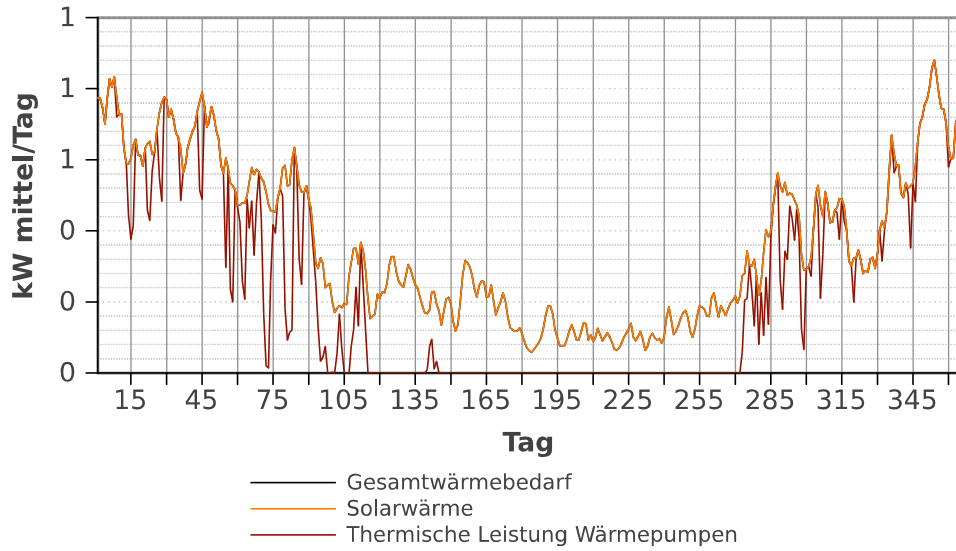
**Abbildung 40: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.**



**Abbildung 41: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.**

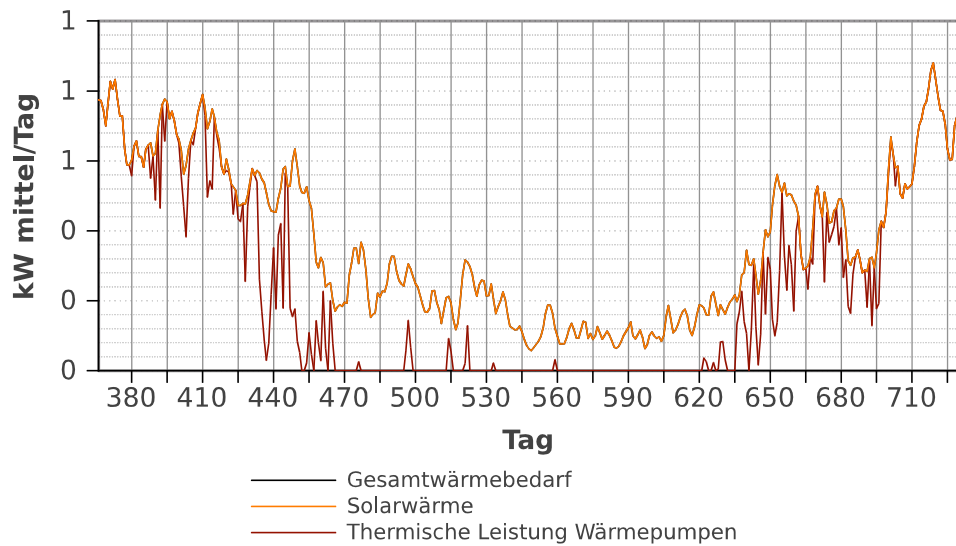
7.2.4.2.2 Wärme

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag- Jahr 1**



**Abbildung 42: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 2**



**Abbildung 43: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**

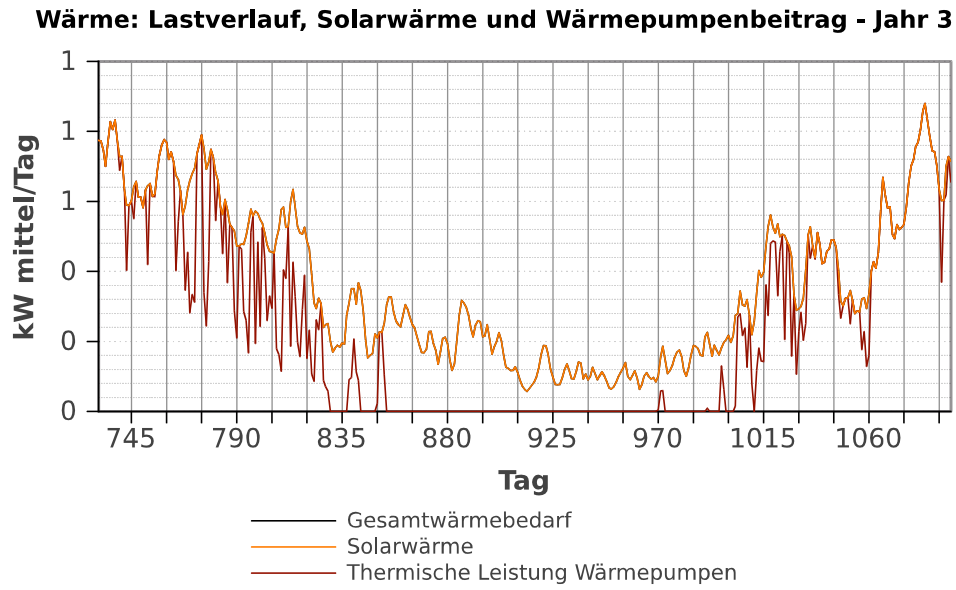


Abbildung 44: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

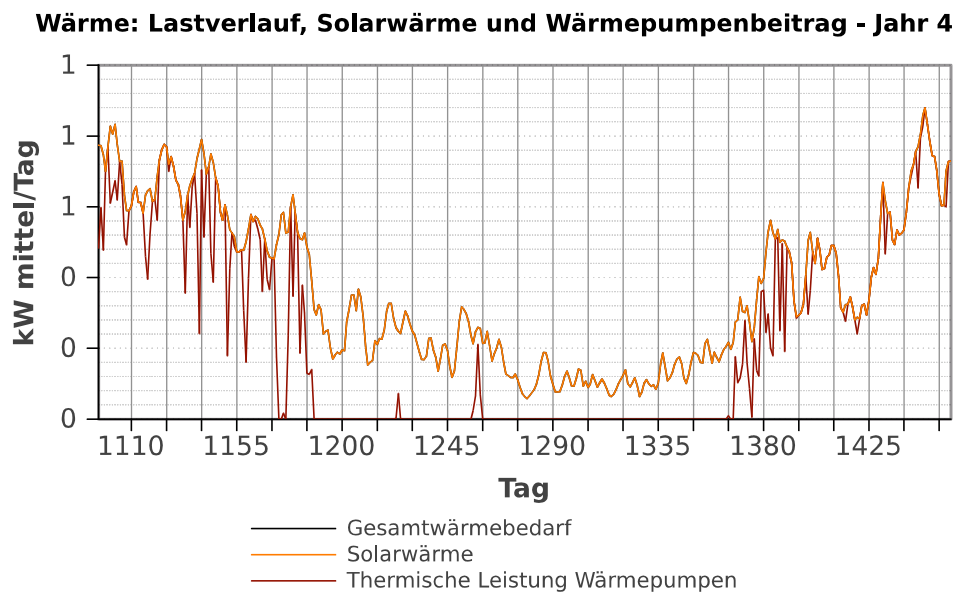


Abbildung 45: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.



7.2.4.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

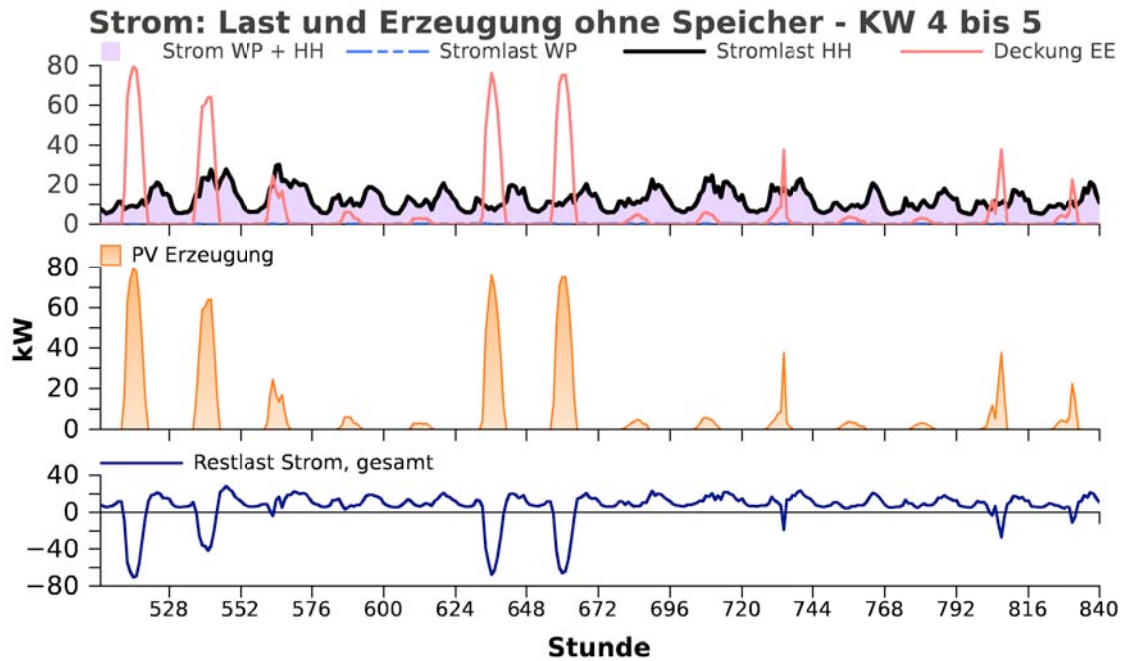


Abbildung 46: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

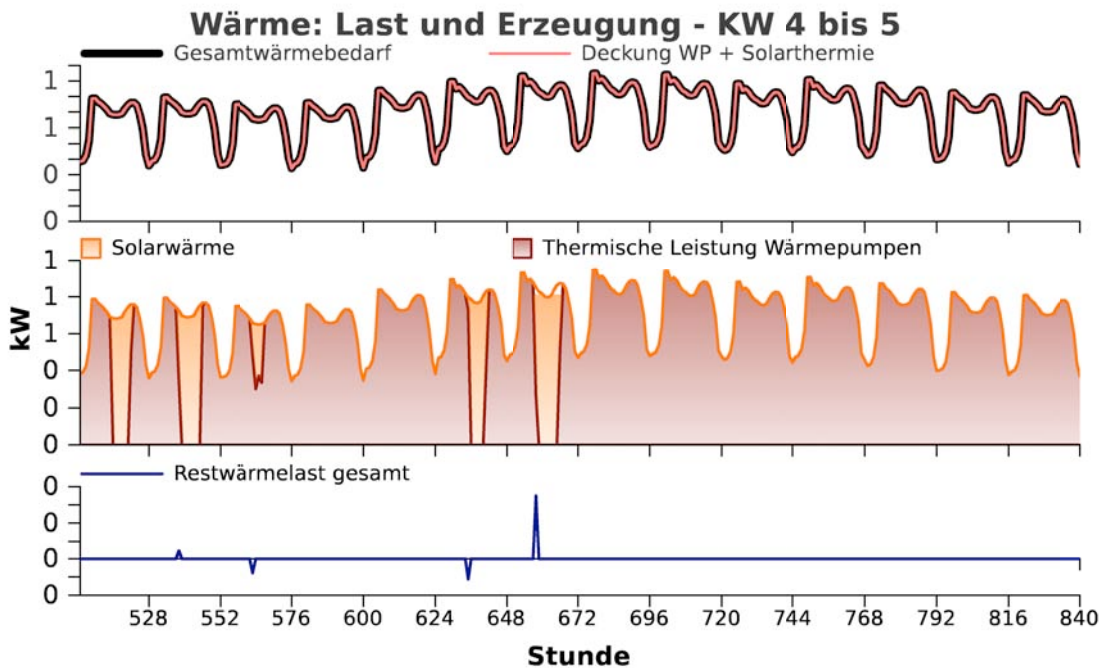


Abbildung 47: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

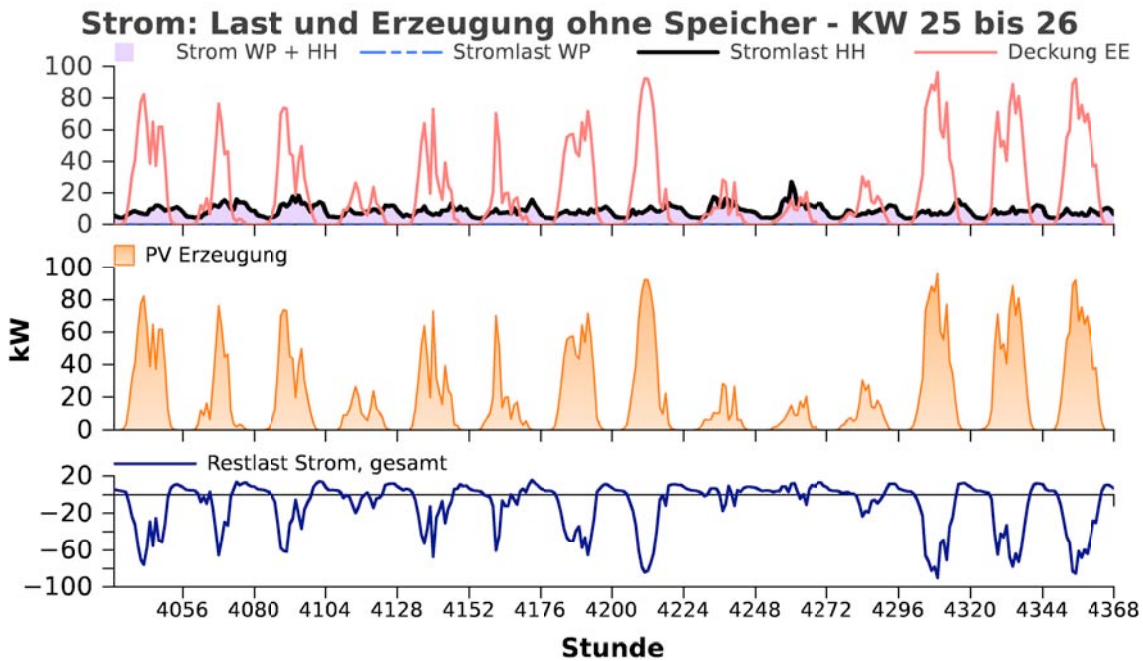


Abbildung 48: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

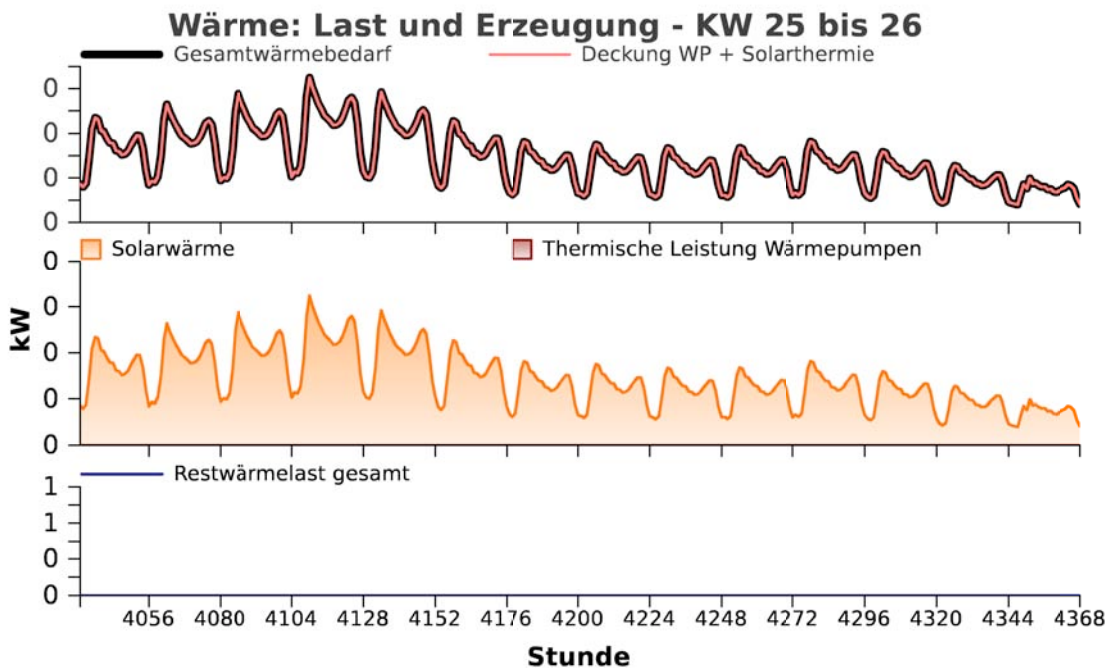


Abbildung 49: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

### 7.2.5 Stadtraumtyp III (SRT III): Wiederaufbau 1950er

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 7,44 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 0,53%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 9,52 ha (1,13% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.5.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können deutlich mehr als zwei Drittel des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden (gut 73%). Die nur geringe Nutzung von Wärmepumpen zur Wärmebereitstellung führt dazu, dass sich der Gesamtstrombedarf nur geringfügig erhöht, womit auch der PV-Anteil bezogen auf den gesamten Stromverbrauch lediglich in geringem Umfang abfällt (knapp 72%).

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch beträgt weniger als 2% des Stromverbrauchs der Haushalte für die allgemeine Elektrizitätsversorgung.

Wiederaufbau 1950er	Stromverbrauch SRT	PV- Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	7.996.599,2	5.864.787,0	2.131.812,3	171.865,6	2.303.677,9
Anteile in %	100,0%	73,3%	26,7%	2,1%	22,4%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>73,3%</b>		<b>71,8%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 23: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Auch in diesem Stadtraumtyp fällt der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung deutlich aus, da der Installationsumfang der Photovoltaik, gemessen am Strombedarf des SRT, recht hoch ist. Durch die fehlende Möglichkeit zur Anpassung der erzeugten an die zeitgleich benötigte Leistung fällt der innerhalb des SRT direkt nutzbare Anteil der PV-Erzeugung in der dynamischen Betrachtung auf 29,3% (bezogen auf den Haushaltsstrom), bzw. 28,8%, wenn auch der zusätzliche Stromverbrauch der Wärmepumpen berücksichtigt wird. Auch hier treten hohe, lokal nicht nutzbare Erzeugungüberschüsse an, die in ihrem Umfang nicht allzu deutlich unter der Hälfte des Gesamtstrombedarf des SRT liegen.

Wiederaufbau 1950er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
<b>Energiemenge</b>	7.996.599,2	5.864.787,0	2.131.812,3	171.865,6
<b>Anteile in %</b>	100,0%	73,3%	26,7%	2,1%
<b>Last (Defizit)</b>	7.996.599,2		5.651.892,9	5.819.268,9
<b>Anteile in %</b>	100,0%		70,7%	71,2%
<b>Überschüsse</b>			-3.520.080,7	-3.515.590,9
<b>Anteile in %</b>			-44,0%	-44,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>2.344.706,3</b>	<b>2.349.196,0</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>29,3%</b>	<b>28,8%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 24: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der deutlichen Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung muss elektrische Leistung aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei 1.627 kW und somit bei mehr als dem Doppelten der maximal benötigten Leistung des Stadtraumtyps. Die maximal zur Lastdeckung aus benachbarten Stromnetzen zu beziehende Leistung wird durch die Photovoltaik zunächst um mehr als 20 kW reduziert (von max. ca. 760 auf max. ca. 737 kW), steigt aber durch den Stromverbrauch der Wärmepumpen wieder auf ein Maximum von 750 kW an (Tabelle 25).

Wiederaufbau 1950er	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	759,8	737,2	750,0
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	78,5	-1.627,0	-1.627,0

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 25: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 922 MWh. Hiervon können 325 MWh durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 457 MWh durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit zu knapp 85%, davon etwa 35% durch die Solarthermie und knapp 50% durch die Wärmepumpen.

<b>Wiederaufbau 1950er Alle 4 Jahre</b>	<b>Gesamtmenge in kWh</b>	<b>Höchstwert in kW</b>	<b>Niedrigstwert in kW</b>	<b>Anteile in %</b>
<b>Wärmelast</b>	<b>921.812,05</b>	<b>82,48</b>	<b>2,31</b>	<b>100,0%</b>
<b>Solarthermische Wärme</b>	<b>324.994,99</b>	<b>65,33</b>	<b>0,00</b>	<b>35,3%</b>
<b>Restwärmebedarf nach Solarthermie</b>	<b>596.817,06</b>	<b>82,48</b>	<b>0,00</b>	<b>64,7%</b>
<b>Wärmebeitrag aus Wärmepumpen</b>	<b>457.162,63</b>	<b>33,99</b>	<b>0,00</b>	<b>49,6%</b>
<b>Verbleibender Wärmebedarf</b>	<b>139.654,43</b>	<b>48,49</b>	<b>0,00</b>	<b>15,1%</b>
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>782.157,61</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>84,9%</b>

Tabelle 26: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.5.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.5.2.1 Strom

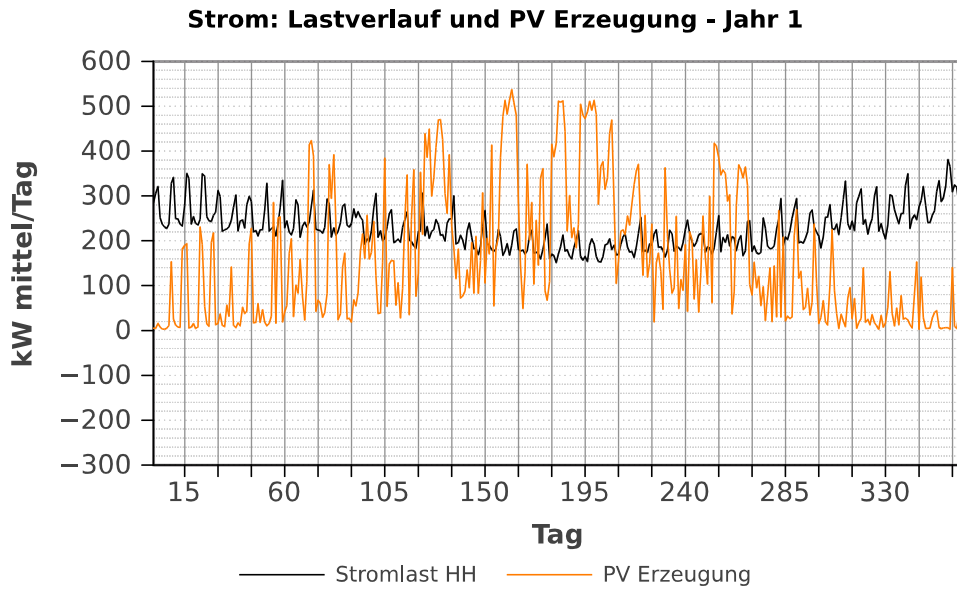


Abbildung 50: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

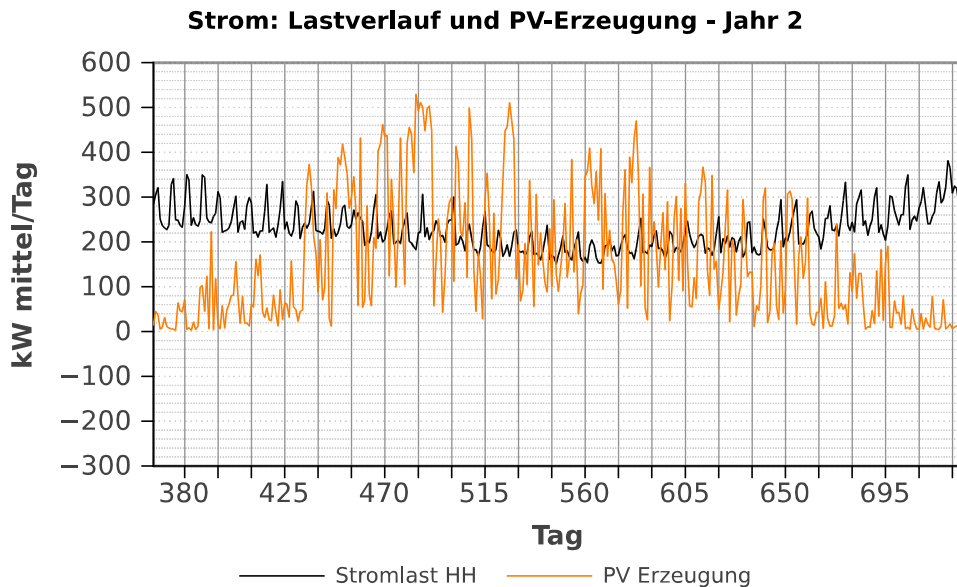


Abbildung 51: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

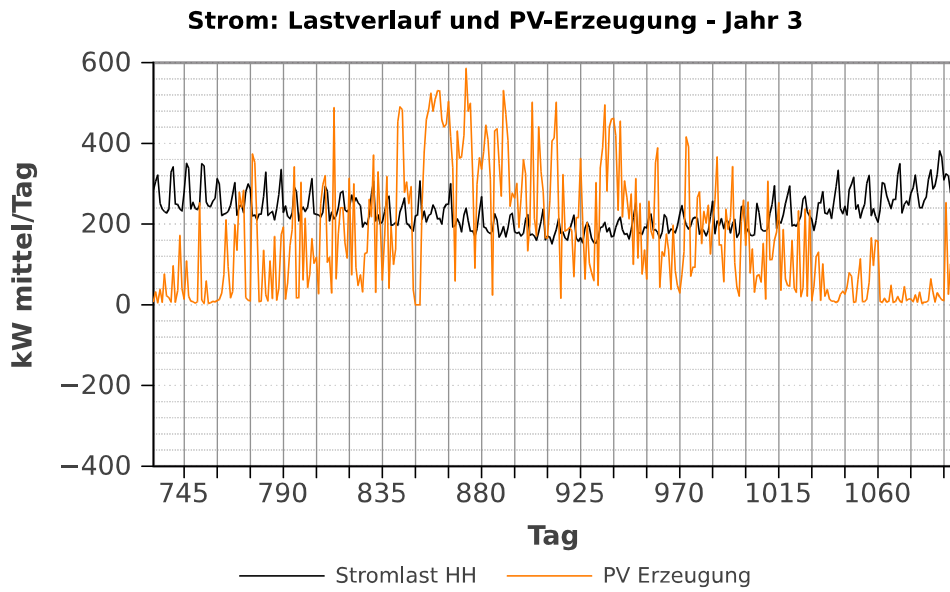


Abbildung 52: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

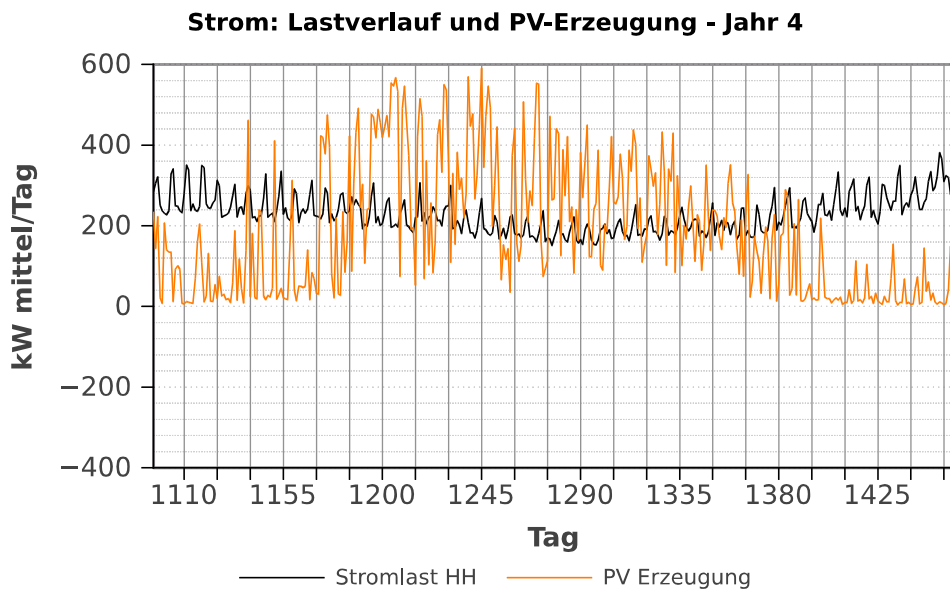


Abbildung 53: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.5.2.2 Wärme

Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag- Jahr 1

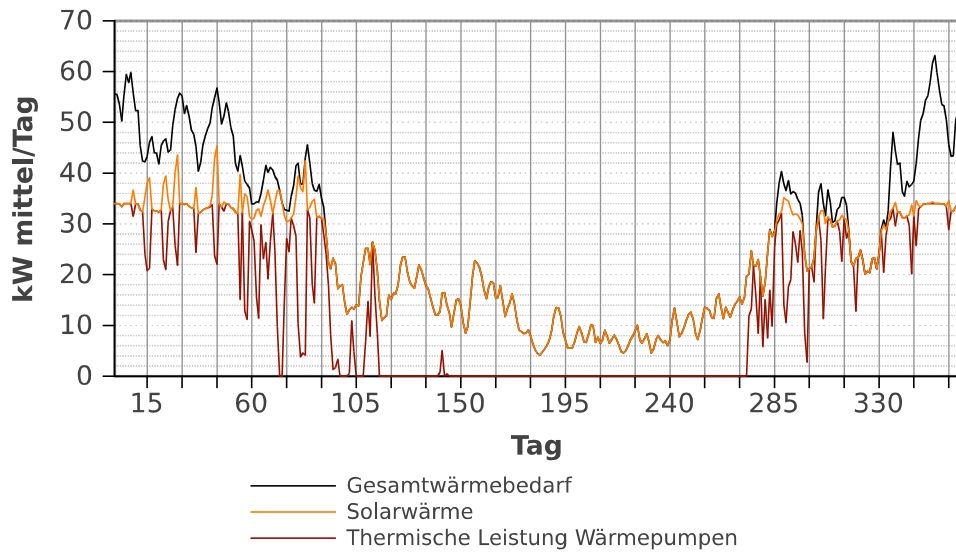


Abbildung 54: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 2

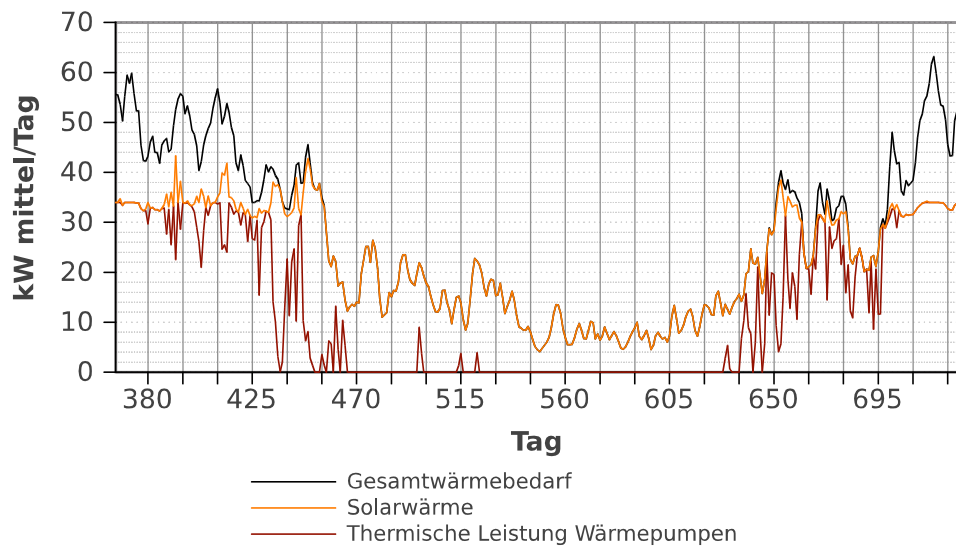


Abbildung 55: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.



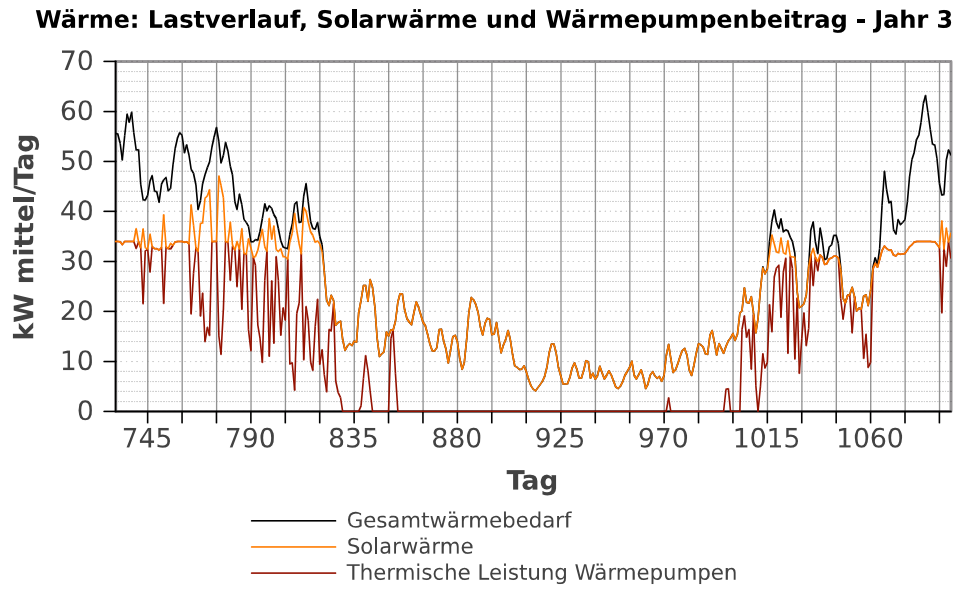


Abbildung 56: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

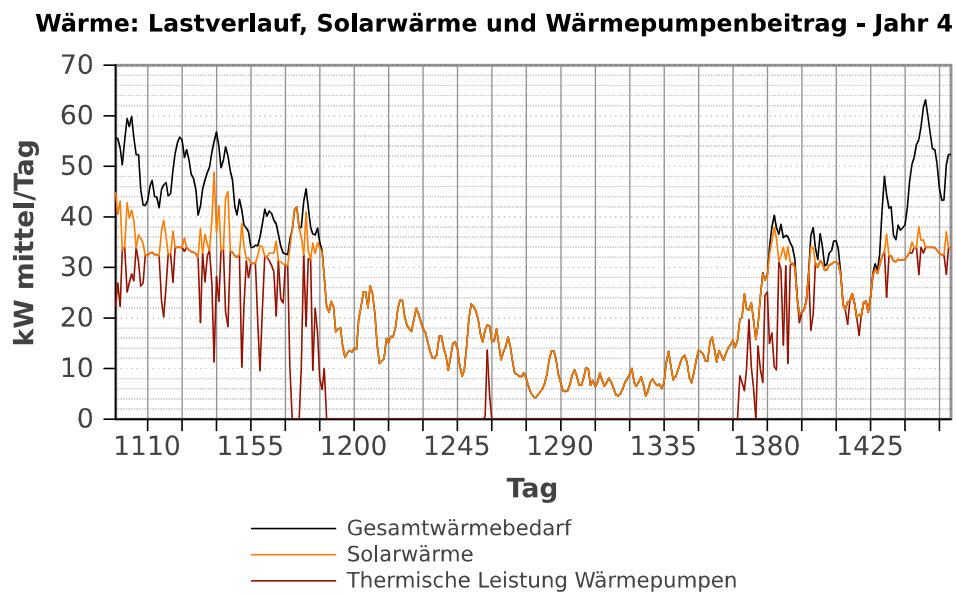


Abbildung 57: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.5.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

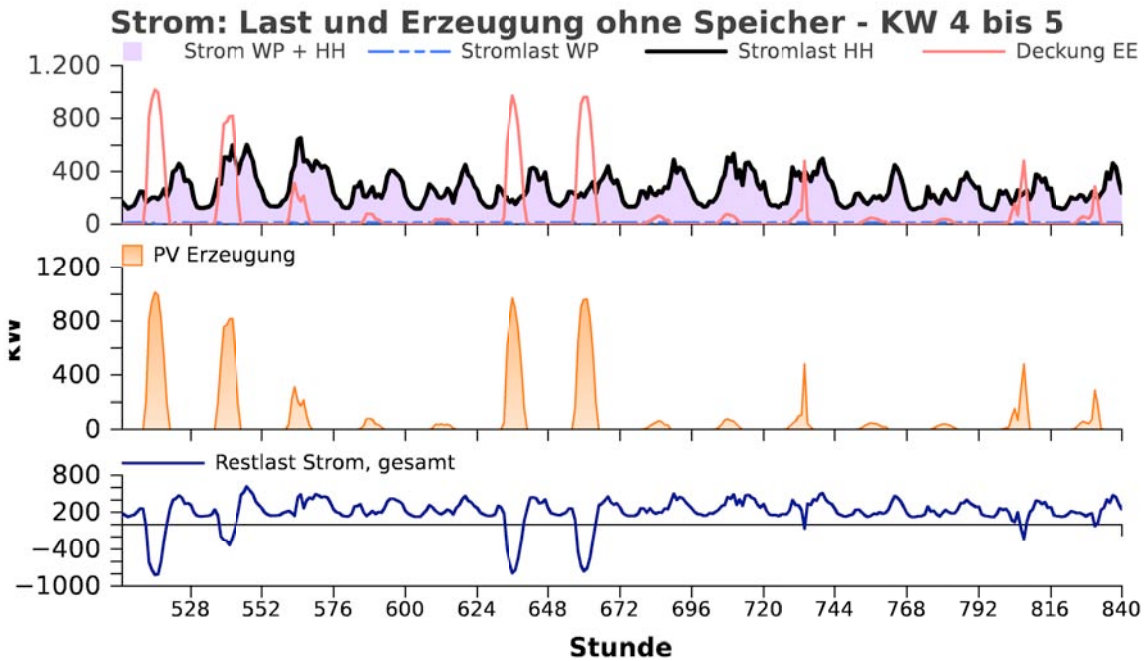


Abbildung 58: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

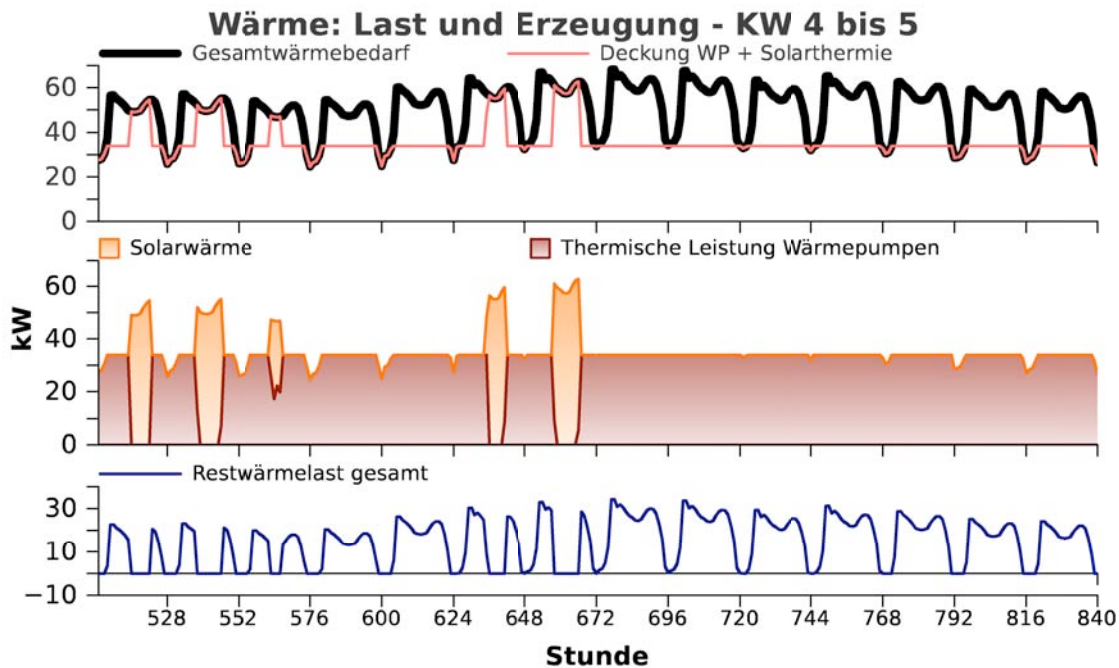


Abbildung 59: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

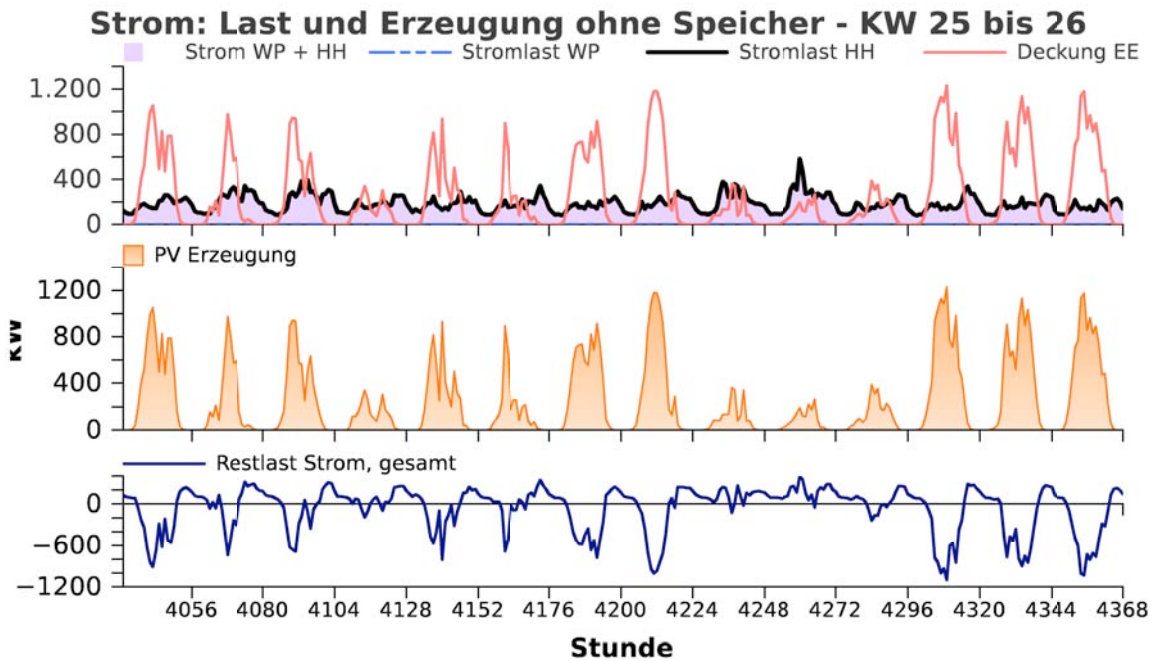


Abbildung 60: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

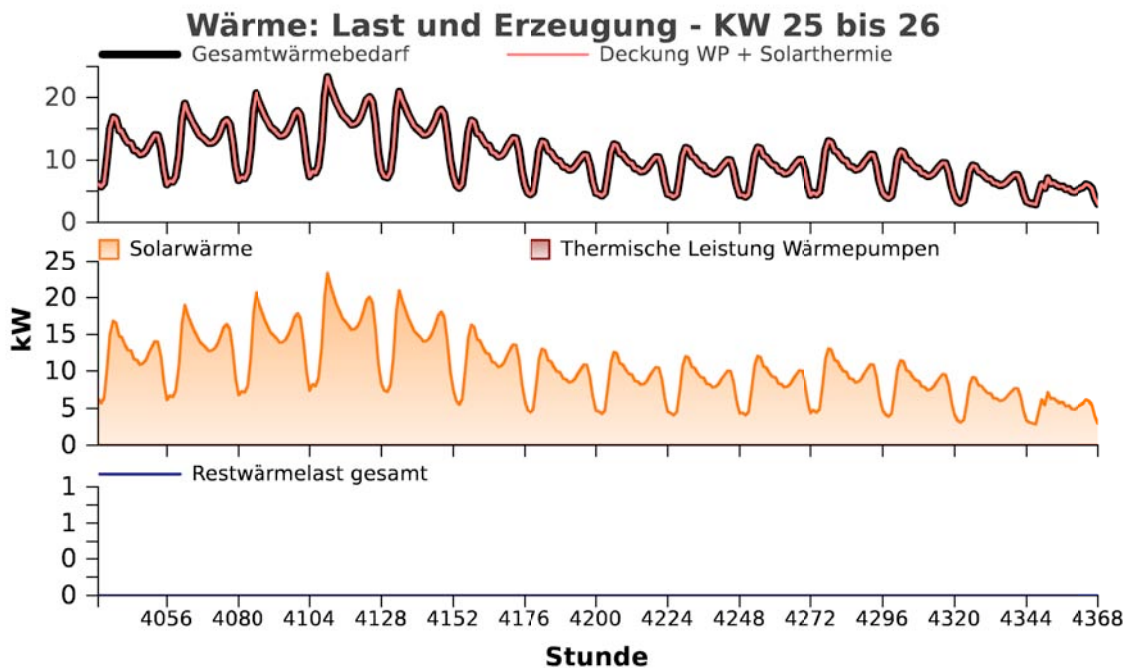


Abbildung 61: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

### 7.2.6 Stadtraumtyp IV (SRT IV): Dörflich-kleinteilig

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 29,24 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 2,08%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 5,61 ha (0,66% der gesamten Energiebezugsfläche).

#### 7.2.6.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 16% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden, wird der zusätzliche Stromverbrauch der Wärmepumpen berücksichtigt, fällt der Anteil der PV auf 14,5% ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt knapp 2% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Dörflich-kleinteilig	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	4.263.493,0	691.792,7	3.571.700,3	75.680,0	3.647.380,2
Anteile in %	100,0%	16,2%	83,8%	1,8%	85,5%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>16,2%</b>		<b>14,5%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungsüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 27: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Der nur geringe Installationsumfang der PV wirkt sich dahingehend aus, dass der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung relativ gering ausfällt. In der dynamischen Bilanzierung über alle vier Jahre erreicht die PV einen Deckungsanteil von fast 15% des Haushaltsstroms, der auch unter Berücksichtigung des Wärmepumpenstroms nur leicht absinkt (14,7%). Trotz des relativ geringen Beitrags der PV verbleiben auch hier lokal nicht nutzbare Erzeugungsüberschüsse in einem Umfang von 1,3% des Stromverbrauchs.

Dörflich-kleinteilig	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	4.263.493,0	691.792,7	3.571.700,3	75.680,0
Anteile in %	100,0%	16,2%	83,8%	1,8%
Last (Defizit)	4.263.493,0		3.626.472,6	3.702.108,4
Anteile in %	100,0%		85,1%	85,3%
Überschüsse			-54.772,4	-54.728,2
Anteile in %			-1,3%	-1,3%
Lastdeckung (dynamisch)			<b>637.020,3</b>	<b>637.064,5</b>
Deckungsgrad (dynamisch)			<b>14,9%</b>	<b>14,7%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungsüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 28: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 110 kW, was etwas mehr als einem Viertel der maximalen Bezugslast entspricht. Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast; der Einsatz der Wärmepumpen überkompensiert diesen Rückgang, so dass in der Summe eine maximale Bezugsspitzenlast von knapp 407 kW auftritt (Tabelle 29).

Dörflich-kleinteilig	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	405,1	402,2	406,9
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	41,8	-110,2	-110,2

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 29: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 14.361 MWh. Hiervon können 4.703 MWh (knapp 33%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 201 MWh (1,4%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehende Wärmebedarf damit zu gut 34% gedeckt.

Dörflich-kleinteilig	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
<b>Wärmelast</b>	<b>14.361.154,52</b>	1.284,97	35,95	100,0%
<b>Solarthermische Wärme</b>	<b>4.703.305,40</b>	993,39	0,00	32,8%
<b>Restwärmebedarf nach Solarthermie</b>	<b>9.657.849,12</b>	1.284,97	0,00	67,2%
<b>Wärmebeitrag aus Wärmepumpen</b>	<b>201.308,72</b>	12,42	0,00	1,4%
<b>Verbleibender Wärmebedarf</b>	<b>9.456.540,40</b>	1.272,55	0,00	65,8%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>4.904.614,12</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>34,2%</b>

Tabelle 30: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.6.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.6.2.1 Strom

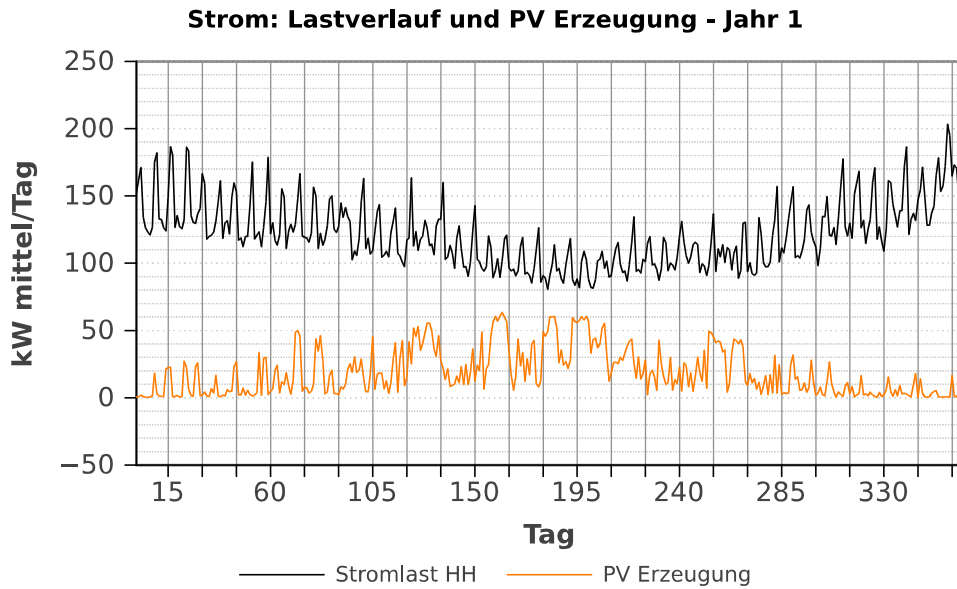


Abbildung 62: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

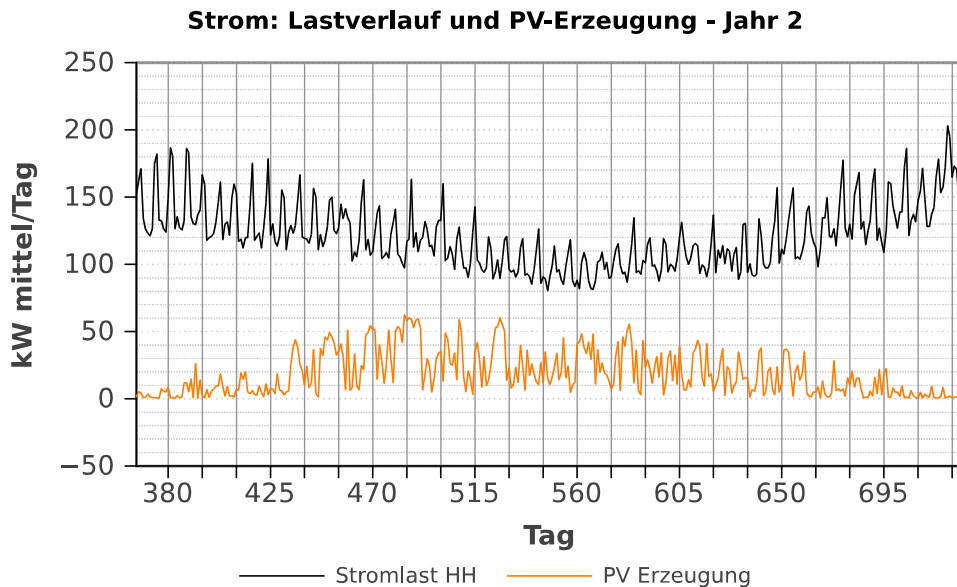


Abbildung 63: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

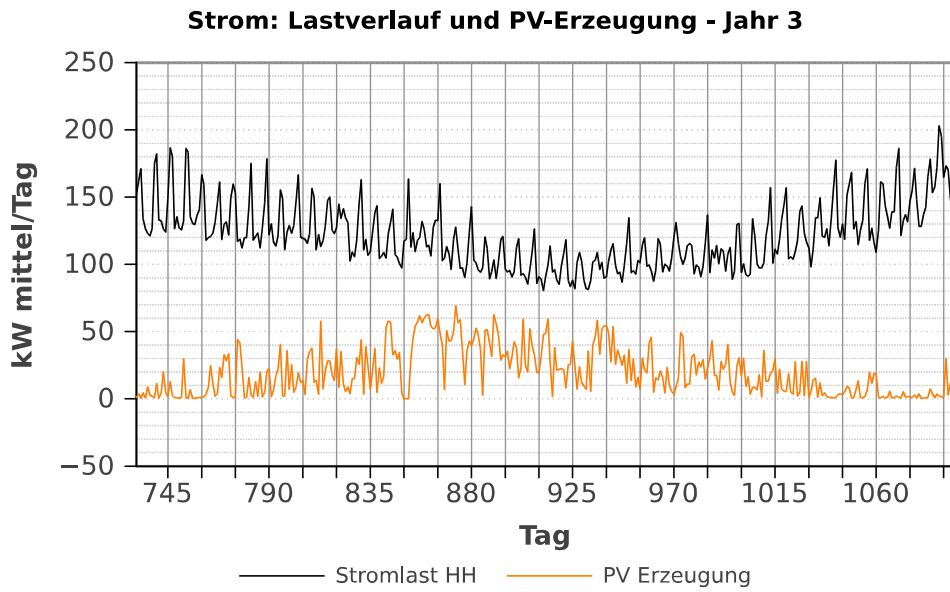


Abbildung 64: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

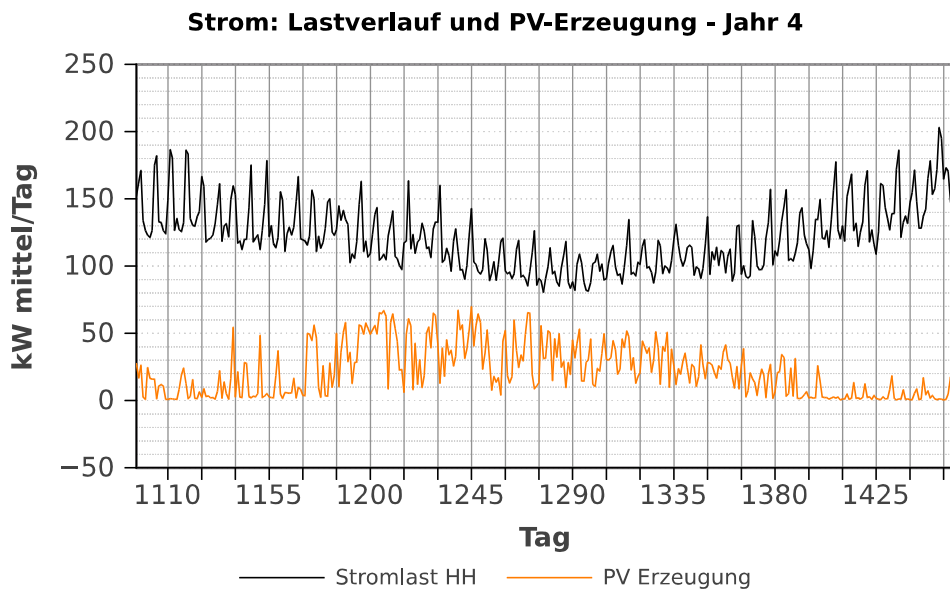


Abbildung 65: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.6.2.2 Wärme

Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag- Jahr 1

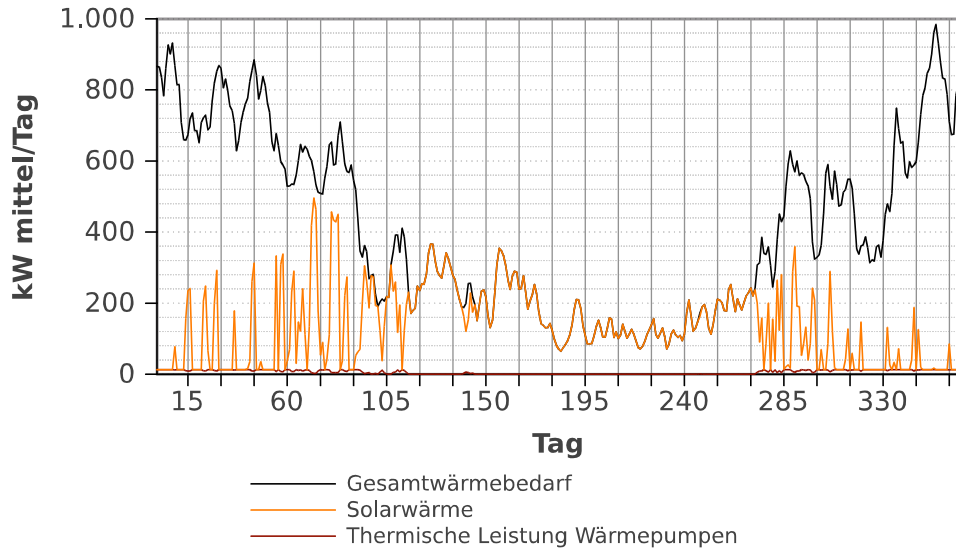


Abbildung 66: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 2

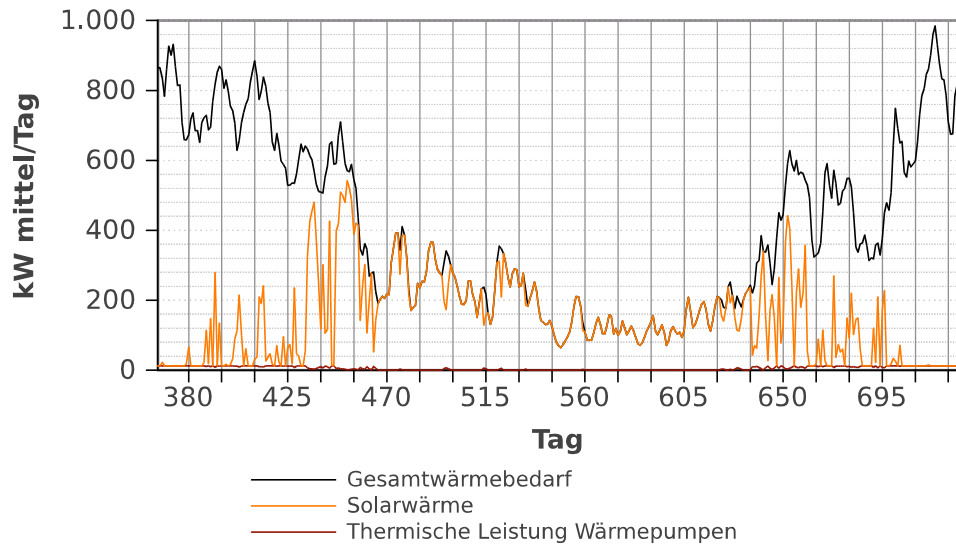


Abbildung 67: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.



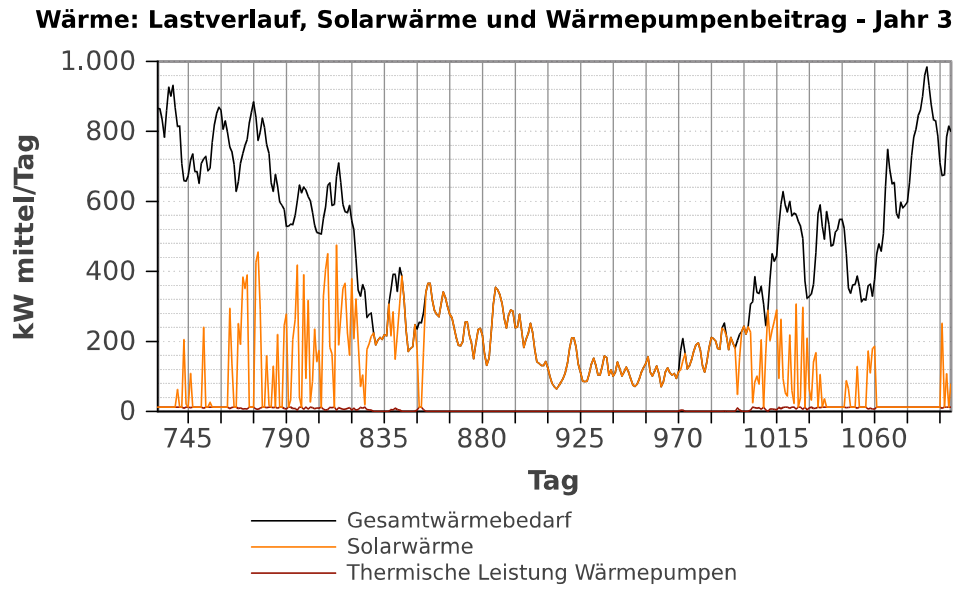


Abbildung 68: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

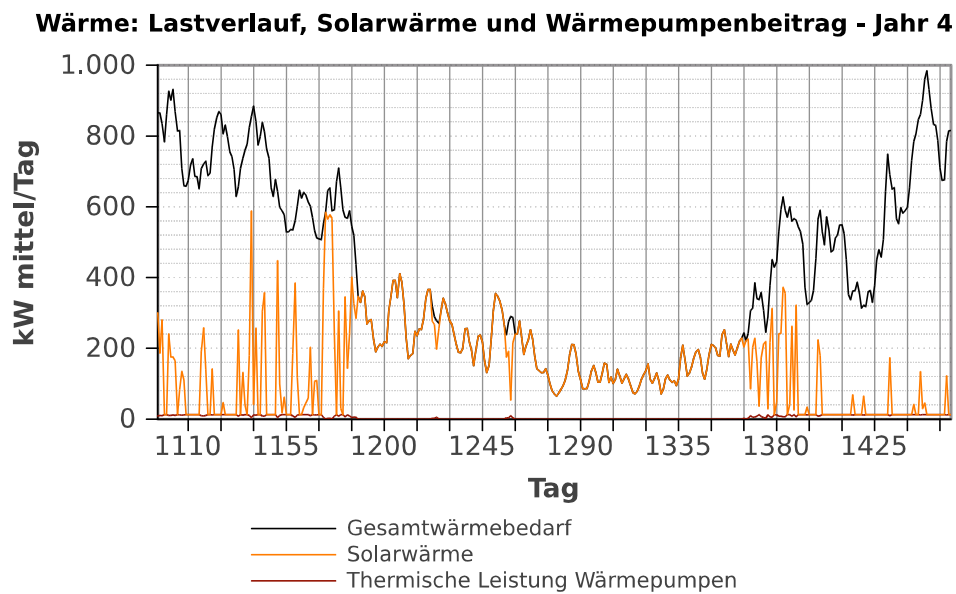


Abbildung 69: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.6.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

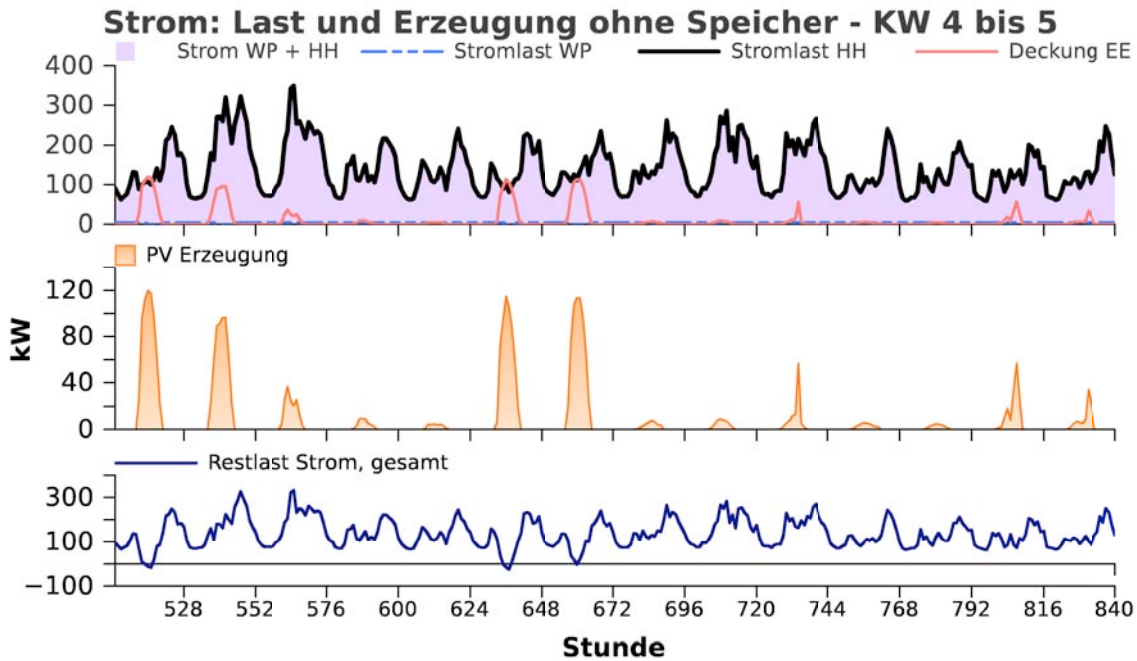


Abbildung 70: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

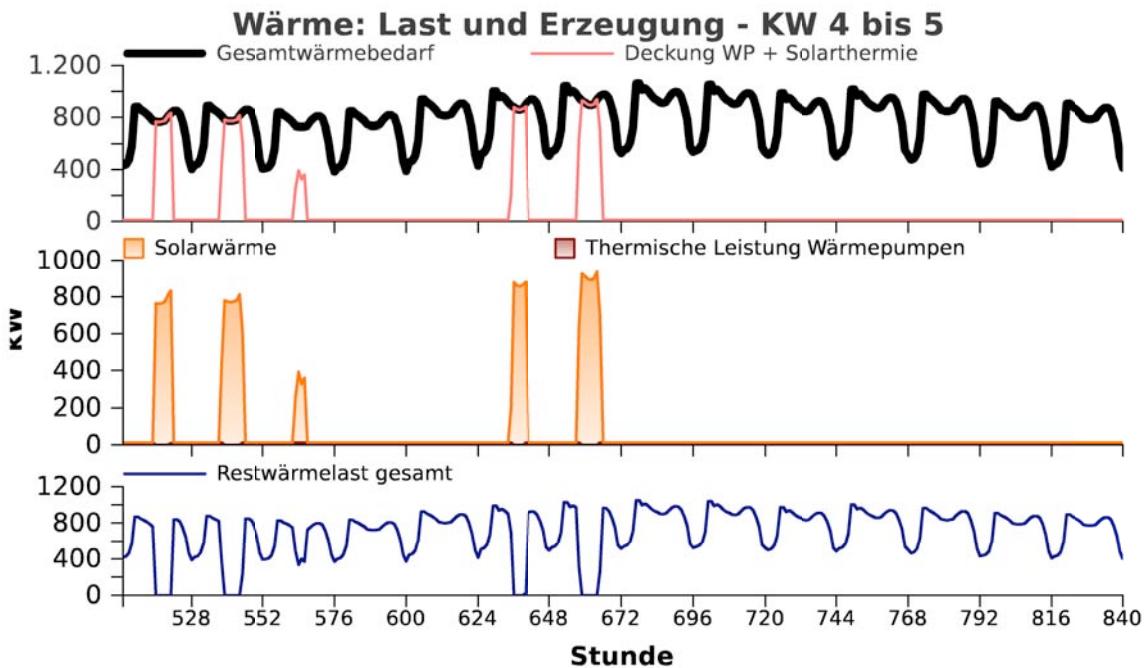


Abbildung 71: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

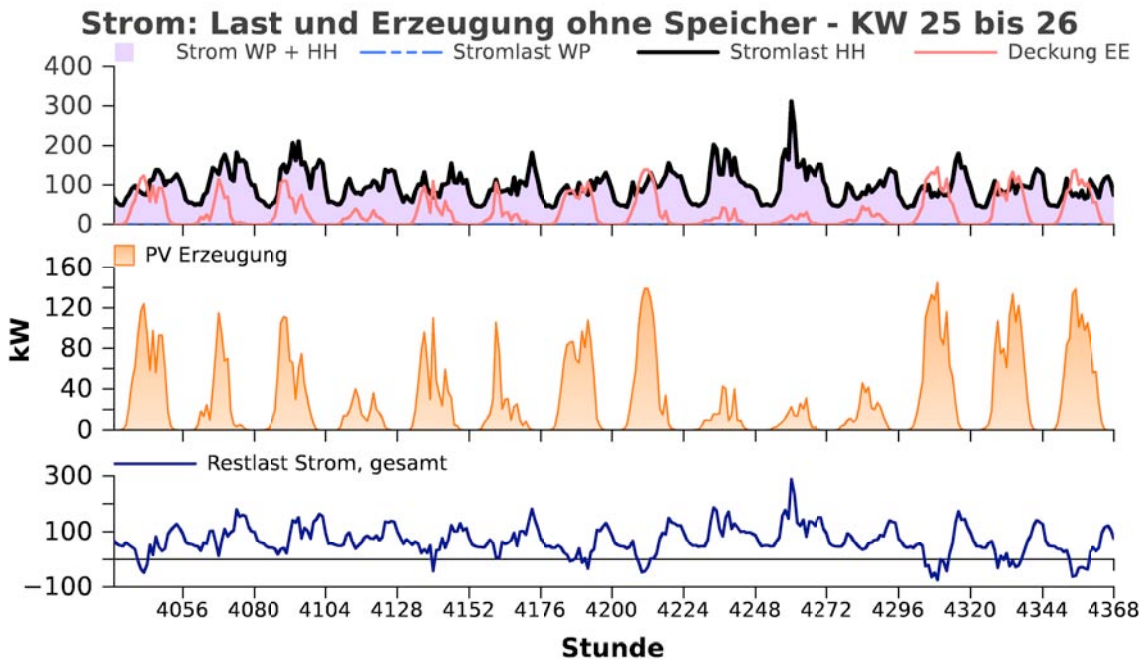


Abbildung 72: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

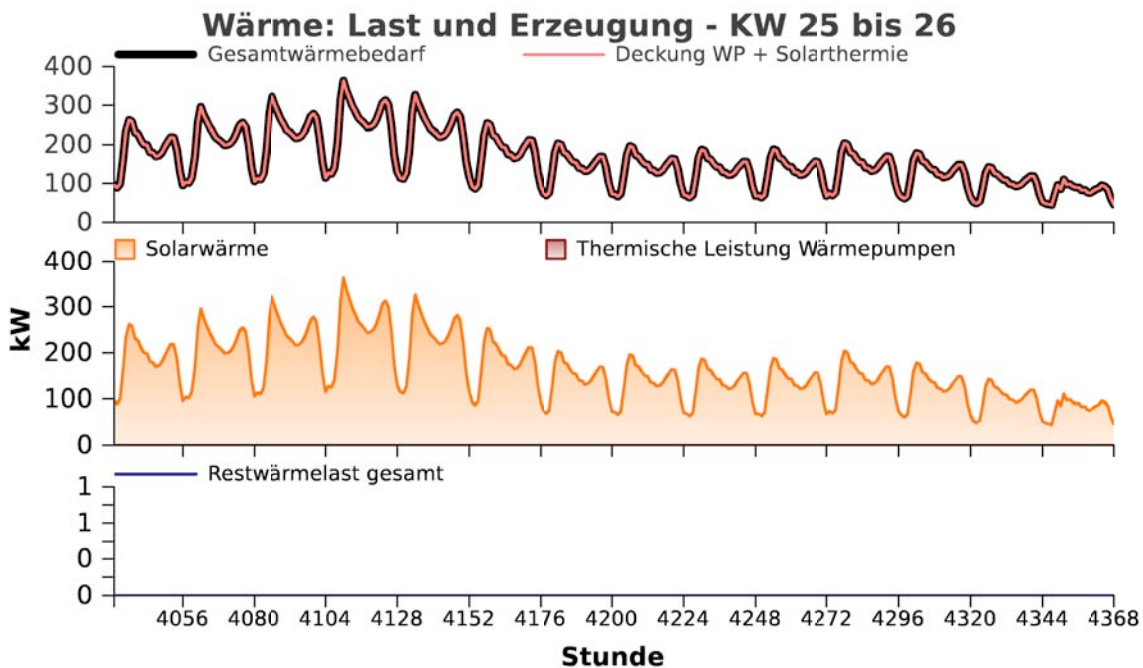


Abbildung 73: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.7 Stadtraumtyp V (SRT V): Wohlfahrt Siedlungen Vorkriegszeit < 1938**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 27,25 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 1,94%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 17,39 ha (2,06% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.7.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 26% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Wird der zusätzliche Stromverbrauch der Wärmepumpen berücksichtigt, fällt der Anteil der PV knapp unter 26% ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt 1,4% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	3.651.900,0	960.561,9	2.691.338,1	50.790,2	2.742.128,3
Anteile in %	100,0%	26,3%	73,7%	1,4%	74,1%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>26,3%</b>		<b>25,9%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 31: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil den die PV zur Lastdeckung erbringen kann, einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier einen Anteil von beinahe 20%, bzw. etwas über 19%, wenn auch der Wärmepumpenstrom berücksichtigt wird. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei einem Wert von 6,5% des Gesamtstromverbrauchs.

Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	3.651.900,0	960.561,9	2.691.338,1	50.790,2
Anteile in %	100,0%	26,3%	73,7%	1,4%
Last (Defizit)	3.651.900,0		2.933.678,1	2.984.316,7
Anteile in %	100,0%		80,3%	80,6%
Überschüsse			-242.339,9	-242.188,4
Anteile in %			-6,6%	-6,5%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>718.221,9</b>	<b>718.373,5</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>19,7%</b>	<b>19,4%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 32: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungüberschüsse muss elektrische Leistung aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 662 kW, was

etwas weniger als der Hälfte der maximalen Bezugslast entspricht (1.384 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (1.361 kW), der teils durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder kompensiert wird (1.375 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 33).

Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	1.387,8	1.360,7	1.375,4
minimale Last <sup>1)</sup>	143,4	-661,7	-661,7

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 33: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 256 MWh. Hiervon können 85 MWh (gut 33%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 135 MWh (knapp 53%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit zu knapp 86% gedeckt.

Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
Wärmelast	255.946,02	91,60	2,56	100,0%
Solarthermische Wärme	84.649,73	71,39	0,00	33,1%
Restwärmebedarf nach Solarthermie	171.296,29	91,60	0,00	66,9%
Wärmebeitrag aus Wärmepumpen	135.101,98	39,29	0,00	52,8%
Verbleibender Wärmebedarf	36.194,32	52,31	0,00	14,1%
Gesamtwärmedeckung	219.751,70	Gesamtdeckungsgrad Wärme		85,9%

Tabelle 34: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.7.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.7.2.1 Strom

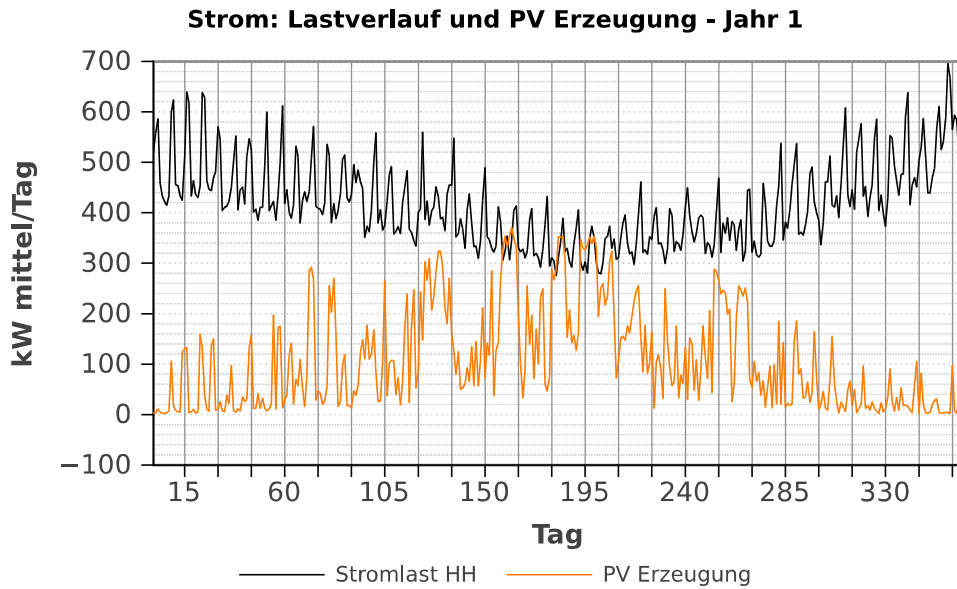


Abbildung 74: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

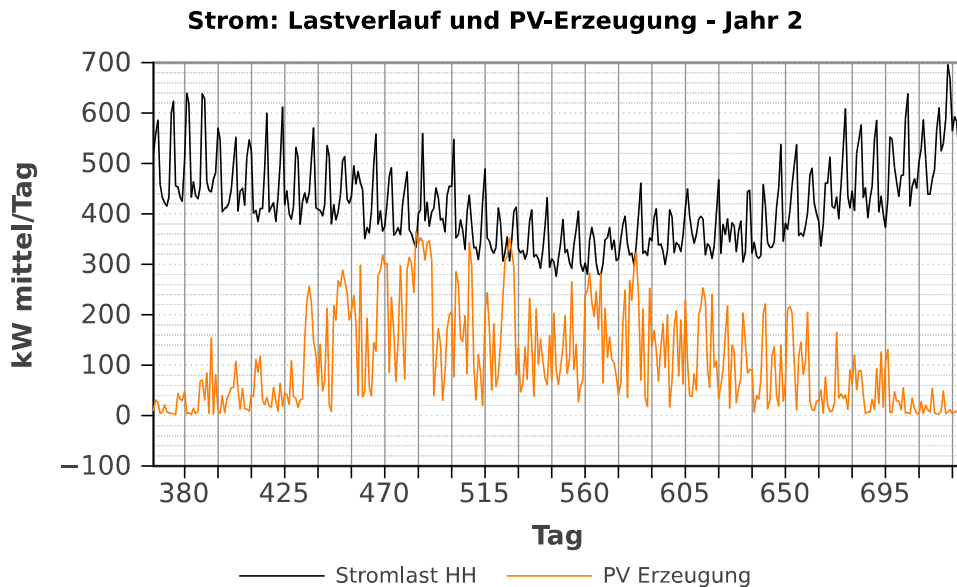


Abbildung 75: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

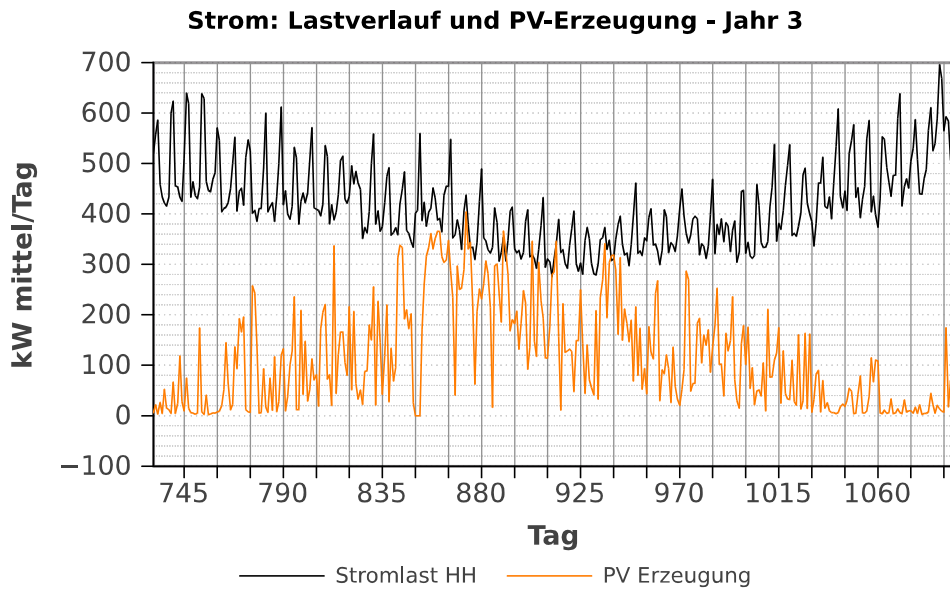


Abbildung 76: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

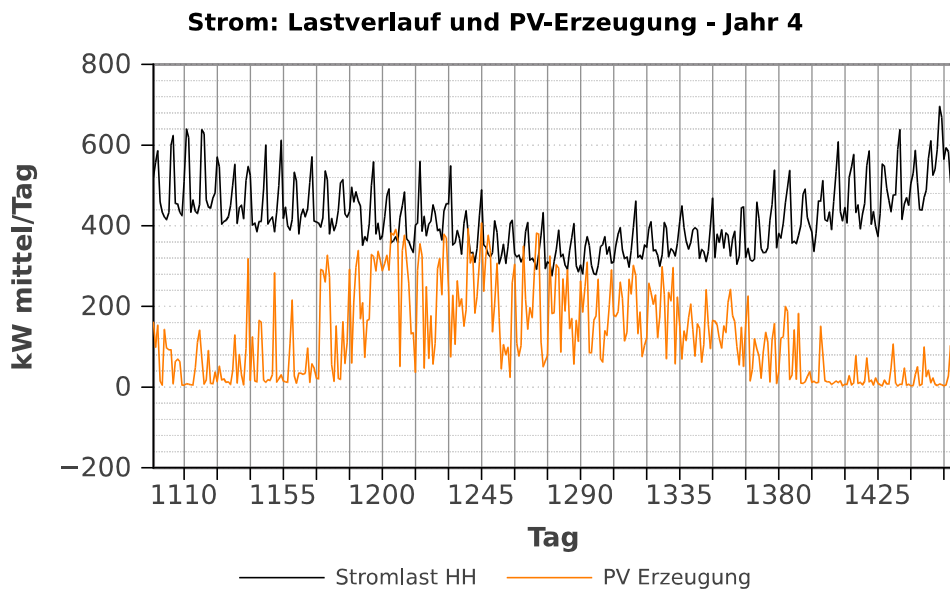


Abbildung 77: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.7.2.2 Wärme

Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag- Jahr 1

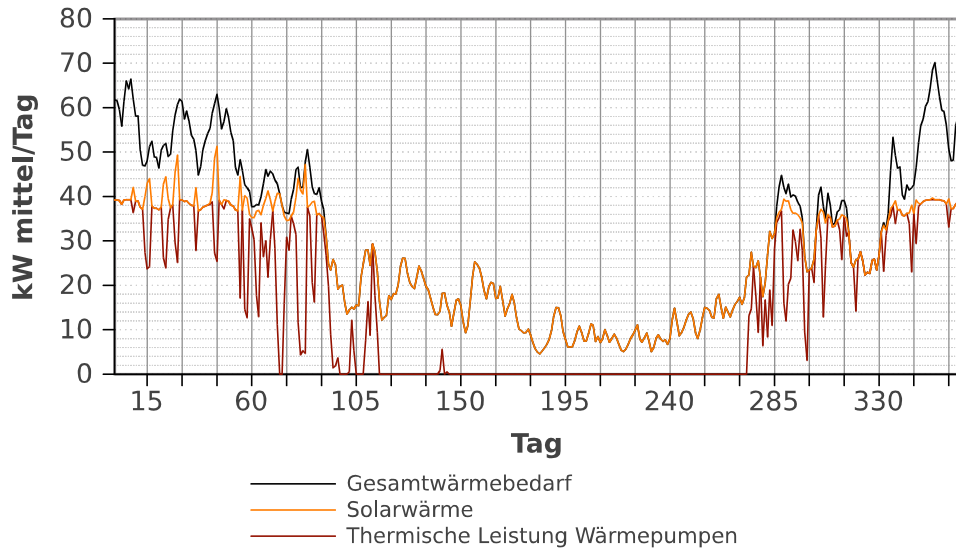


Abbildung 78: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 2

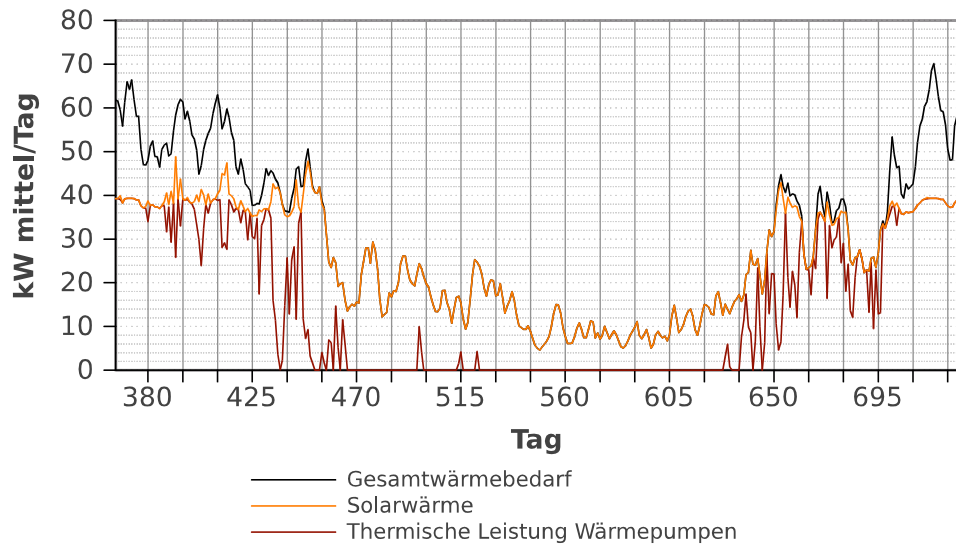


Abbildung 79: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.



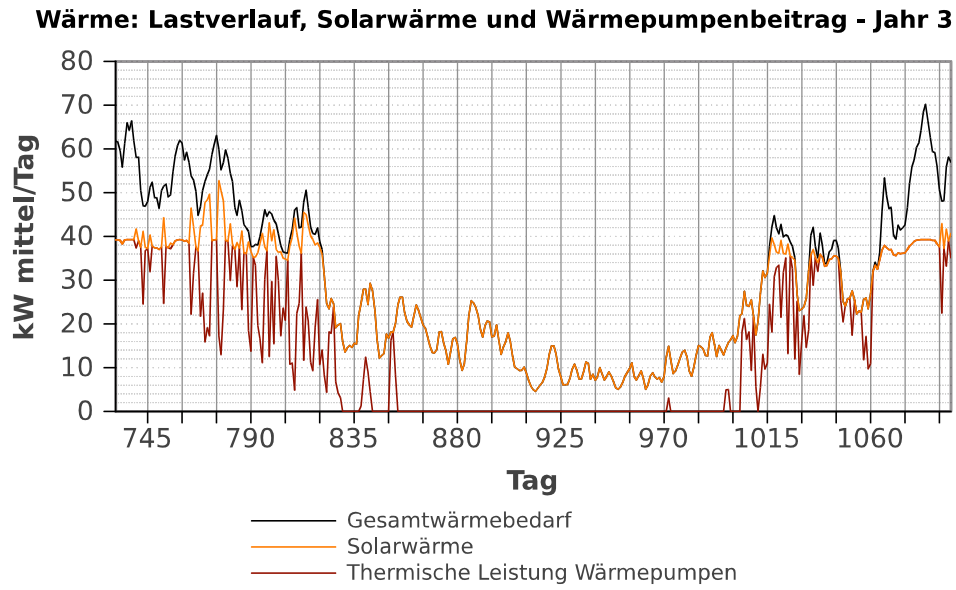


Abbildung 80: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

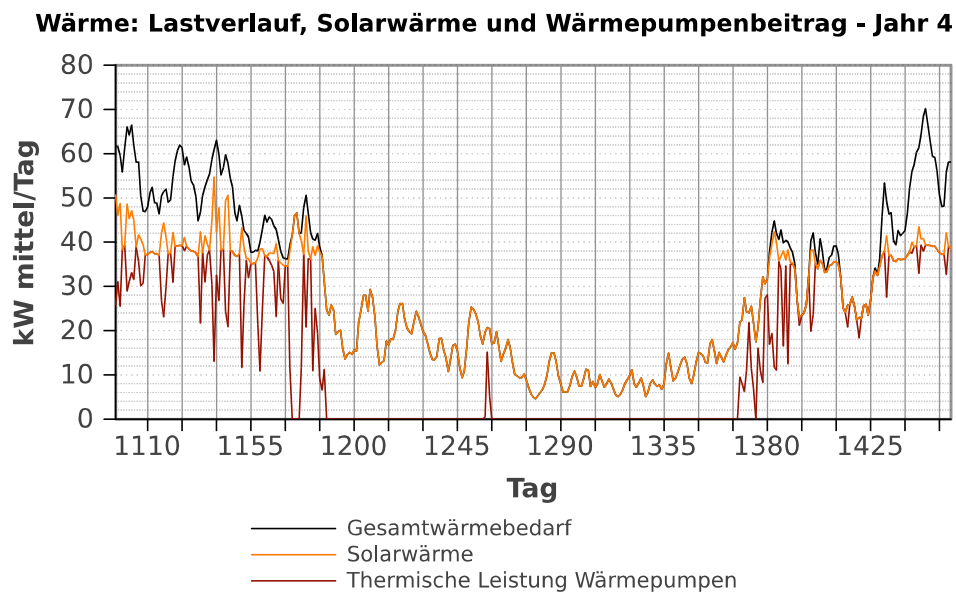


Abbildung 81: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.7.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

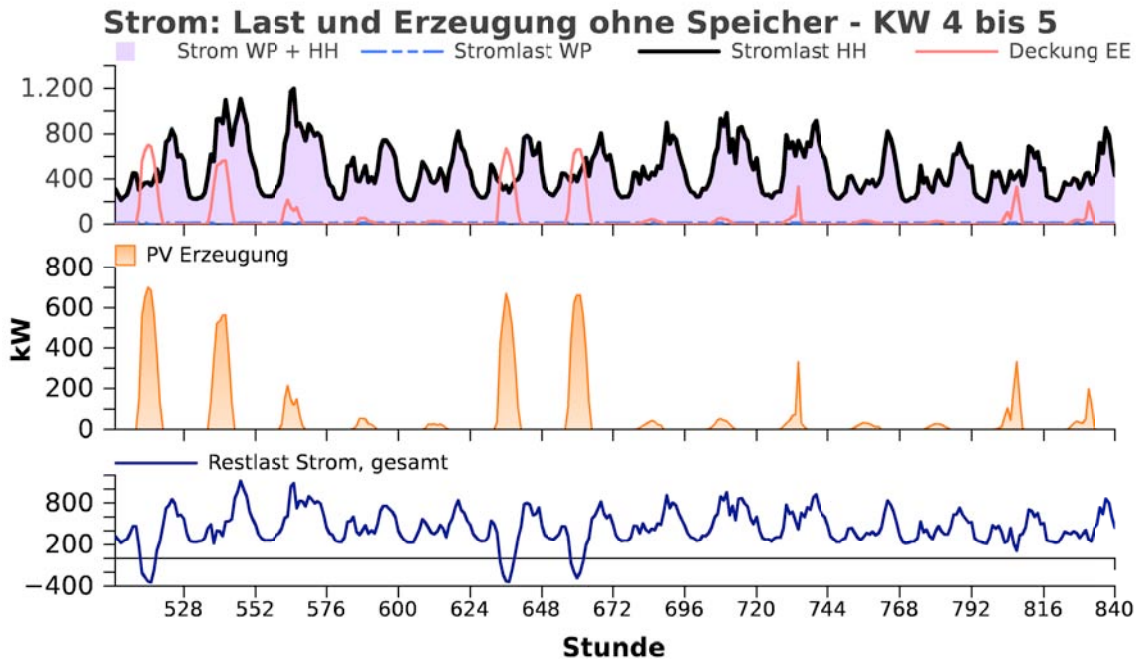


Abbildung 82: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

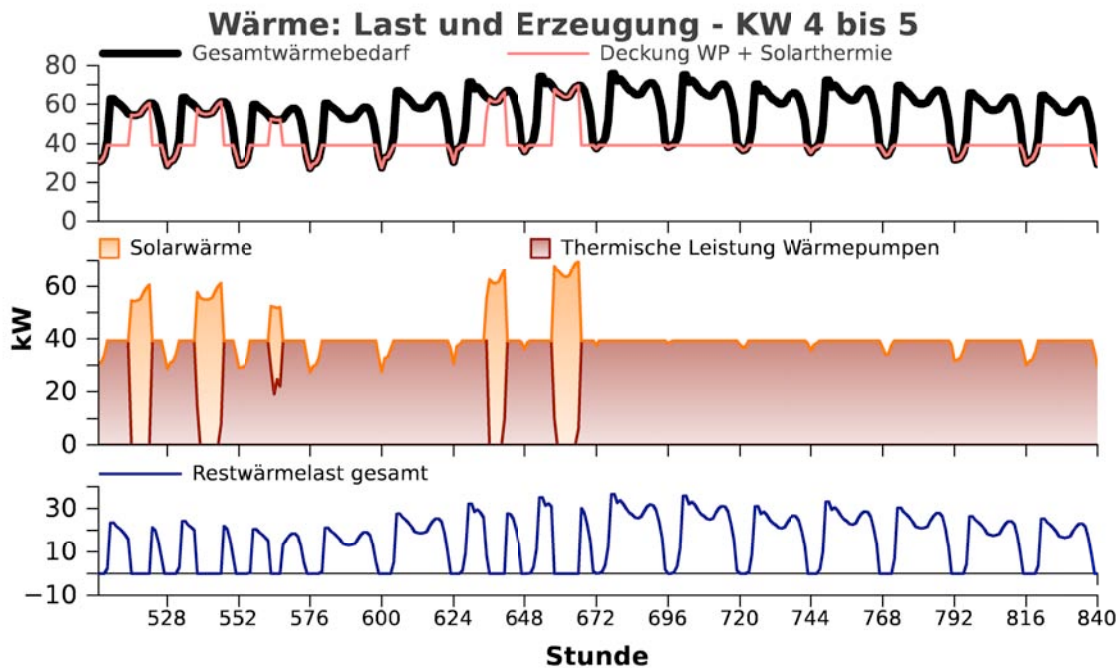


Abbildung 83: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

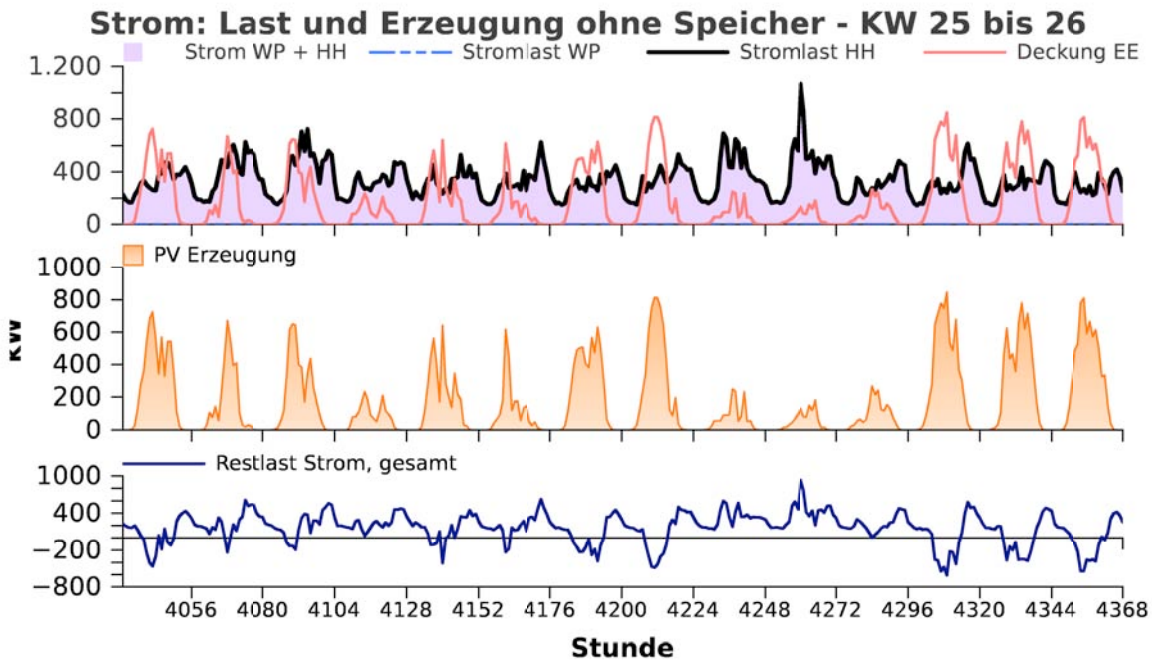


Abbildung 84: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

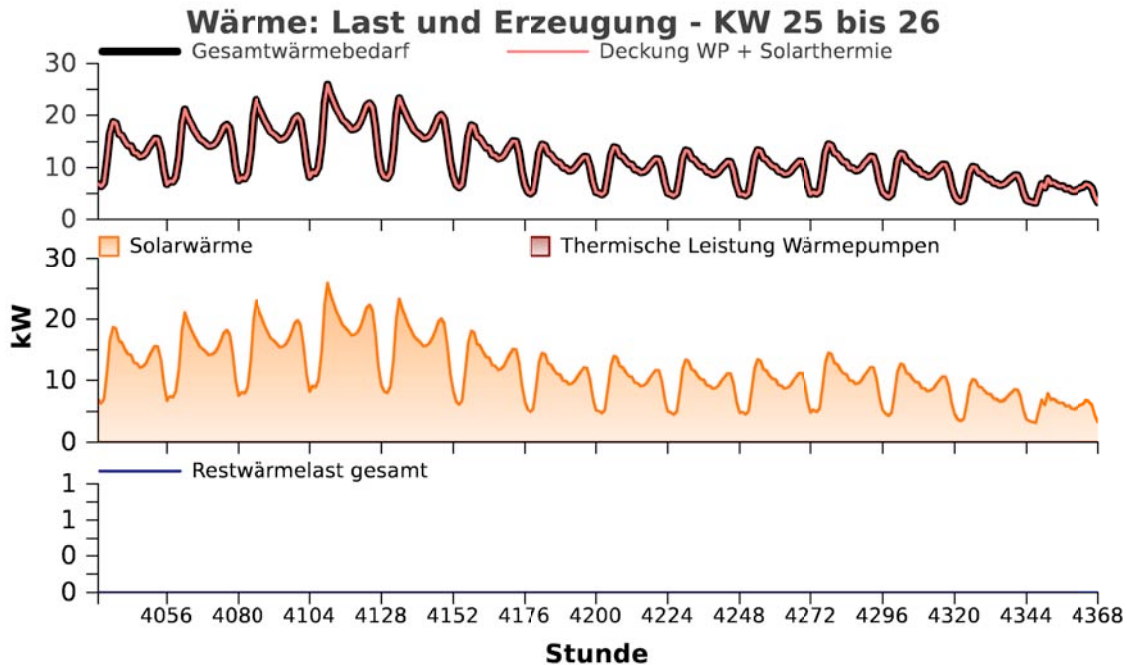


Abbildung 85: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.8 Stadtraumtyp VI (SRT VI): Wohnsiedlungen Sozialer Wohnungsbau 1950er**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 9,47 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 0,67%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 3,03 ha (0,36% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.8.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg ermöglicht der hohe Installationsumfang der Photovoltaik eine Stromerzeugung, die höher ausfällt als der Strombedarf der Haushalte (103%). Durch den Mehrverbrauch aus dem Betrieb der Wärmepumpen fällt die Erzeugung der PV auf etwas unter 100% des Gesamtstrombedarfs ab (91,7%). Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt 6,3% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

WS Soz. Wohnungsbau 1950er	Stromverbrauch SRT	PV- Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	757.500,0	781.934,9	-24.434,9	47.439,7	23.004,8
Anteile in %	100,0%	103,2%	-3,2%	6,3%	2,9%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>103,2%</b>		<b>97,1%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungsüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 35: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil den die PV zur Lastdeckung erbringen kann, einen überaus deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier nur noch einen Deckungsbeitrag von gut 32%, bzw. knapp 31%, wenn auch der Wärmepumpenstrom berücksichtigt wird. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungsüberschüsse liegen bei Werten von etwa 67 bis 71%, je nachdem, ob als Bezugsgröße der Gesamtstrombedarf inklusive Wärmepumpen oder nur der Haushaltsstromverbrauch herangezogen wird.

WS Soz. Wohnungsbau 1950er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	757.500,0	781.934,9	-24.434,9	47.439,7
Anteile in %	100,0%	103,2%	-3,2%	6,3%
Last (Defizit)	757.500,0		513.424,9	558.961,0
Anteile in %	100,0%		67,8%	69,4%
Überschüsse			-537.859,8	-535.956,2
Anteile in %			-71,0%	-66,6%
Lastdeckung (dynamisch)			244.075,1	245.978,8
Deckungsgrad (dynamisch)			32,2%	30,6%

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 36: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungüberschüsse muss elektrische Leistung in beträchtlicher Höhe aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 704 kW und liegt damit deutlich über dem Doppelten der maximalen Bezugslast (287,9 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (277,1 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder mehr als kompensiert wird (289,1 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 37).

WS Soz. Wohnungsbau 1950er	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	287,9	277,1	289,1
minimale Last <sup>1)</sup>	29,7	-703,7	-703,7

- 1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 37: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 2.780 MWh. Hiervon können 980 MWh (gut 35%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 485 MWh (17,5%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit zu knapp 53% gedeckt.

WS Soz. Wohnungsbau 1950er	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
Wärmelast	2.779.526,70	248,70	6,96	100,0%
Solarthermische Wärme	980.387,66	197,00	0,00	35,3%
Restwärmebedarf nach Solarthermie	1.799.139,04	248,70	0,00	64,7%
Wärmebeitrag aus Wärmepumpen	485.327,77	31,86	0,00	17,5%
Verbleibender Wärmebedarf	1.313.811,27	216,84	0,00	47,3%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>1.465.715,43</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>52,7%</b>

Tabelle 38: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

### 7.2.8.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

#### 7.2.8.2.1 Strom

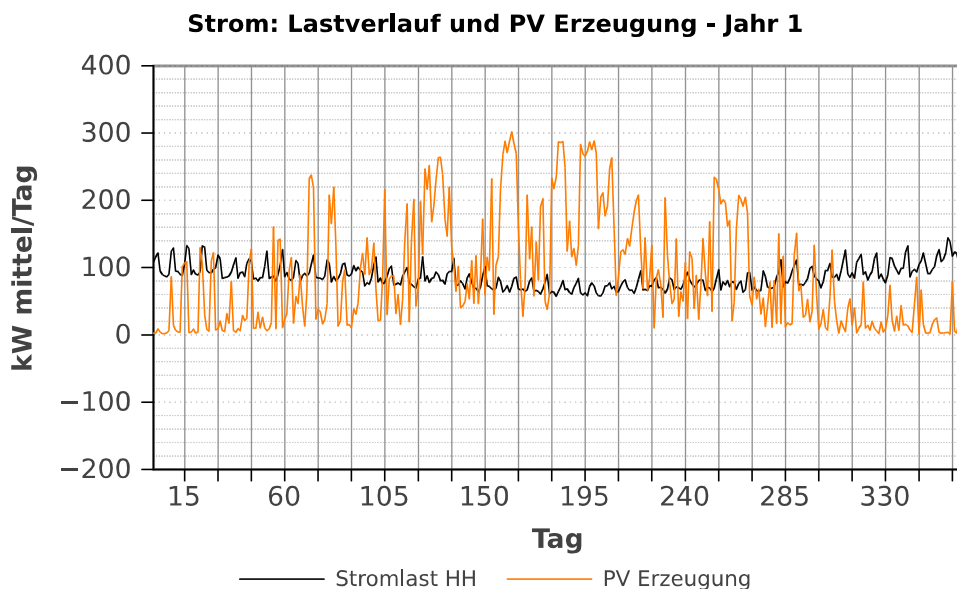


Abbildung 86: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

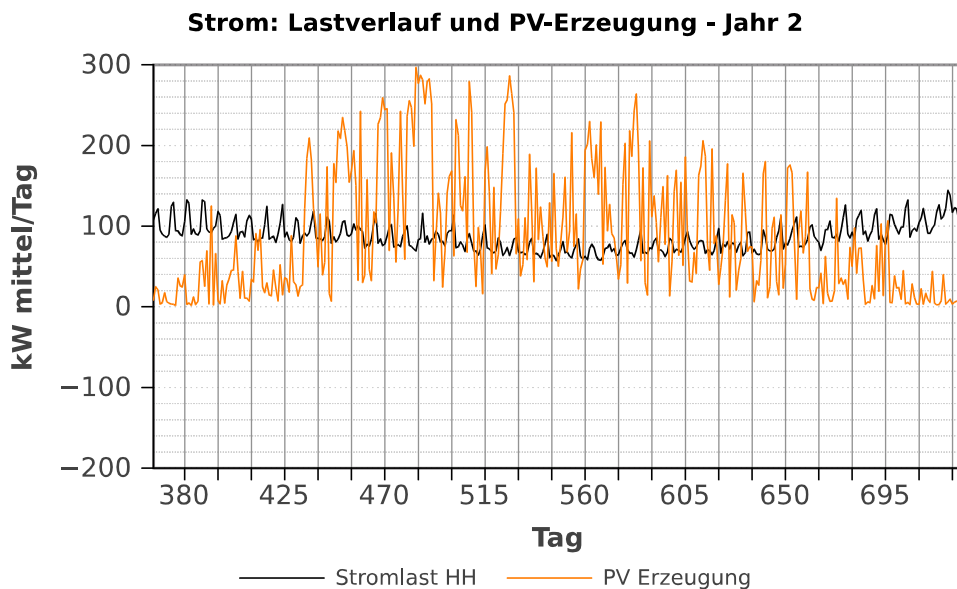


Abbildung 87: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

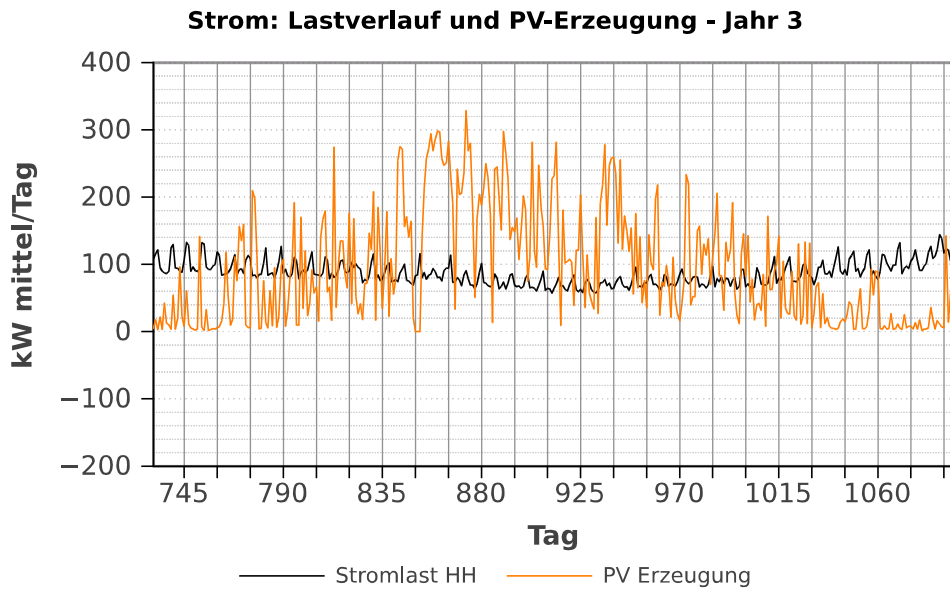


Abbildung 88: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

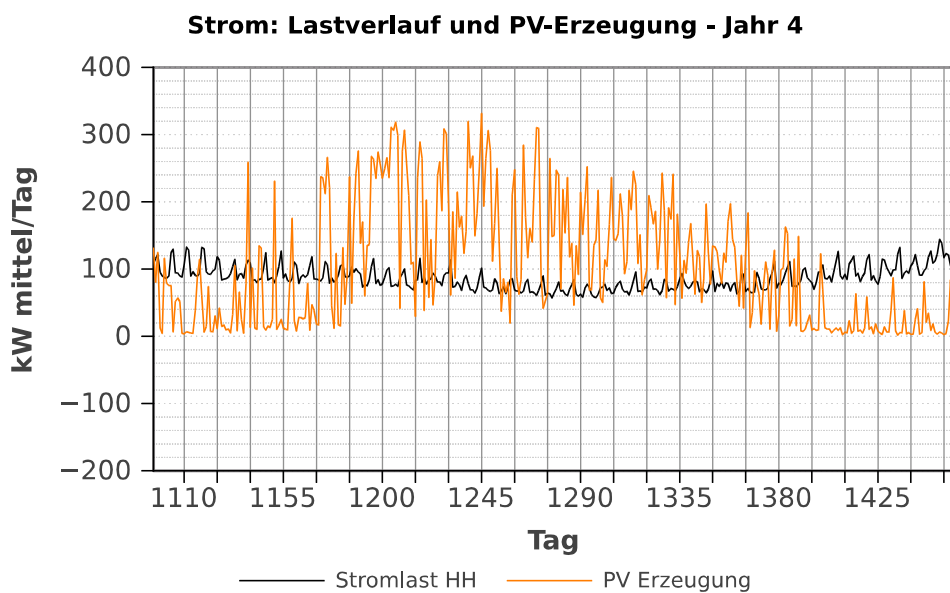
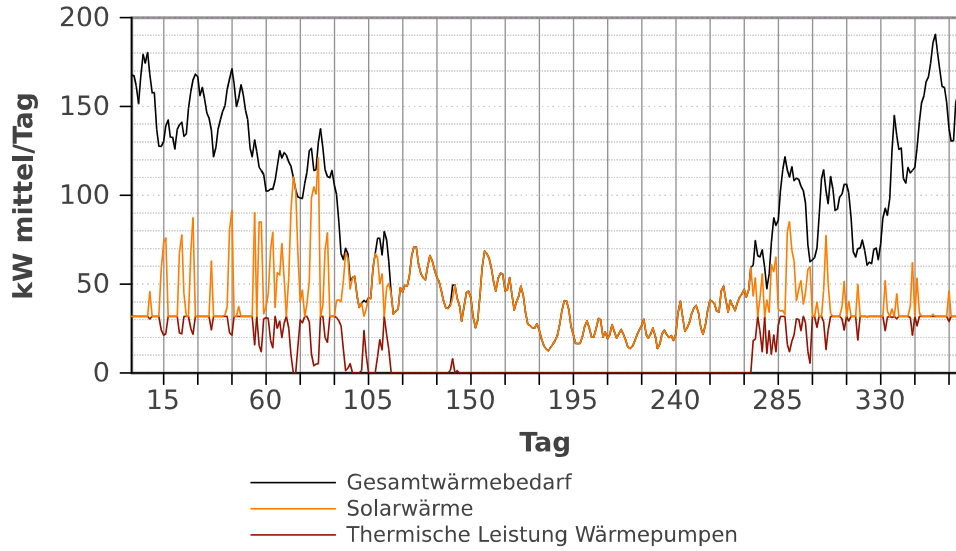


Abbildung 89: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

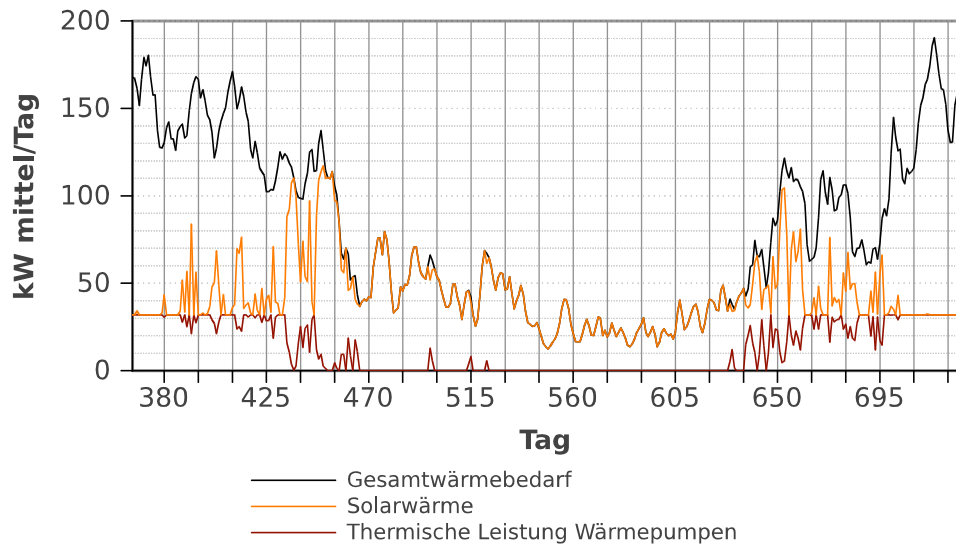
7.2.8.2.2 Wärme

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag- Jahr 1**



**Abbildung 90: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 2**



**Abbildung 91: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**



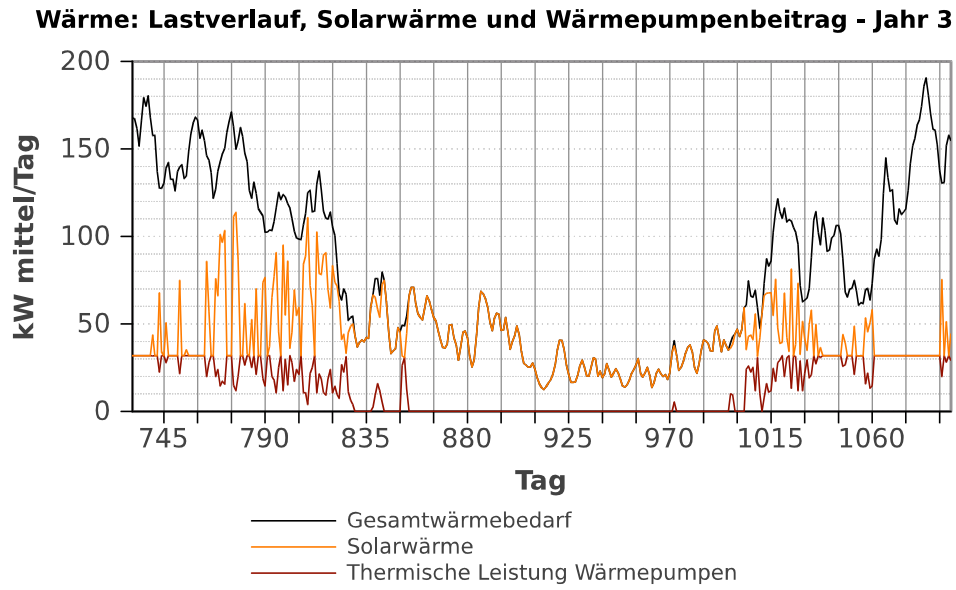


Abbildung 92: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

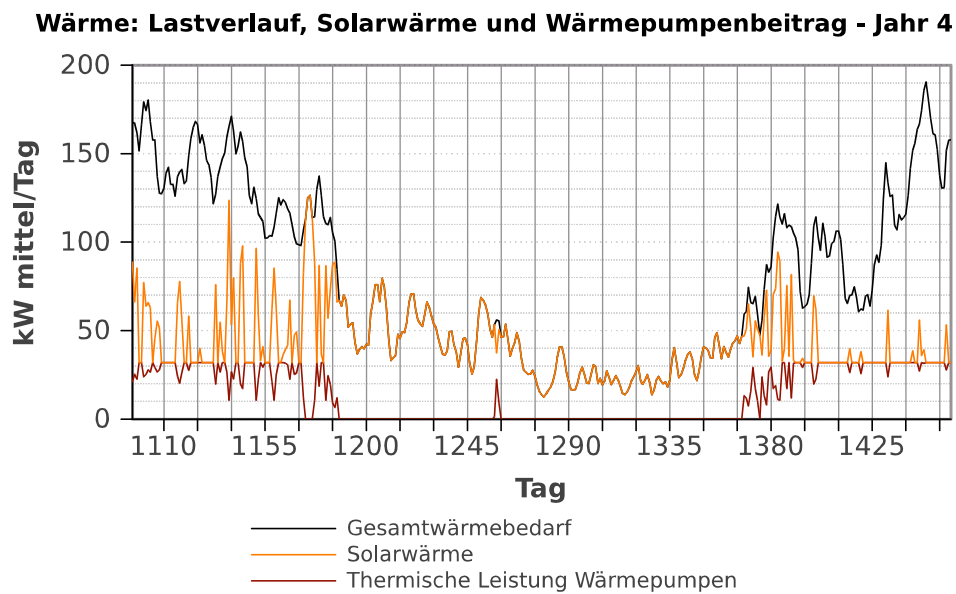


Abbildung 93: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.8.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

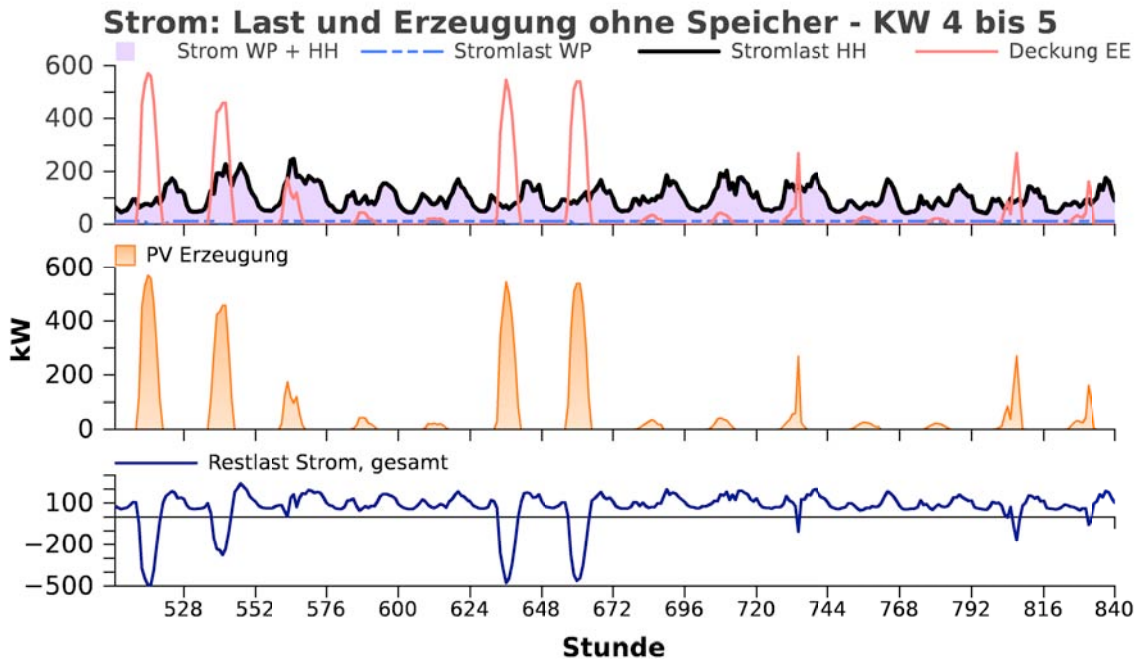


Abbildung 94: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

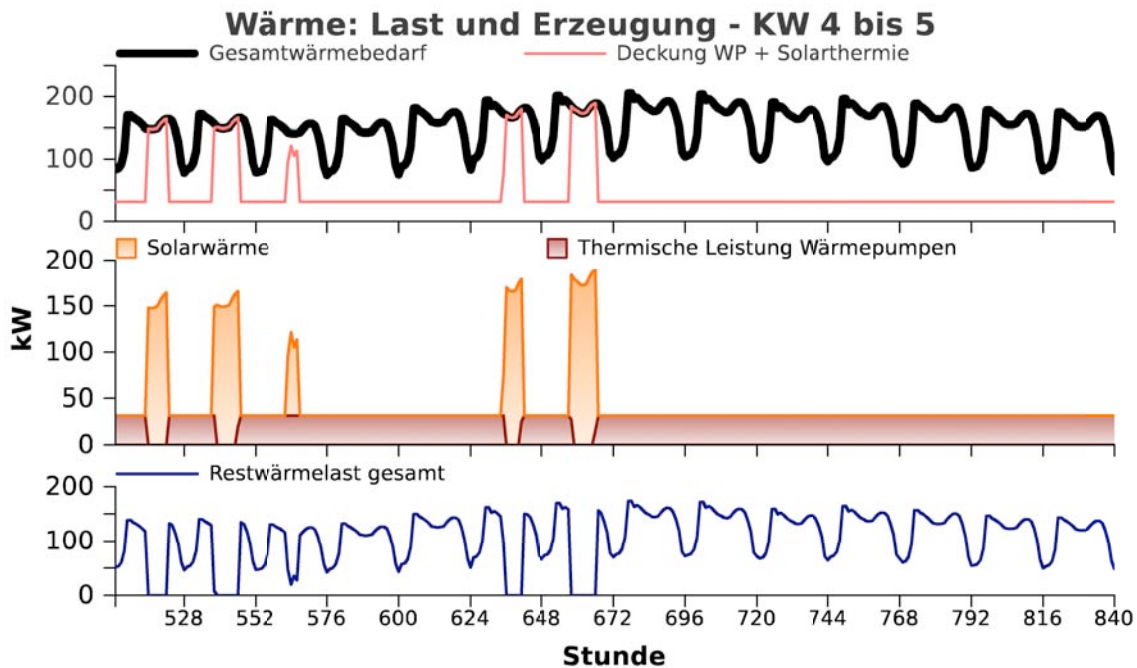


Abbildung 95: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

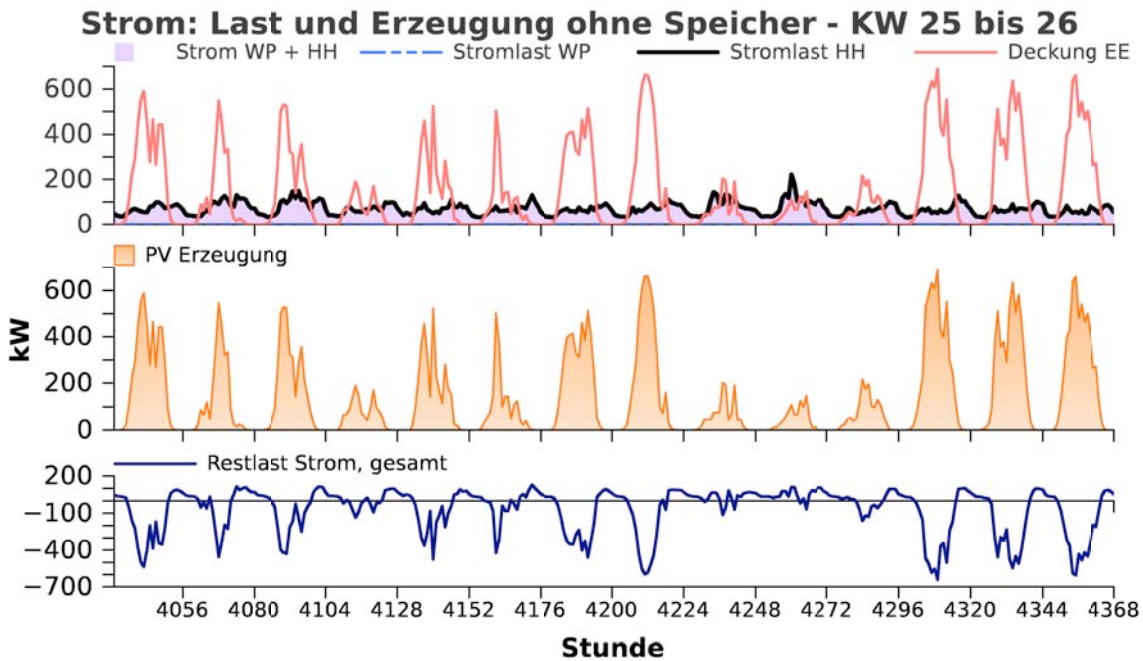


Abbildung 96: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

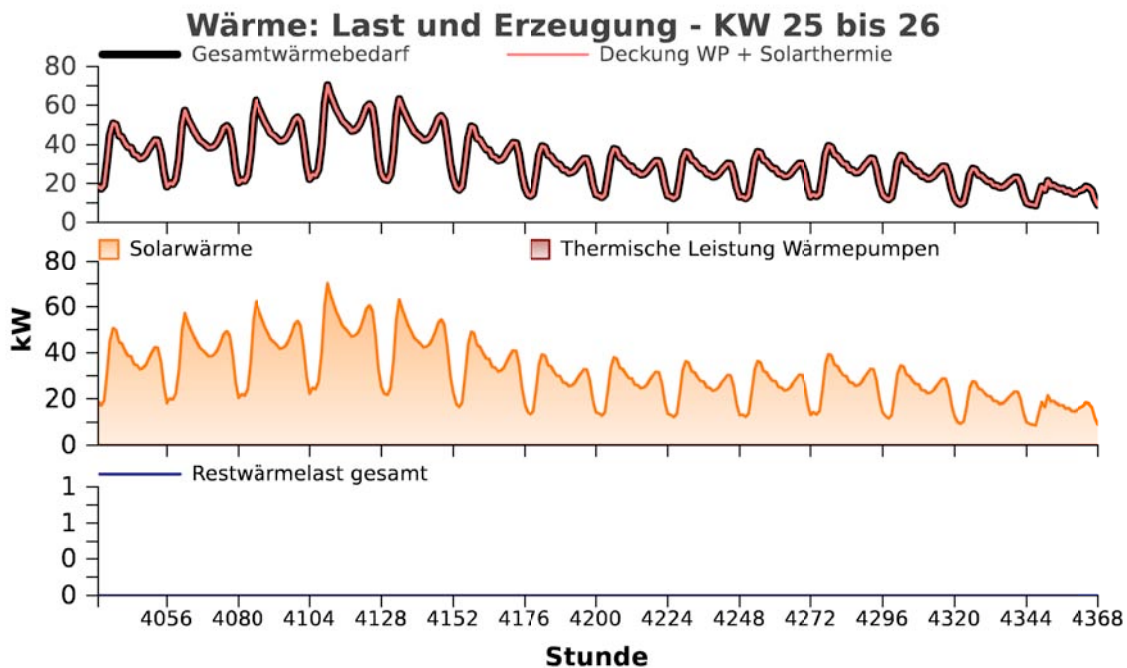


Abbildung 97: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.9 Stadtraumtyp VII (SRT VII): Hochhauswohnsiedlungen 70er Platte NBL 1970er**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 28,77 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 2,05%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 23,07 ha (2,73% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.9.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg ermöglicht der recht hohe Installationsumfang der Photovoltaik eine Stromerzeugung, die 62,5% des Stromverbrauchs der Haushalte ausmacht. Durch den geringen Mehrverbrauch aus dem Betrieb der Wärmepumpen fällt die Erzeugung der PV nur geringfügig, auf etwa 62,1% des Gesamtstrombedarfs ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt lediglich 0,6% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

HH WS 70er Platte NBL 1970er	Stromverbrauch SRT	PV- Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	5.075.400,0	3.171.695,7	1.903.704,3	31.732,7	1.935.437,0
Anteile in %	100,0%	62,5%	37,5%	0,6%	37,9%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>62,5%</b>		<b>62,1%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 39: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil den die PV zur Lastdeckung erbringen kann, einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier nur noch einen Deckungsbeitrag von knapp 28%. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei Werten von knapp 35%.

HH WS 70er Platte NBL 1970er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	5.075.400,0	3.171.695,7	1.903.704,3	31.732,7
Anteile in %	100,0%	62,5%	37,5%	0,6%
Last (Defizit)	5.075.400,0		3.668.166,7	3.699.142,0
Anteile in %	100,0%		72,3%	72,4%
Überschüsse			-1.764.462,4	-1.763.705,0
Anteile in %			-34,8%	-34,5%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>1.407.233,3</b>	<b>1.407.990,7</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>27,7%</b>	<b>27,6%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 40: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungüberschüsse muss elektrische Leistung in beträchtlicher Höhe aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des

Stromexports bei ca. 2.668 kW und liegt damit deutlich über der maximalen Bezugslast der Haushalte(1.929 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (1.875 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen nur geringfügig wieder mehr ansteigt (1.883 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 41).

HH WS 70er Platte NBL 1970er	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	1.928,8	1.874,8	1.882,8
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	199,2	-2.668,2	-2.668,2

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 41: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 1.130 MWh. Hiervon können 374 MWh (gut 33%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 84 MWh (7,5%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit zu knapp 41% gedeckt.

HH WS 70er Platte NBL 1970er	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
<b>Wärmelast</b>	<b>1.129.784,04</b>	404,34	11,31	100,0%
<b>Solarthermische Wärme</b>	<b>373.843,00</b>	315,14	0,00	33,1%
<b>Restwärmebedarf nach Solarthermie</b>	<b>755.941,04</b>	404,34	0,00	66,9%
<b>Wärmebeitrag aus Wärmepumpen</b>	<b>84.409,00</b>	21,17	0,00	7,5%
<b>Verbleibender Wärmebedarf</b>	<b>671.532,04</b>	383,17	0,00	59,4%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>458.252,00</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>40,6%</b>

Tabelle 42: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.9.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.9.2.1 Strom

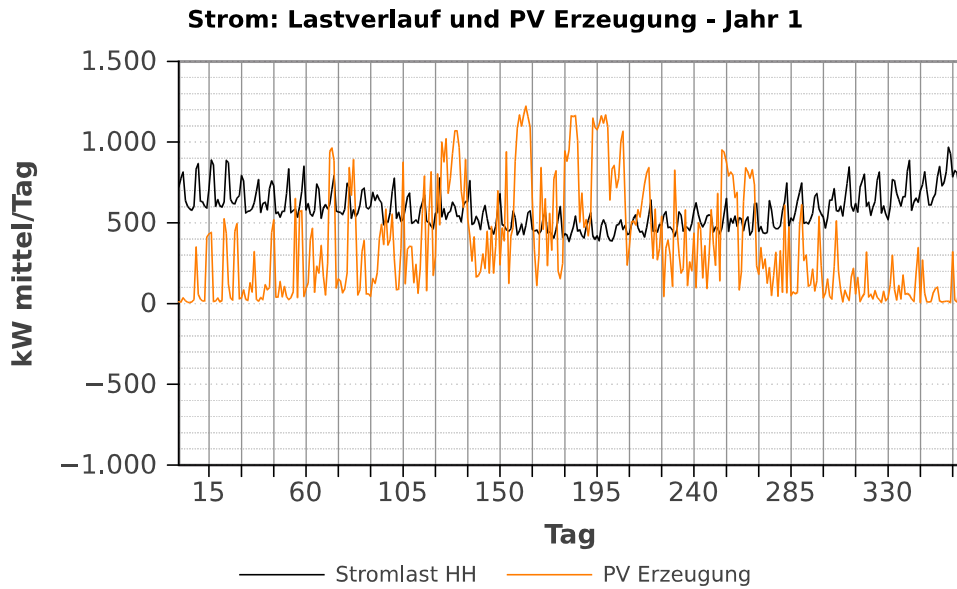


Abbildung 98: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

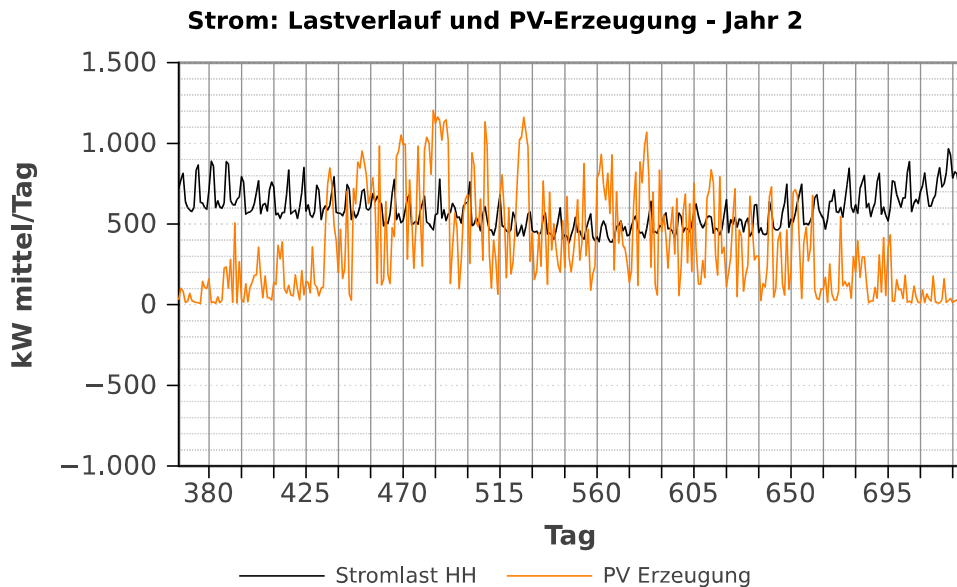


Abbildung 99: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

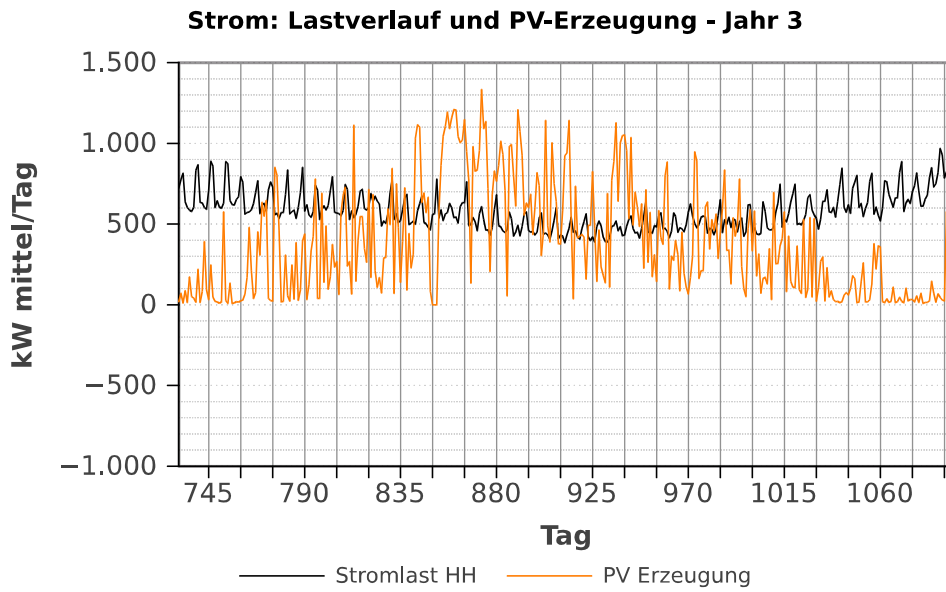


Abbildung 100: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

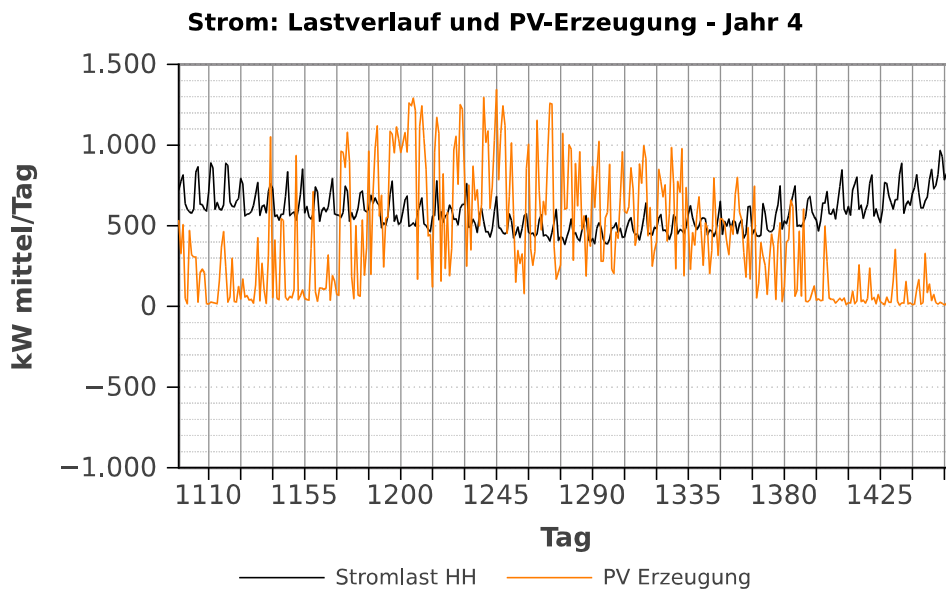


Abbildung 101: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.9.2.2 Wärme

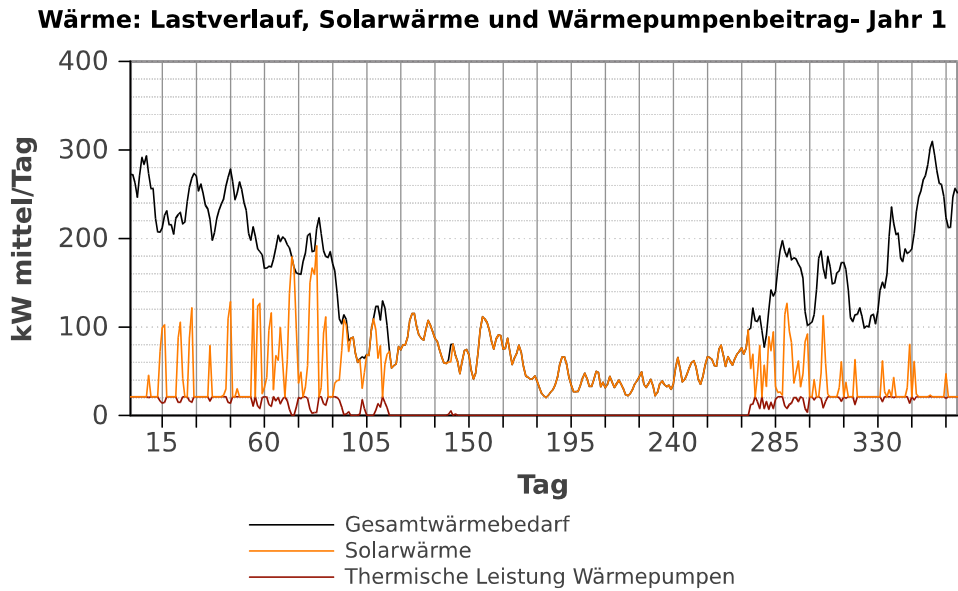


Abbildung 102: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

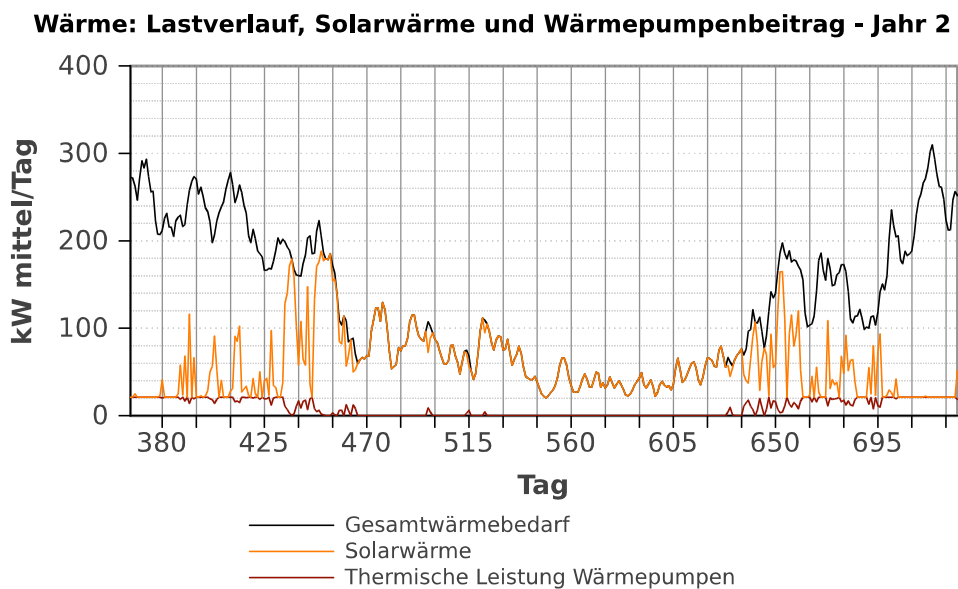


Abbildung 103: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.



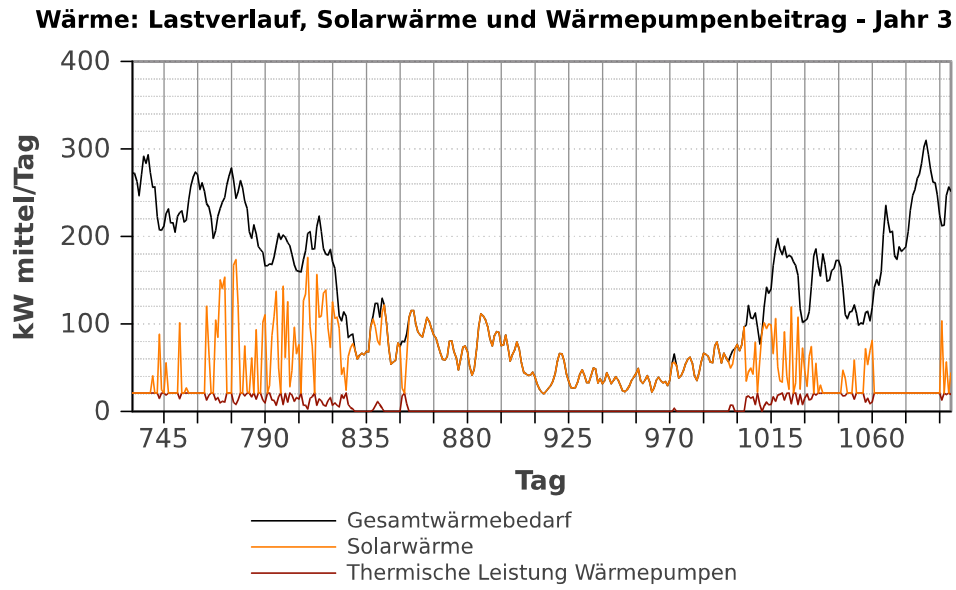


Abbildung 104: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

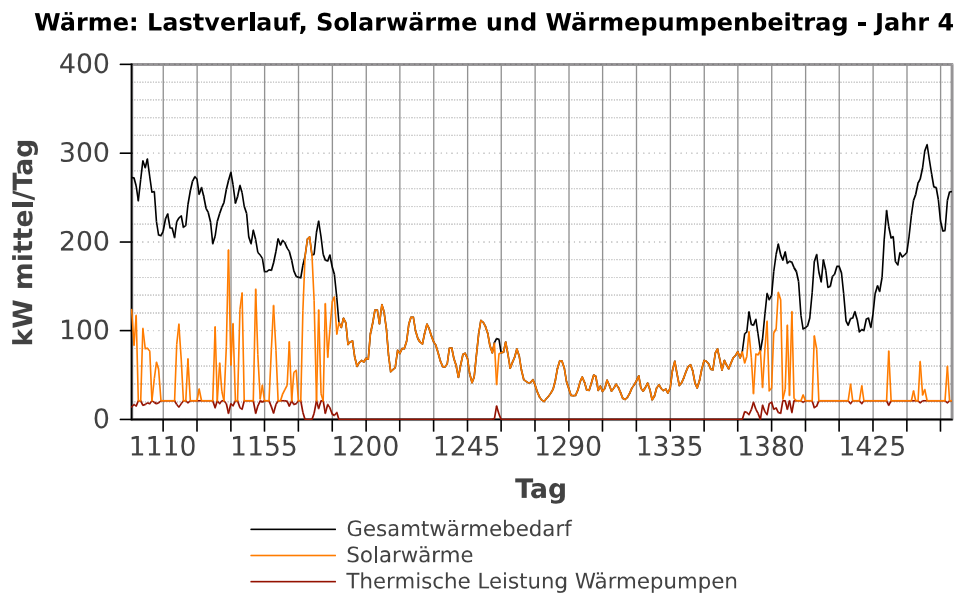


Abbildung 105: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.9.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

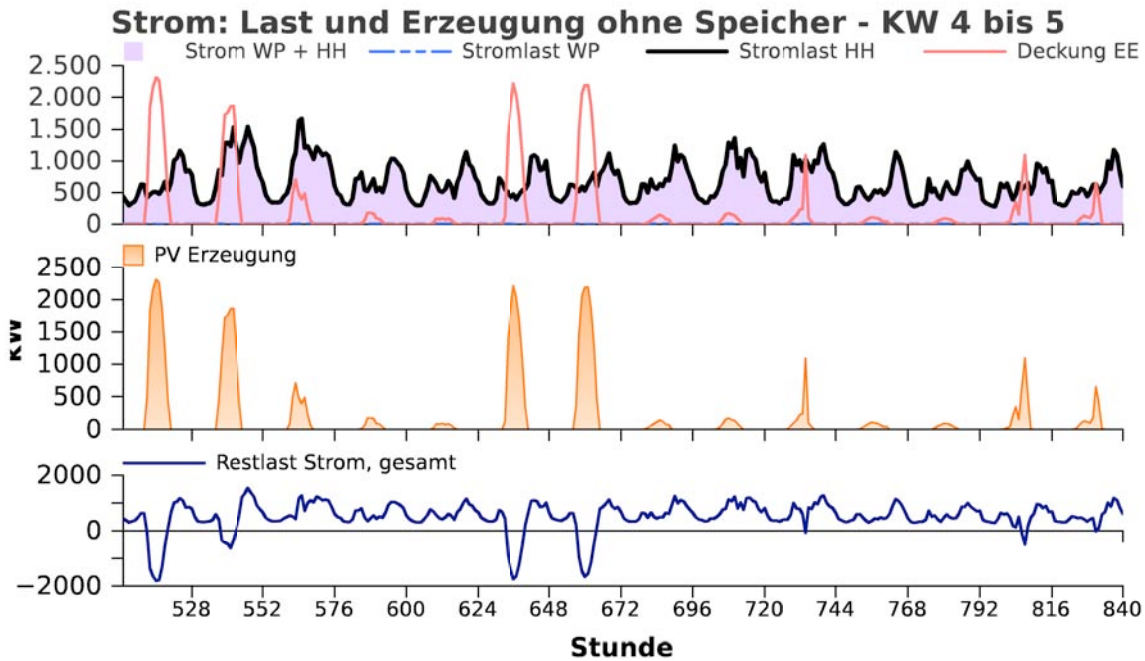


Abbildung 106: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

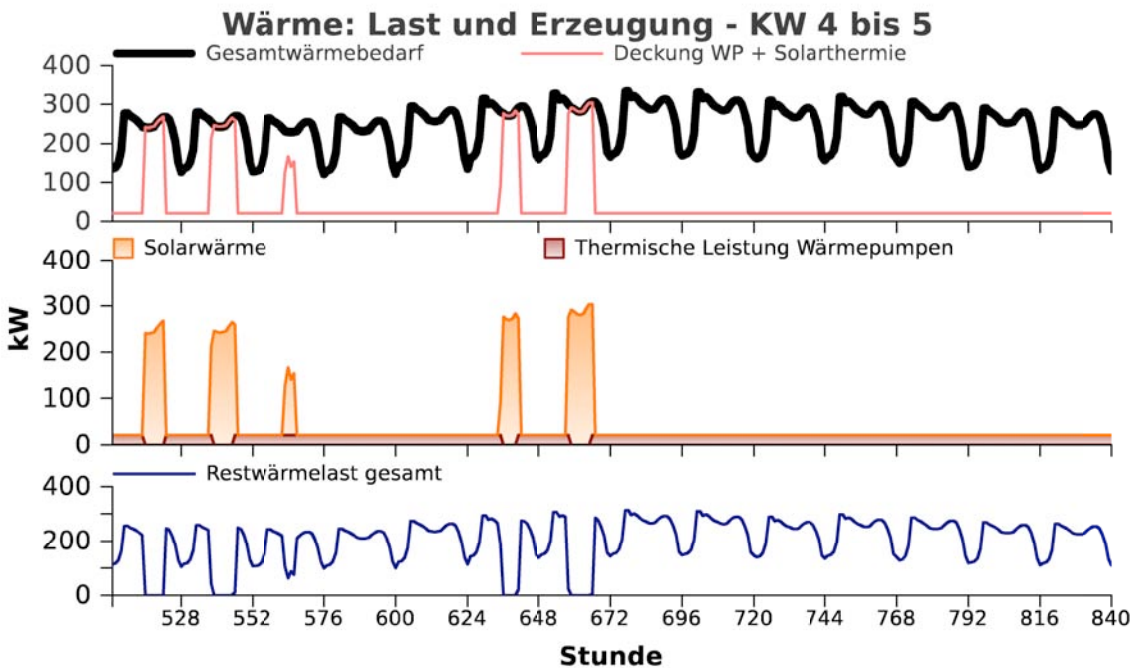


Abbildung 107: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

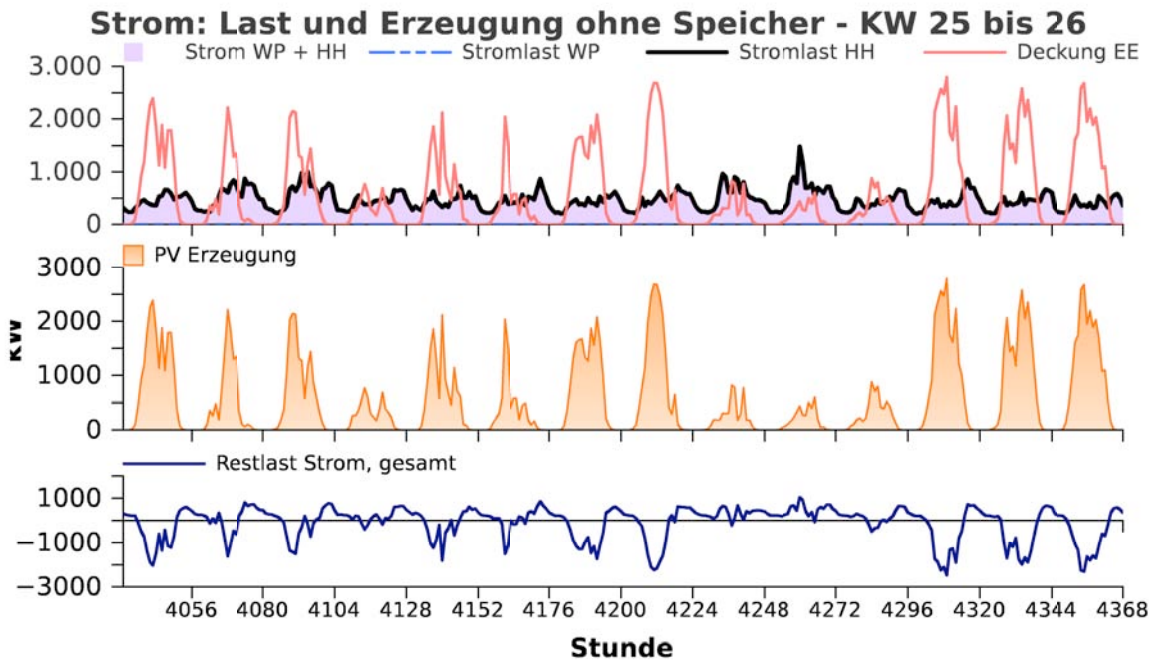


Abbildung 108: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

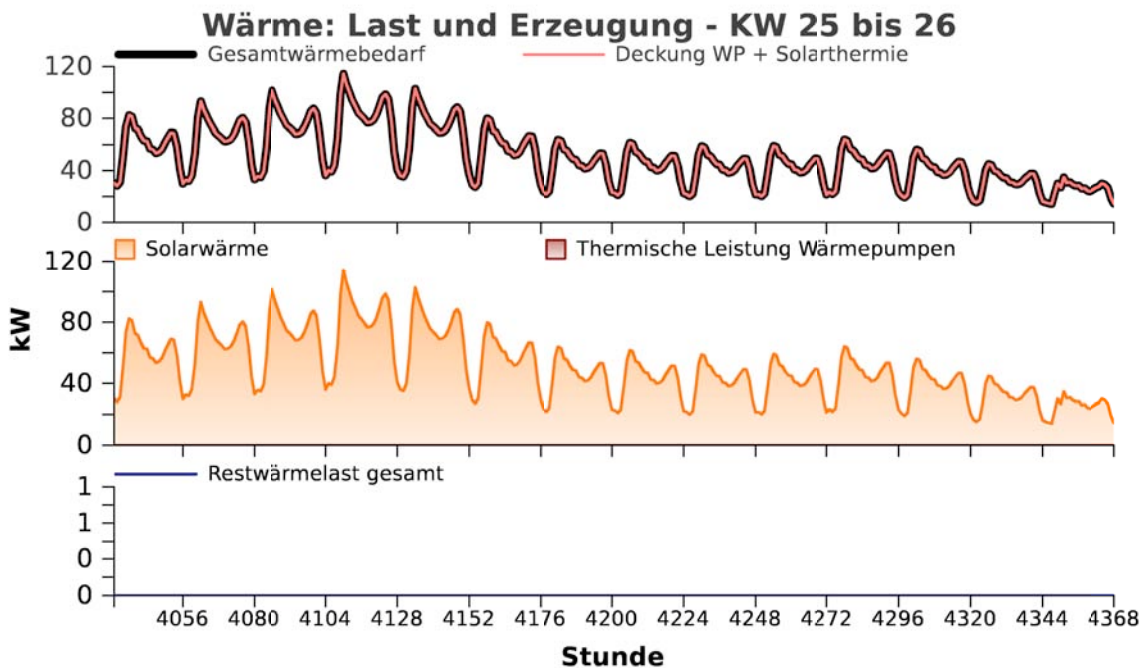


Abbildung 109: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.10 Stadtraumtyp Villa (SRT Villa): Geschosswohnungsbau 1960-80er**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 34,09 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 2,42%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 16,88 ha (2,0% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.10.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg ermöglicht der recht hohe Installationsumfang der Photovoltaik eine Stromerzeugung, die etwas mehr als zwei Drittel des Strombedarfs der Haushalte beträgt (gut 69%). Durch den Mehrverbrauch aus dem Betrieb der Wärmepumpen fällt die Erzeugung der PV leicht auf 68,4% des Gesamtstrombedarfs ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt lediglich 1,1% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Geschosswohnungsbau 1960-80er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	14.178.844,0	9.807.658,8	4.371.185,2	162.619,1	4.533.804,3
Anteile in %	100,0%	69,2%	30,8%	1,1%	31,6%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>69,2%</b>		<b>68,4%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 43: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil den die PV zur Lastdeckung erbringen kann, einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier nur noch einen Deckungsbeitrag von knapp 29%, bzw. 28,5%, wenn auch der Wärmepumpenstrom berücksichtigt wird. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei Werten von 40% des Strombedarfs.

Geschosswohnungsbau 1960-80er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	14.178.844,0	9.807.658,8	4.371.185,2	162.619,1
Anteile in %	100,0%	69,2%	30,8%	1,1%
Last (Defizit)	14.178.844,0		10.091.653,2	10.249.836,4
Anteile in %	100,0%		71,2%	71,5%
Überschüsse			-5.720.468,0	-5.716.032,1
Anteile in %			-40,3%	-39,9%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>4.087.190,9</b>	<b>4.091.626,7</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>28,8%</b>	<b>28,5%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 44: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung in beträchtlicher Höhe aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 2.701 kW und liegt damit etwa beim Doppelten des Werts der maximalen Bezugslast der Haushalte (1.347 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (1.308 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder geringfügig erhöht wird (1.319 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 45).

Geschosswohnungsbau 1960-80er	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	1.347,1	1.308,4	1.319,0
minimale Last <sup>1)</sup>	139,1	-2.700,9	-2.700,9

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 45: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 9.875 MWh. Hiervon können 3.484 MWh (gut 35%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 433 MWh (4,4%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit zu knapp 40% gedeckt.

Geschosswohnungsbau 1960-80er	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
Wärmelast	9.874.898,80	883,56	24,72	100,0%
Solarthermische Wärme	3.483.598,95	699,87	0,00	35,3%
Restwärmebedarf nach Solarthermie	6.391.299,85	883,56	0,00	64,7%
Wärmebeitrag aus Wärmepumpen	432.566,70	28,21	0,00	4,4%
Verbleibender Wärmebedarf	5.958.733,15	855,35	0,00	60,3%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>3.916.165,65</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>39,7%</b>

Tabelle 46: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.10.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.10.2.1 Strom

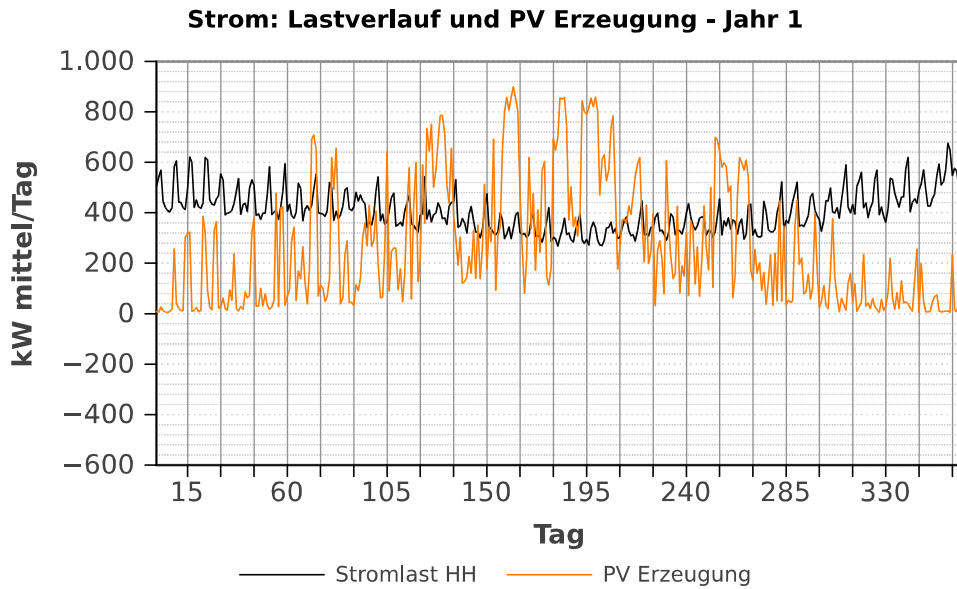


Abbildung 110: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

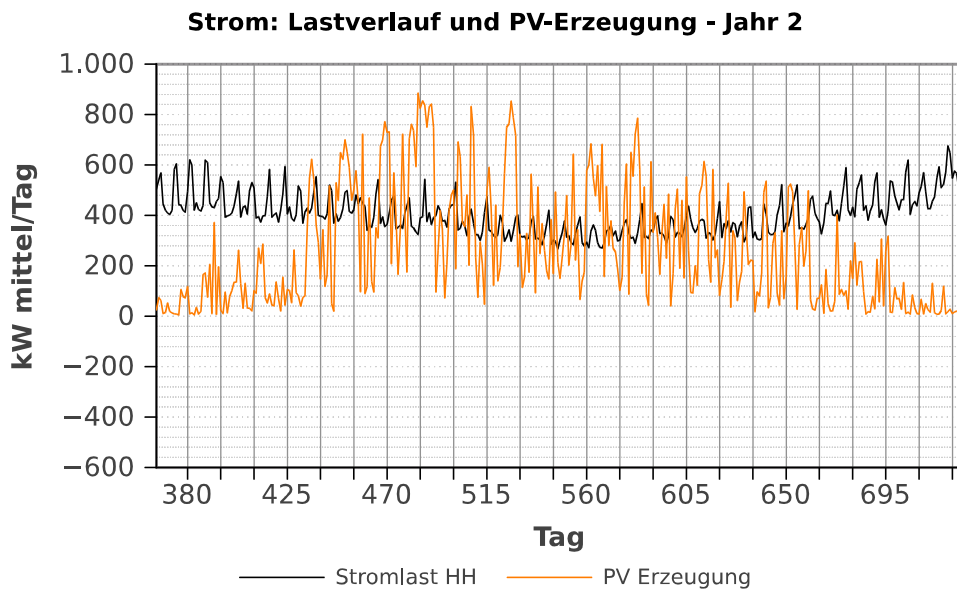


Abbildung 111: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

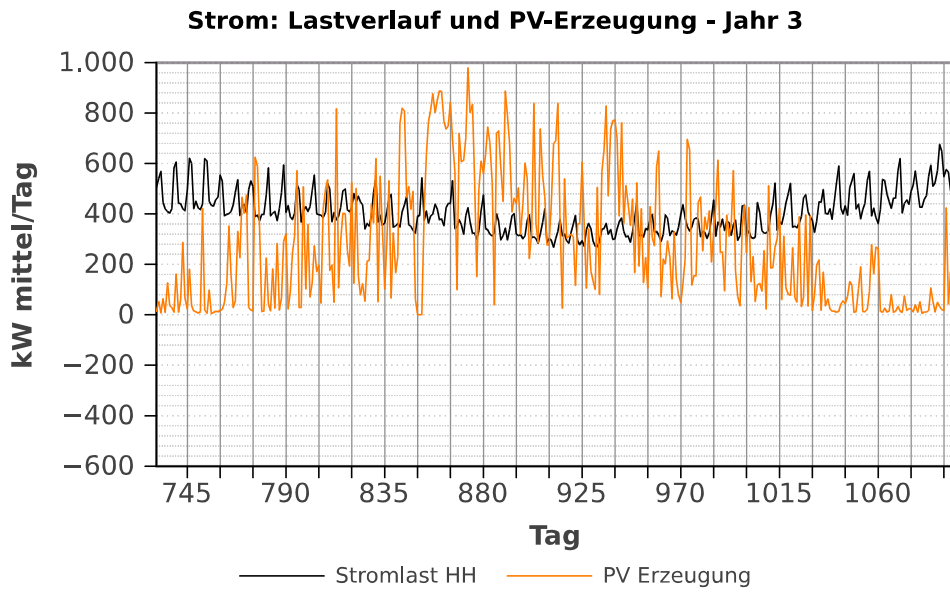


Abbildung 112: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

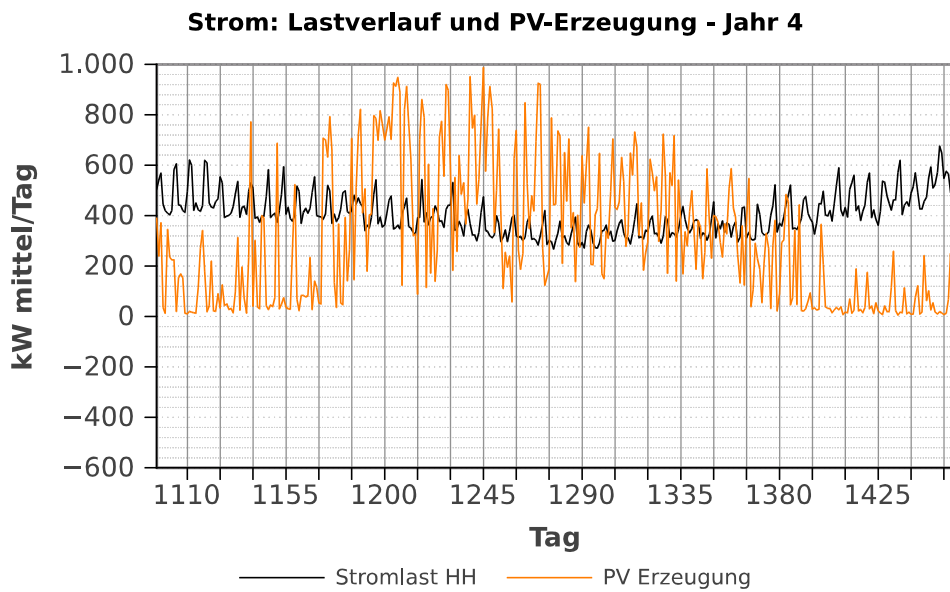
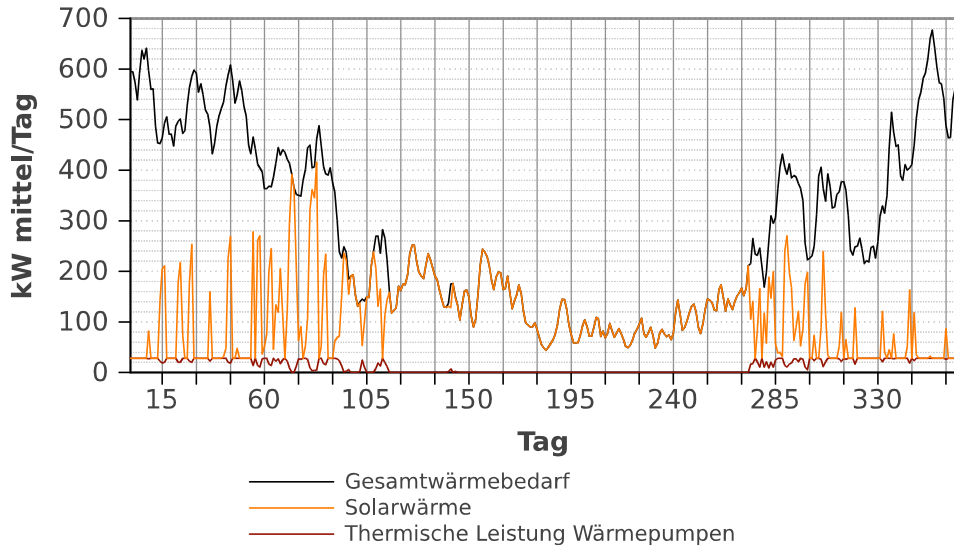


Abbildung 113: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

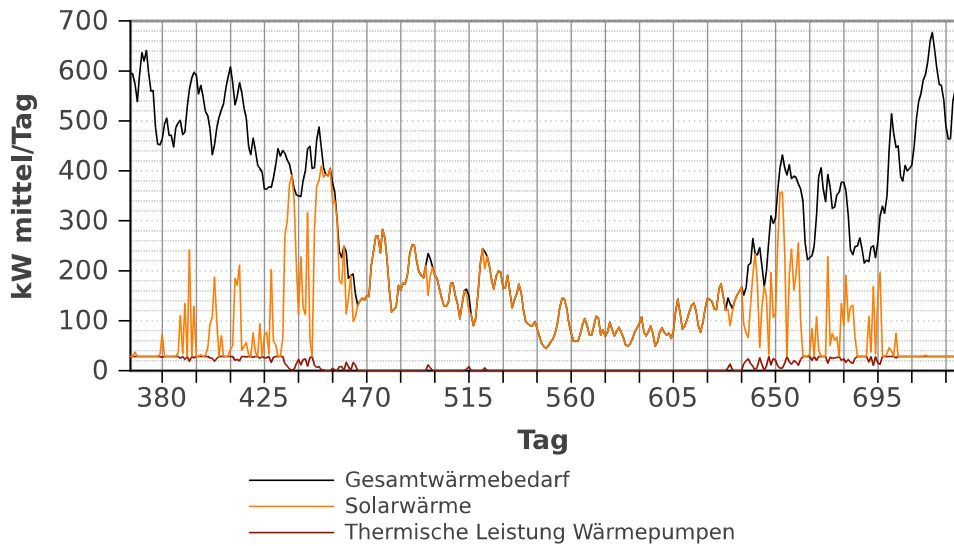
7.2.10.2.2 Wärme

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag- Jahr 1**



**Abbildung 114: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 2**



**Abbildung 115: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**



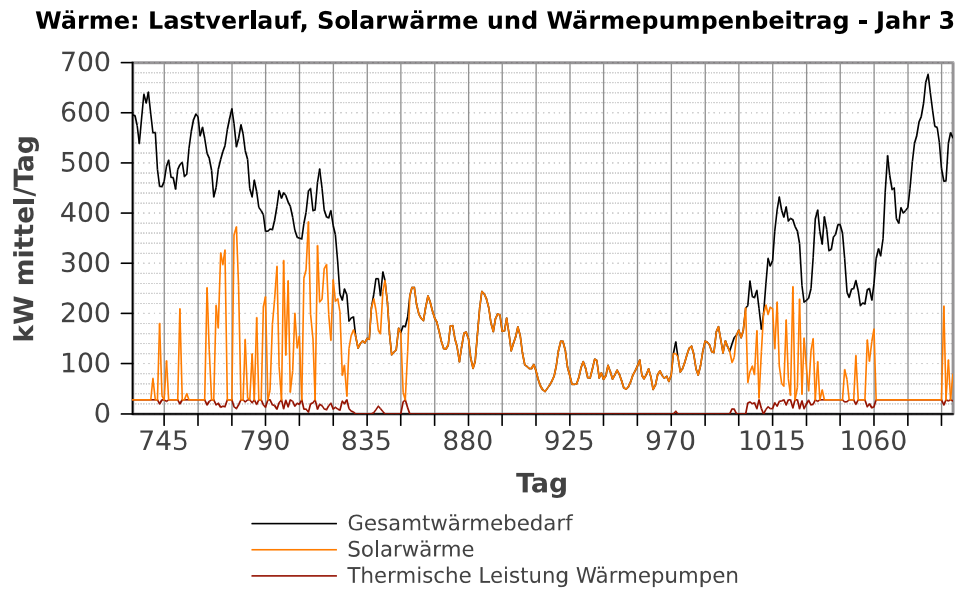


Abbildung 116: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

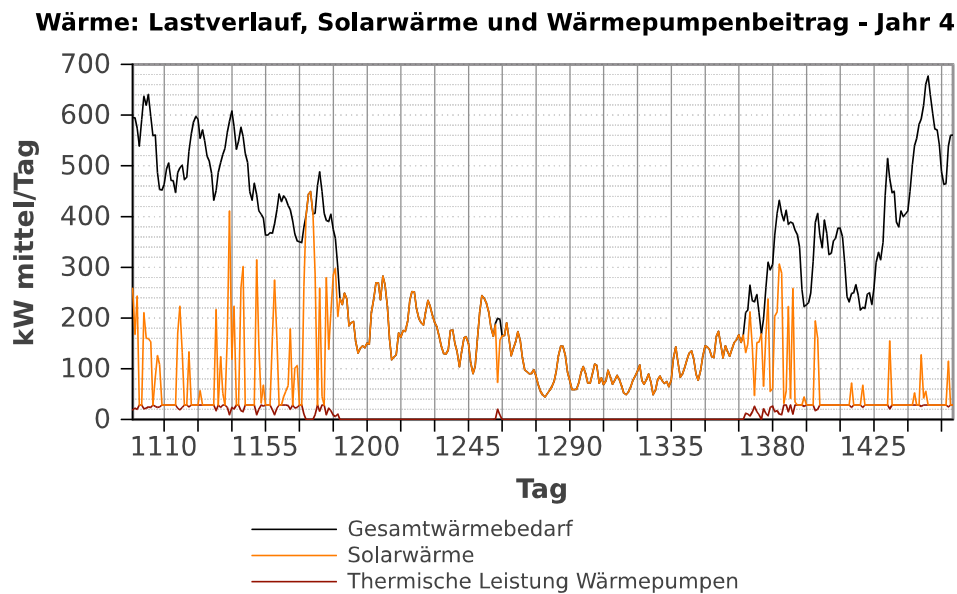


Abbildung 117: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.10.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

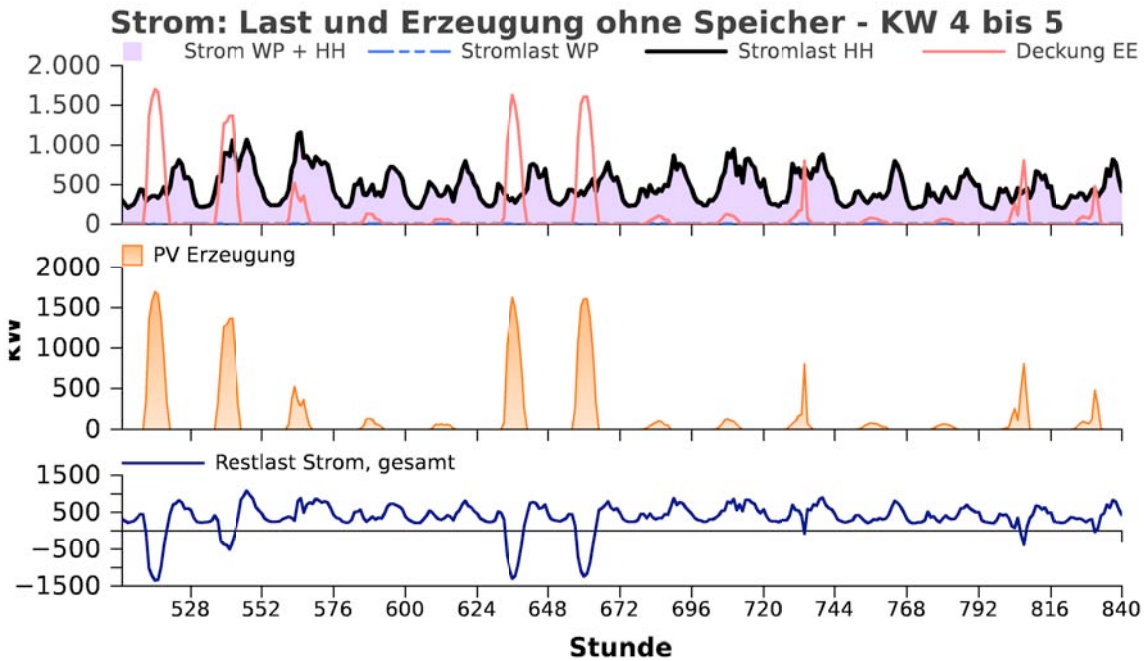


Abbildung 118: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

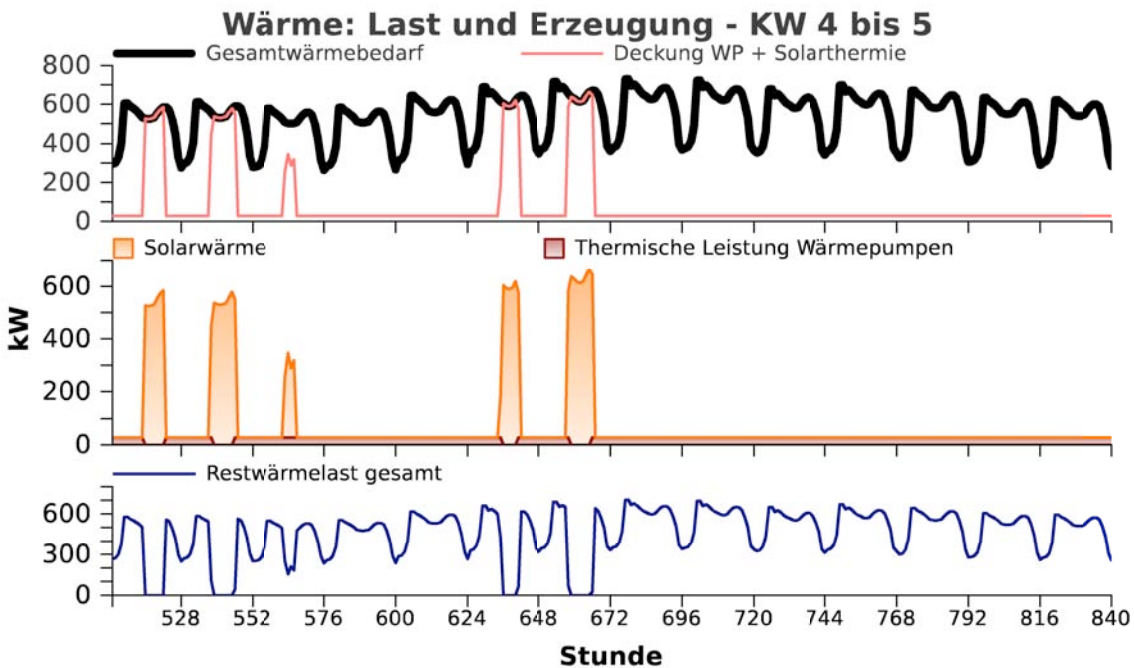


Abbildung 119: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

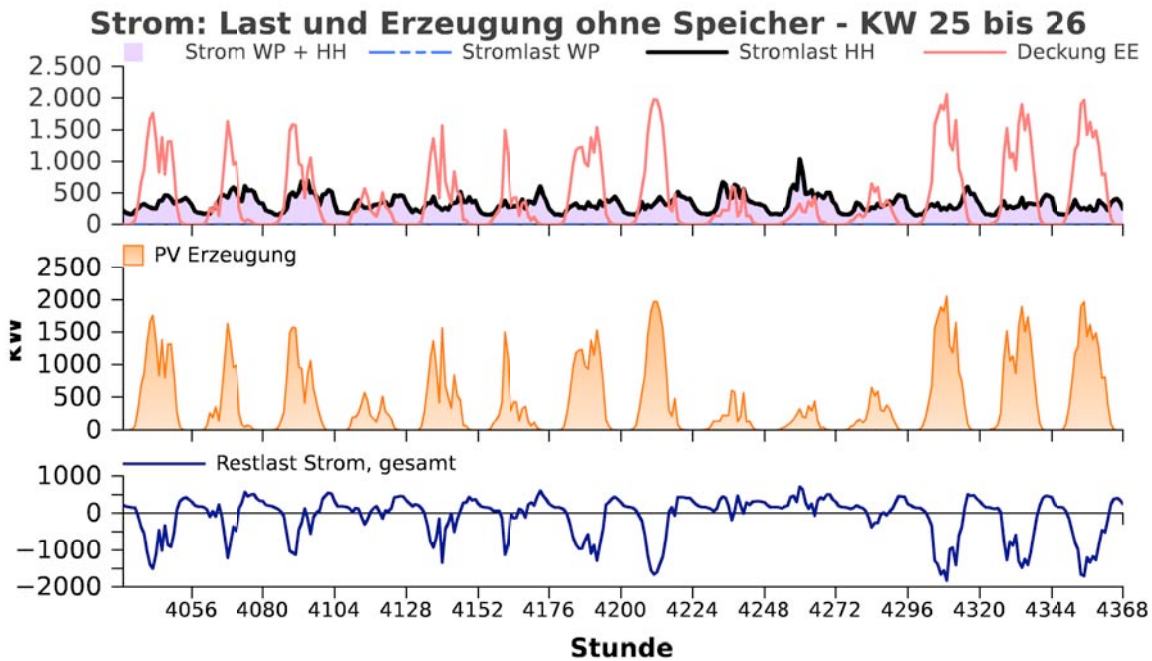


Abbildung 120: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

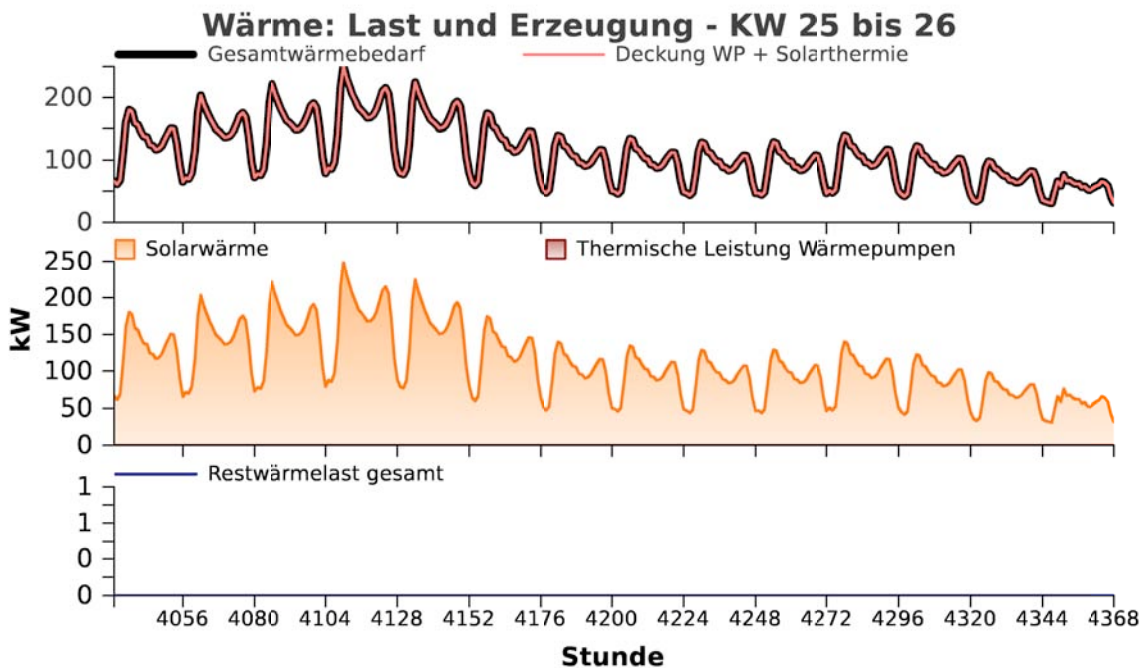


Abbildung 121: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.11 Stadtraumtyp VIIIb (SRTVIIIb): Geschosswohnungsbau 1990er**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 1,4 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 0,1%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 0,72 ha (0,1% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.11.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg ermöglicht der recht hohe Installationsumfang der Photovoltaik eine Stromerzeugung, die etwa drei Viertel des Strombedarfs der Haushalte beträgt (knapp 75%). Durch den Mehrverbrauch aus dem Betrieb der Wärmepumpen fällt die Erzeugung der PV leicht auf knapp 74% des Gesamtstrombedarfs ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt lediglich 1,6% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Geschosswohnungsbau 1990er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	604.784,8	452.661,2	152.123,6	9.457,7	161.581,3
Anteile in %	100,0%	74,8%	25,2%	1,6%	26,3%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>74,8%</b>		<b>73,7%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 47: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier nur noch einen Deckungsbeitrag von knapp 30%, bzw. 29,1%, wenn auch der Wärmepumpenstrom berücksichtigt wird. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei Werten von um die 45% des Strombedarfs.

Geschosswohnungsbau 1990er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	604.784,8	452.661,2	152.123,6	9.457,7
Anteile in %	100,0%	74,8%	25,2%	1,6%
Last (Defizit)	604.784,8		426.412,0	435.614,1
Anteile in %	100,0%		70,5%	70,9%
Überschüsse			-274.288,4	-274.032,7
Anteile in %			-45,4%	-44,6%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>178.372,8</b>	<b>178.628,5</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>29,5%</b>	<b>29,1%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 48: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 126 kW und liegt damit bei mehr als dem Doppelten des Werts der maximalen Bezugslast der Haushalte (57,5 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (55,7 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder geringfügig erhöht wird (56,6 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 49).

Geschosswohnungsbau 1990er	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	57,5	55,7	56,6
minimale Last <sup>1)</sup>	5,9	-125,9	-125,9

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 49: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 38 MWh. Hiervon können 13 MWh (knapp 35%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 25 MWh (ca. 65%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit komplett gedeckt.

Geschosswohnungsbau 1990er	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
Wärmelast	38.562,00	3,45	0,10	100,0%
Solarthermische Wärme	13.404,46	2,73	0,00	34,8%
Restwärmebedarf nach Solarthermie	25.157,54	3,45	0,00	65,2%
Wärmebeitrag aus Wärmepumpen	25.157,54	3,45	0,00	65,2%
Verbleibender Wärmebedarf	0,00	0,00	0,00	0,0%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>38.562,00</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>100,0%</b>

Tabelle 50: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.11.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.11.2.1 Strom

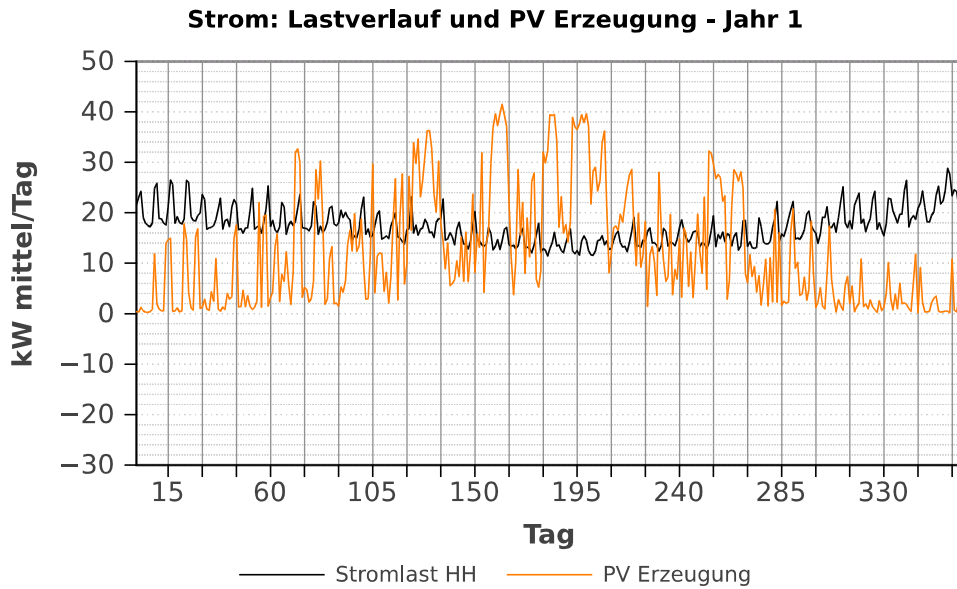


Abbildung 122: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

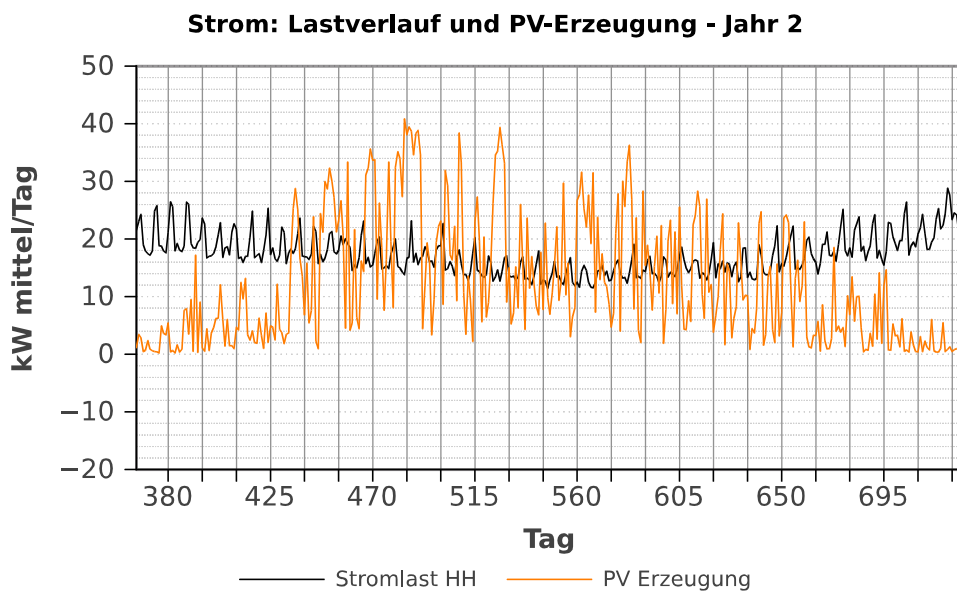


Abbildung 123: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

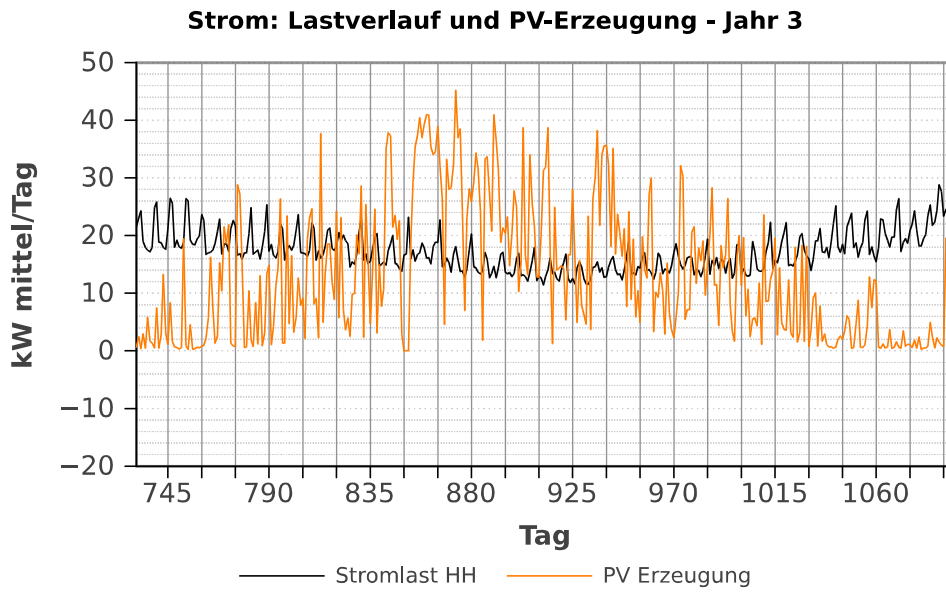


Abbildung 124: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

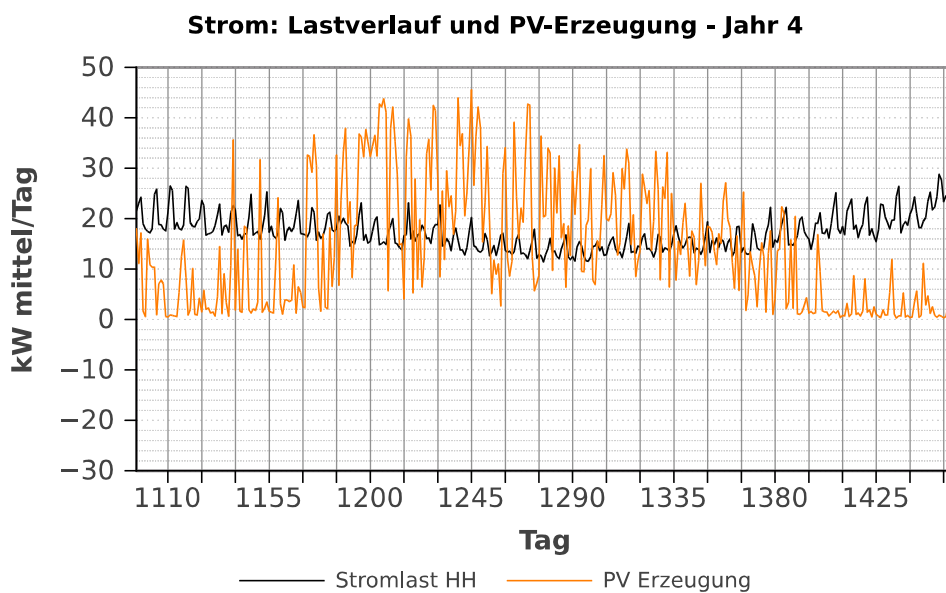
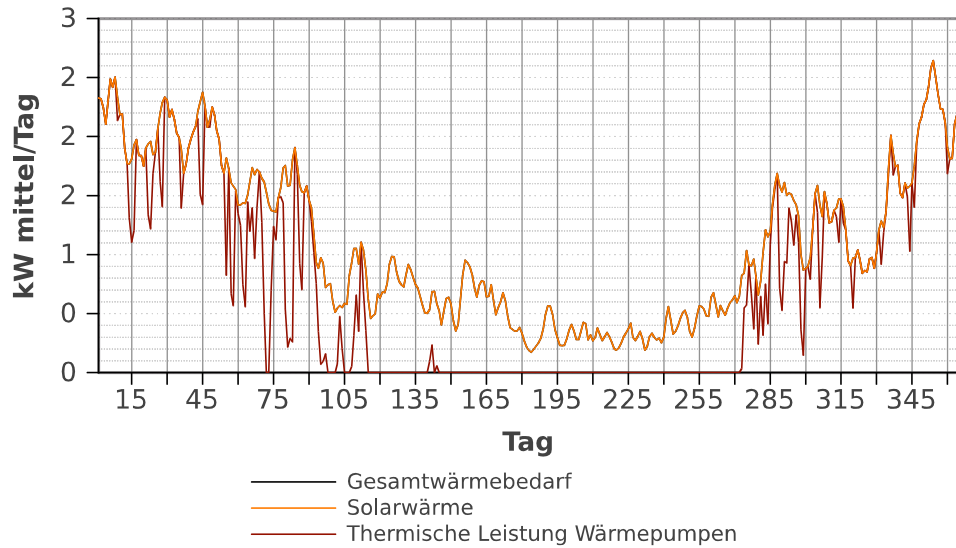


Abbildung 125: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

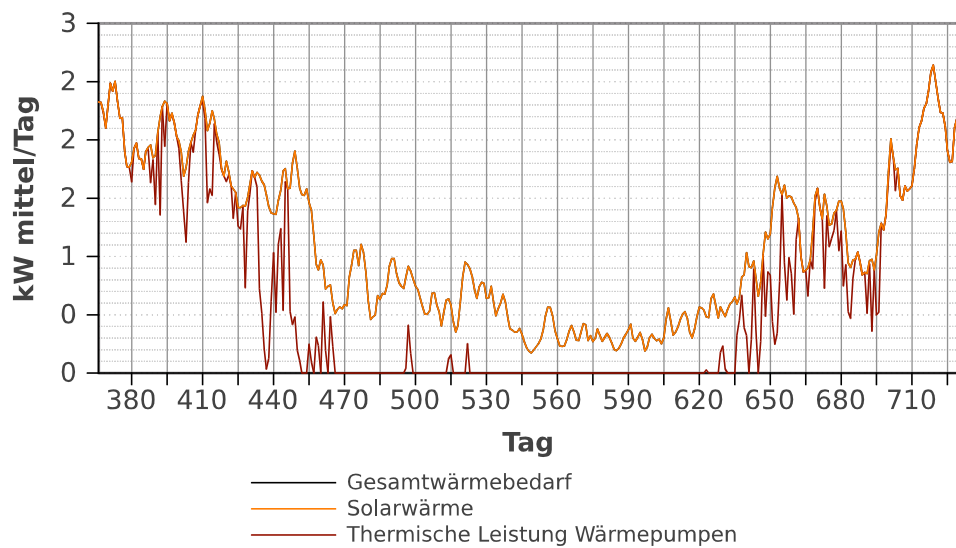
7.2.11.2.2 Wärme

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag- Jahr 1**



**Abbildung 126: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**

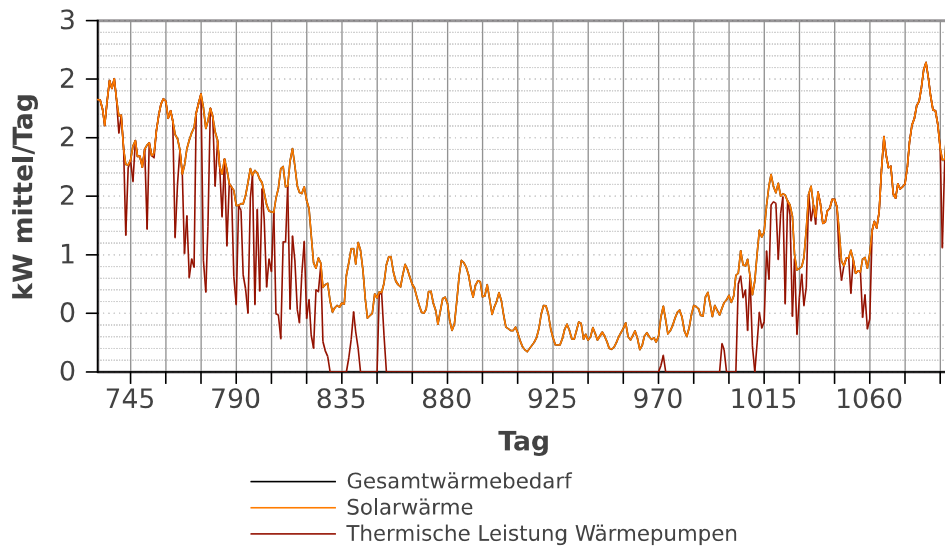
**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 2**



**Abbildung 127: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**

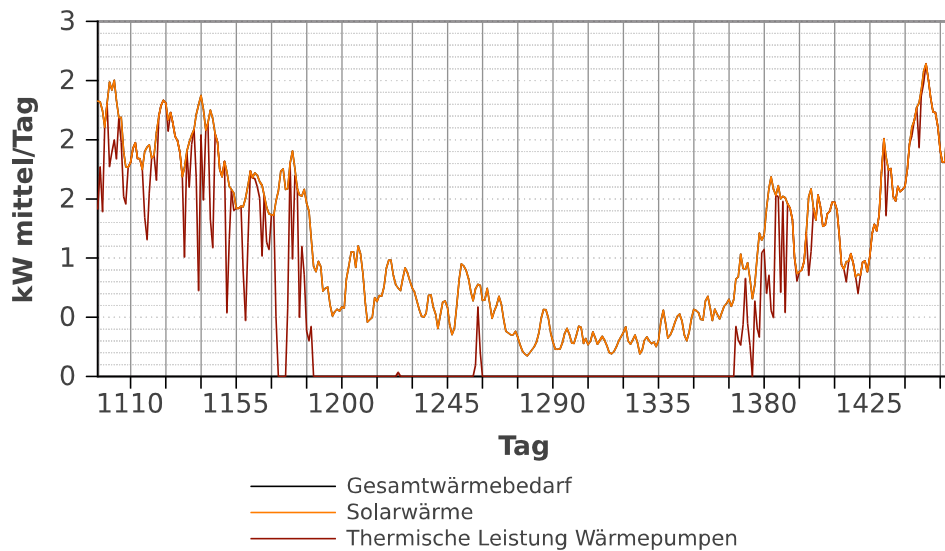


**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 3**



**Abbildung 128: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.**

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 4**



**Abbildung 129: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.**

7.2.11.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

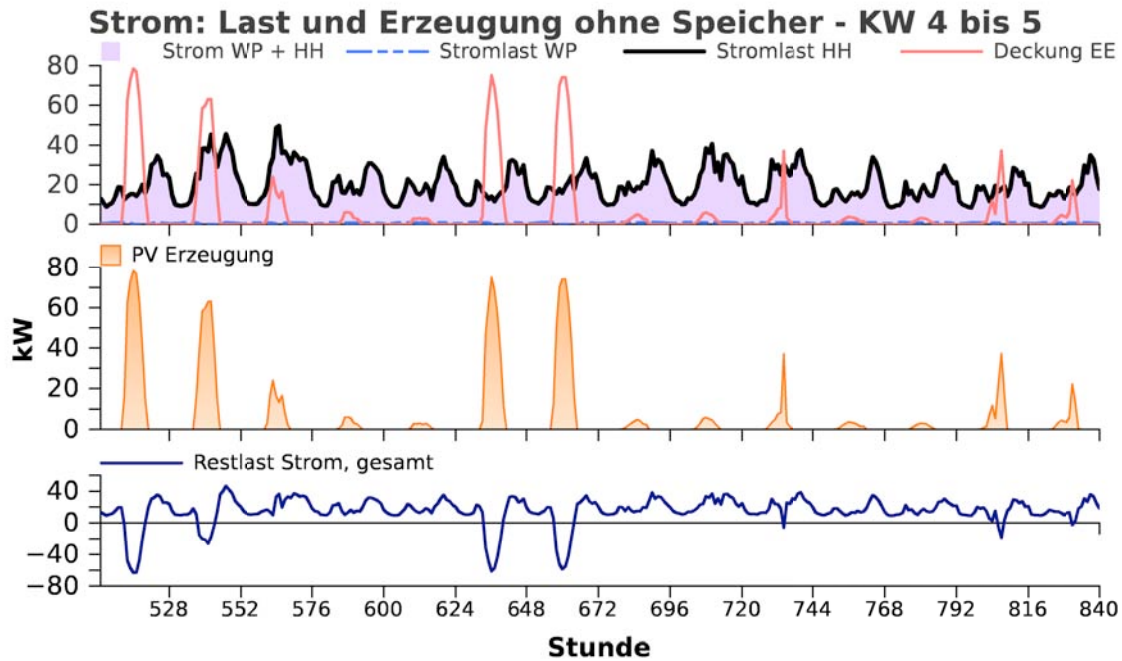


Abbildung 130: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

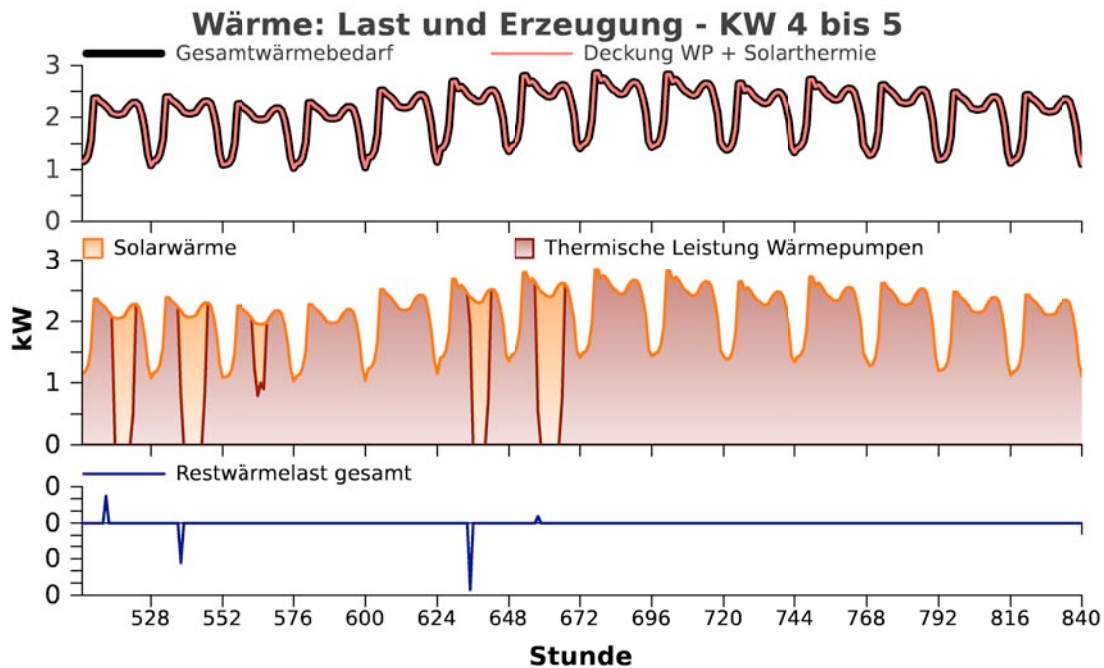


Abbildung 131: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

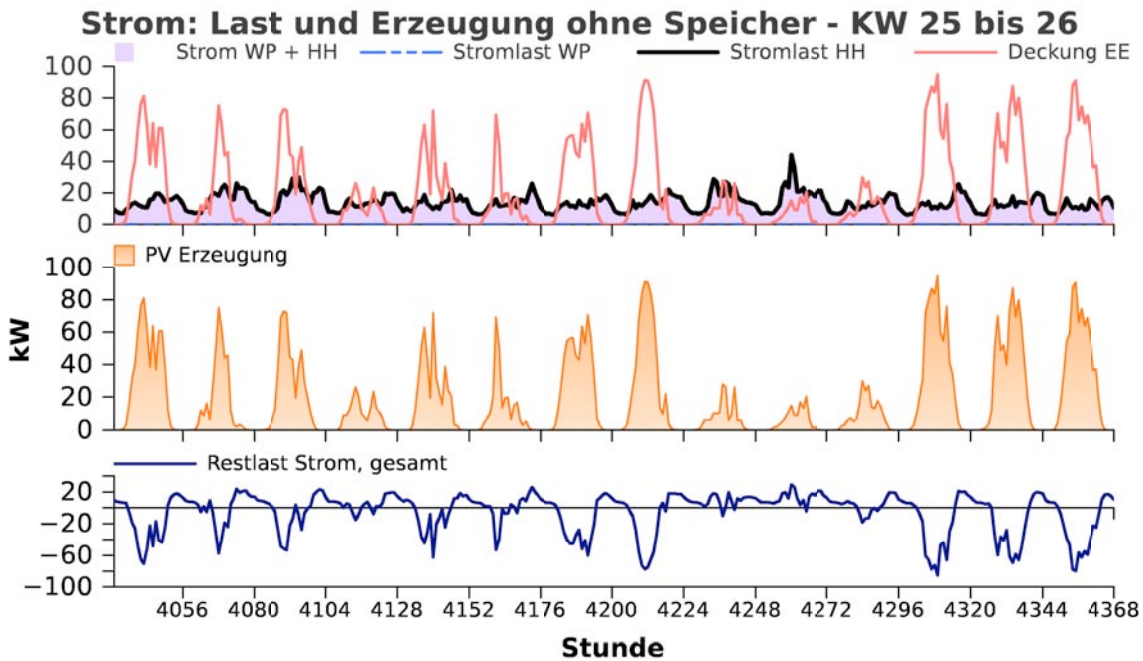


Abbildung 132: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

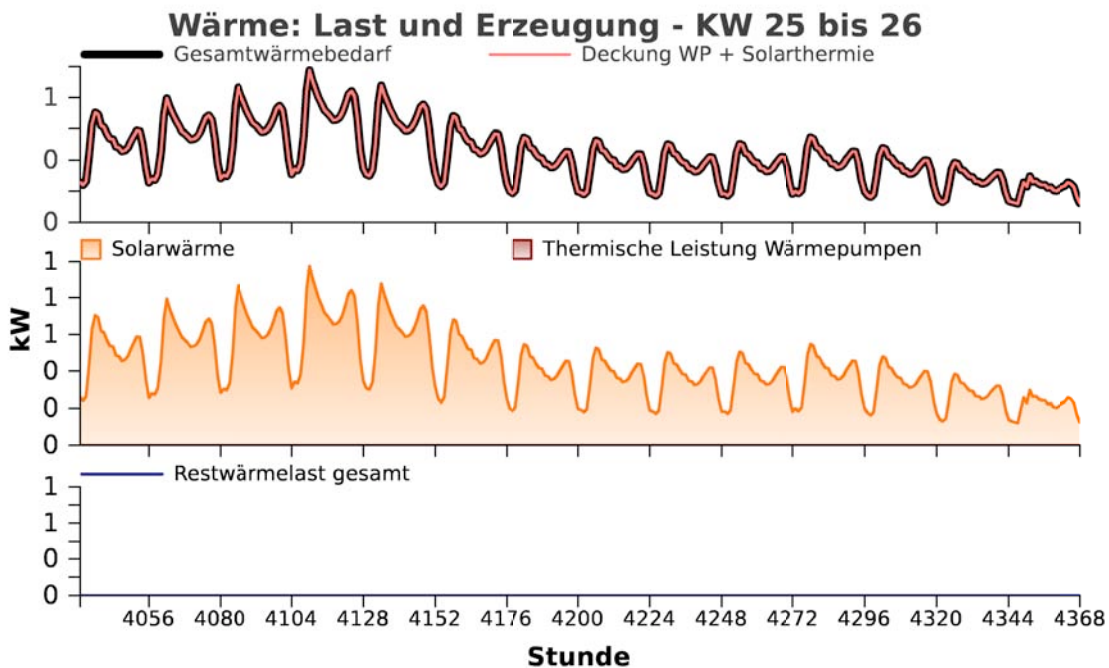


Abbildung 133: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.12 Stadtraumtyp VIIIc (SRT Viilc): Geschosswohnungsbau Niedrigenergie**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 5,03 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebiet liegt bei 0,36 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 0,63 ha (0,07% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.12.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg kann mehr als das Dreifache des gesamten Strombedarfs aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden (gut 309%). Auch unter Berücksichtigung des zusätzlichen Stromverbrauchs der zur Wärmebereitstellung genutzten Wärmepumpen verbleibt der Anteil des PV-Stroms fast unverändert bei knapp 309%.

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch fällt, mit lediglich 0,2% zusätzlich zum Stromverbrauch der Haushalte, kaum ins Gewicht.

Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	529.186,7	1.635.631,9	-1.106.445,2	869,8	-1.105.575,4
Anteile in %	100,0%	309,1%	-209,1%	0,2%	-208,6%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>309,1%</b>		<b>308,6%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 51: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Durch den, im Vergleich zum Stromverbrauch des Stadtraumtyps, enormen Umfang der installierten Photovoltaik fällt der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung hier besonders stark aus. Durch die zeitlichen Unterschiede von benötigter und erzeugter Leistung fällt der innerhalb des SRT direkt nutzbare Anteil der PV-Erzeugung sehr stark ab und erreicht nur noch einen Wert von knapp 41%, gemessen am reinen Haushaltsstrombedarf. Der nur geringe Anteil der Wärmepumpen an der Deckung des Wärmebedarfs führt auch unter Berücksichtigung des Wärmepumpenstroms zu einem praktisch unveränderten Deckungsbeitrag der PV. Als weitere Konsequenz fallen hohe, lokal nicht nutzbare Erzeugungüberschüsse an, die in ihrer Größenordnung mehr als das Zweieinhalbfache des gesamten Strombedarfs ausmachen.

Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	529.186,7	1.635.631,9	-1.106.445,2	869,8
Anteile in %	100,0%	309,1%	-209,1%	0,2%
Last (Defizit)	529.186,7		313.269,7	314.043,2
Anteile in %	100,0%		59,2%	59,2%
Überschüsse			-1.419.714,9	-1.419.618,5
Anteile in %			-268,3%	-267,8%
Lastdeckung (dynamisch)			<b>215.917,0</b>	<b>216.013,4</b>
Deckungsgrad (dynamisch)			<b>40,8%</b>	<b>40,8%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 52: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der massiven Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses. Es treten hohe, aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze zu exportierende, Leistungsüberschüsse auf, die in der Spitze etwa das Zehnfache der maximalen Bezugsleistung betragen (knapp 506 kW). Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung benötigten Bezugsleistung findet trotz der hohen PV-Leistung nur in relativ geringem Umfang statt (von 50kW auf 46,5 kW, bzw. 46,6 kW inklusive Wärmepumpenstrom; Tabelle 53).

Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	50,3	46,5	46,6
minimale Last <sup>1)</sup>	5,2	-505,7	-505,7

- 1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 53: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

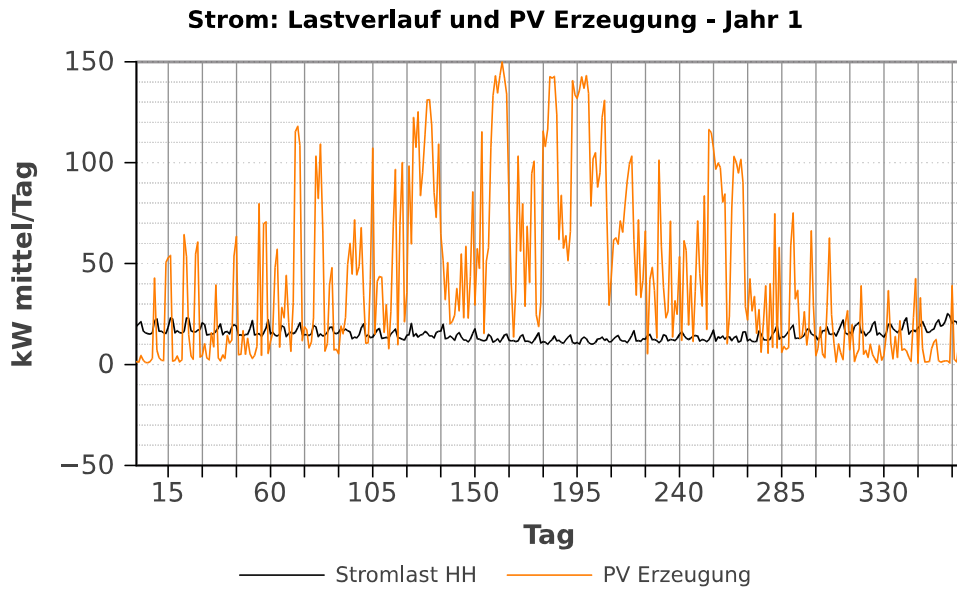
Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 4,2 MWh. Hiervon können 1,9 MWh (fast 45%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 2,3 MWh (55%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit komplett gedeckt.

Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
Wärmelast	4.195,67	0,38	0,01	100,0%
Solarthermische Wärme	1.882,01	0,32	0,00	44,9%
Restwärmebedarf nach Solarthermie	2.313,66	0,38	0,00	55,1%
Wärmebeitrag aus Wärmepumpen	2.313,66	0,38	0,00	55,1%
Verbleibender Wärmebedarf	0,00	0,00	0,00	0,0%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>4.195,67</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>100,0%</b>

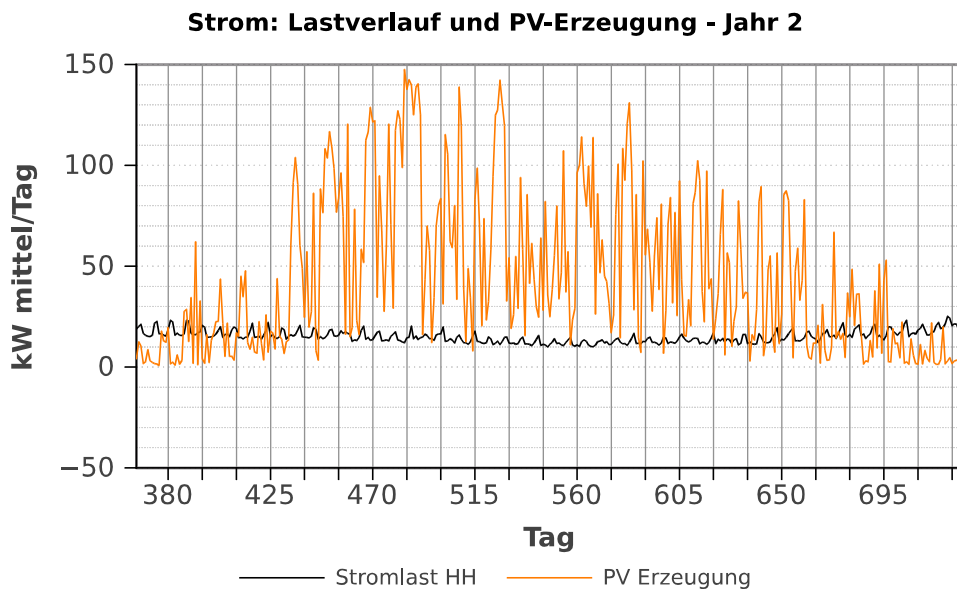
Tabelle 54: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.12.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.12.2.1 Strom



**Abbildung 134: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**



**Abbildung 135: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**

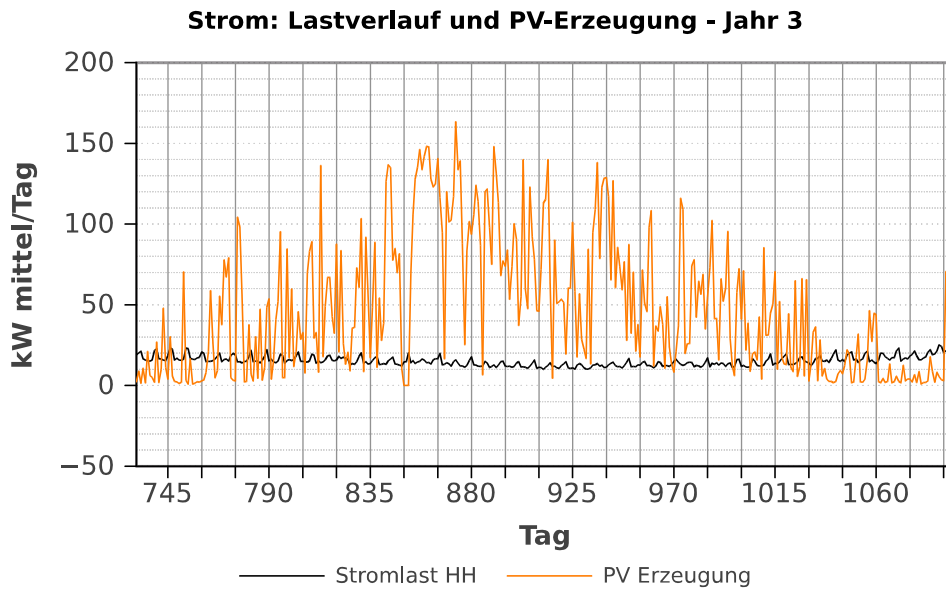


Abbildung 136: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

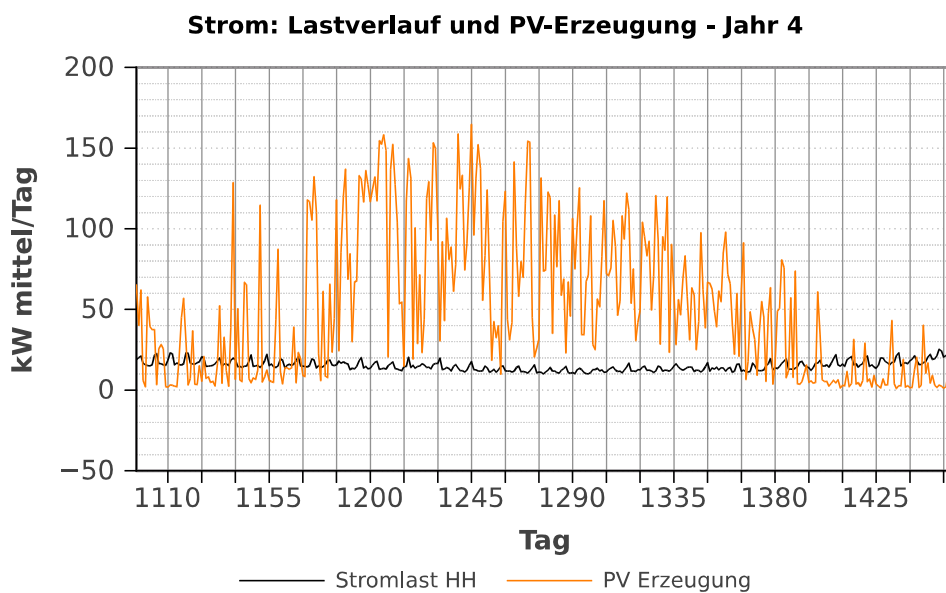
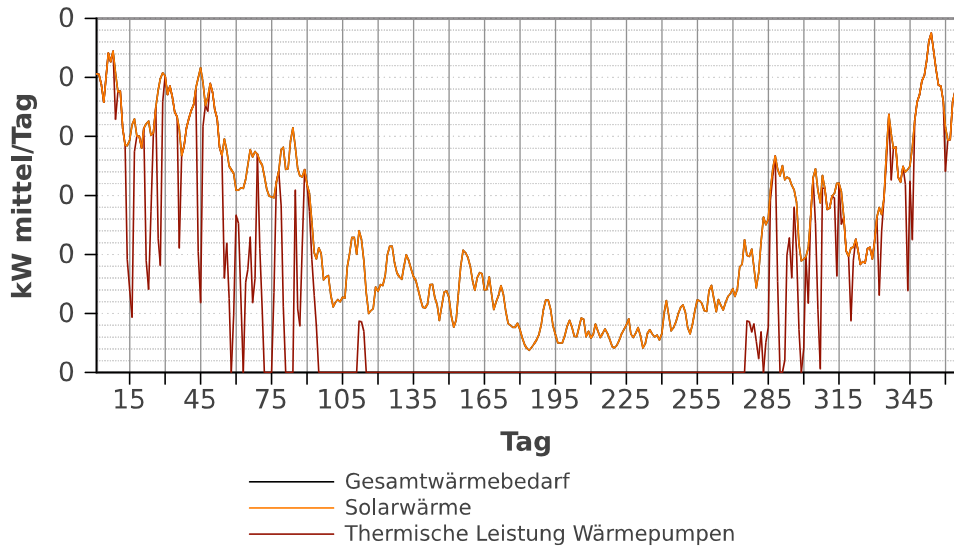


Abbildung 137: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

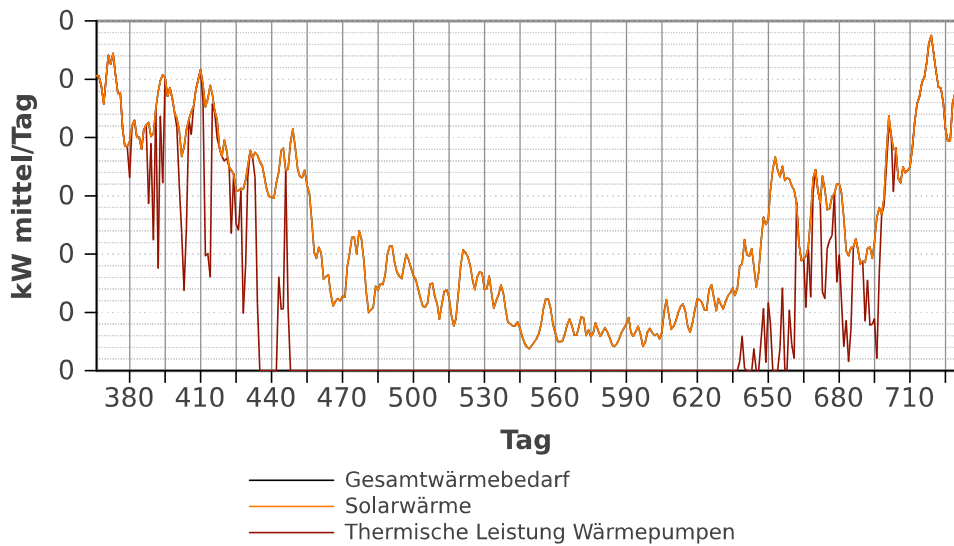
7.2.12.2.2 Wärme

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag- Jahr 1**



**Abbildung 138: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**

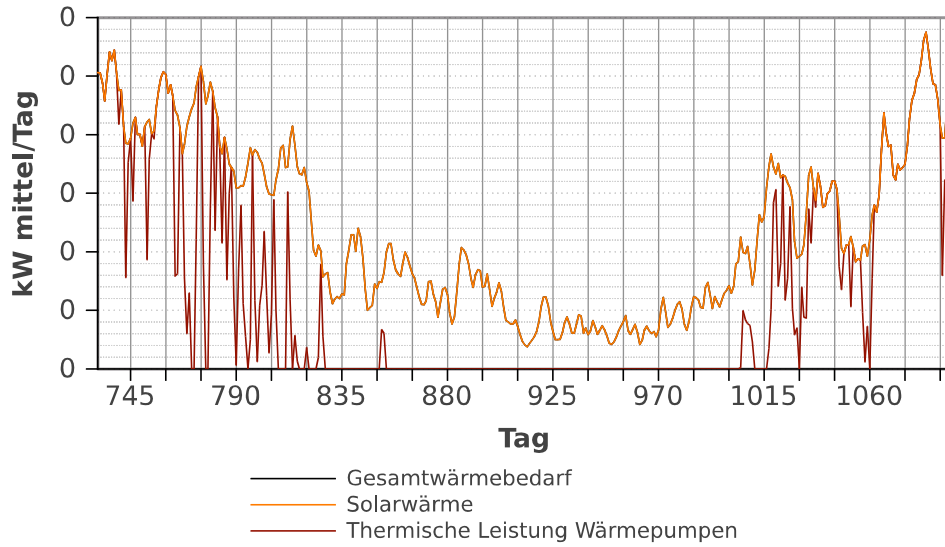
**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 2**



**Abbildung 139: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**

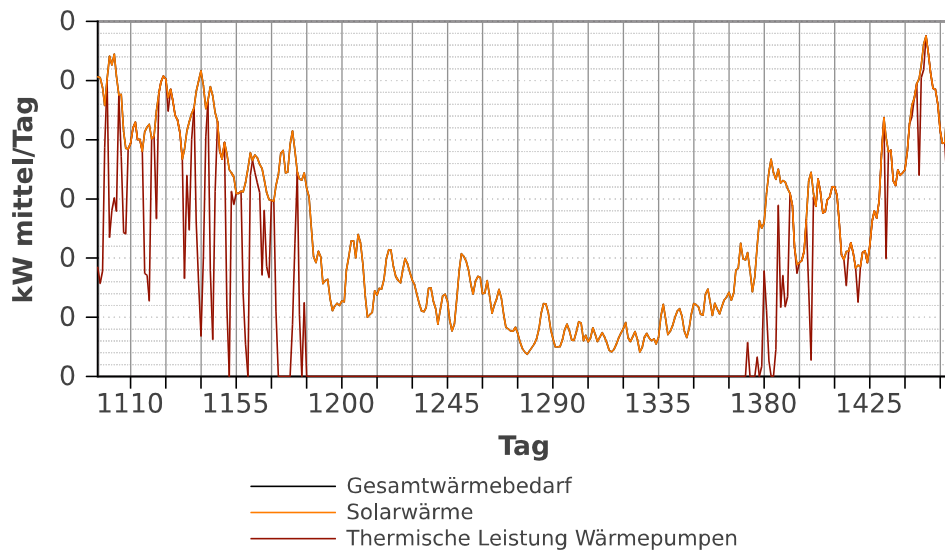


**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 3**



**Abbildung 140: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.**

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 4**



**Abbildung 141: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.**

7.2.12.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

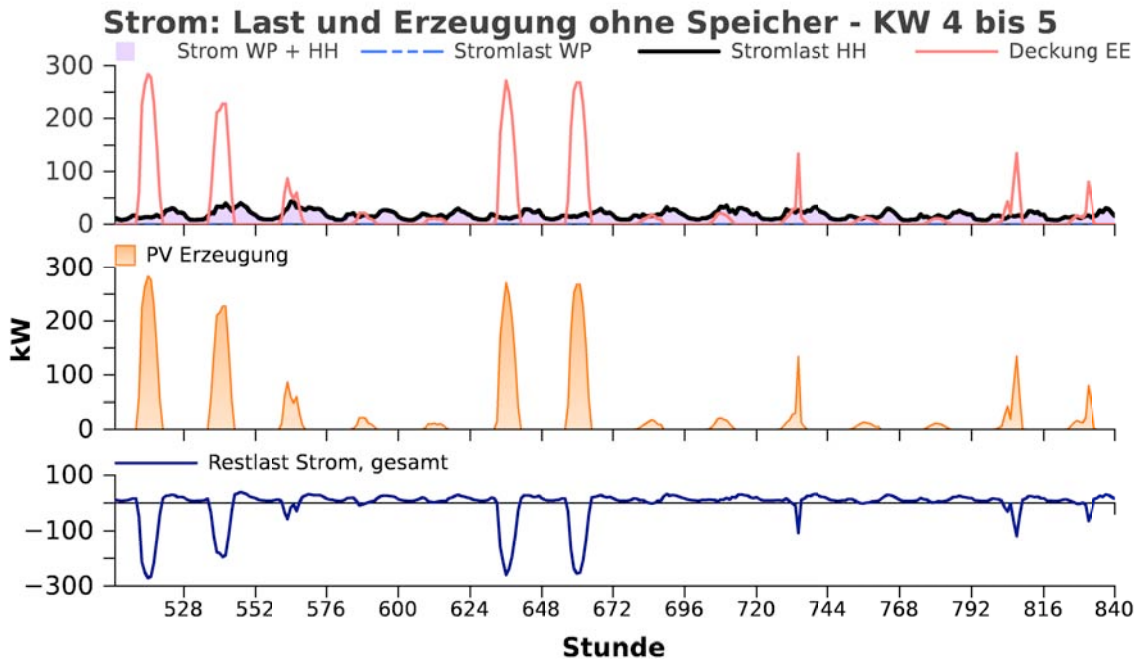


Abbildung 142: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

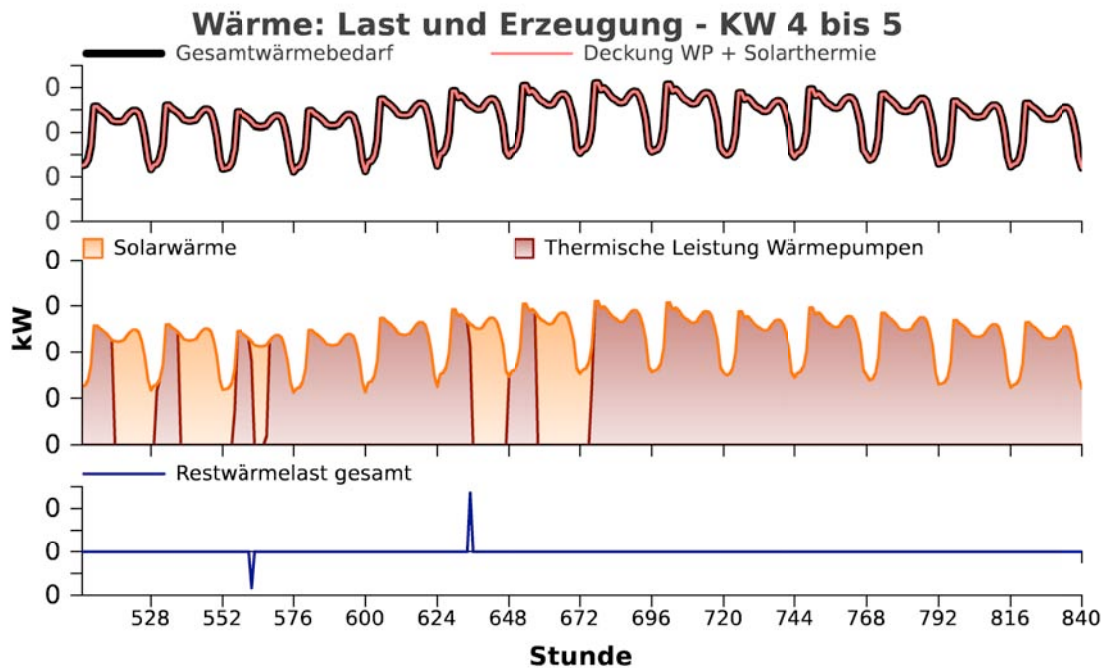


Abbildung 143: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

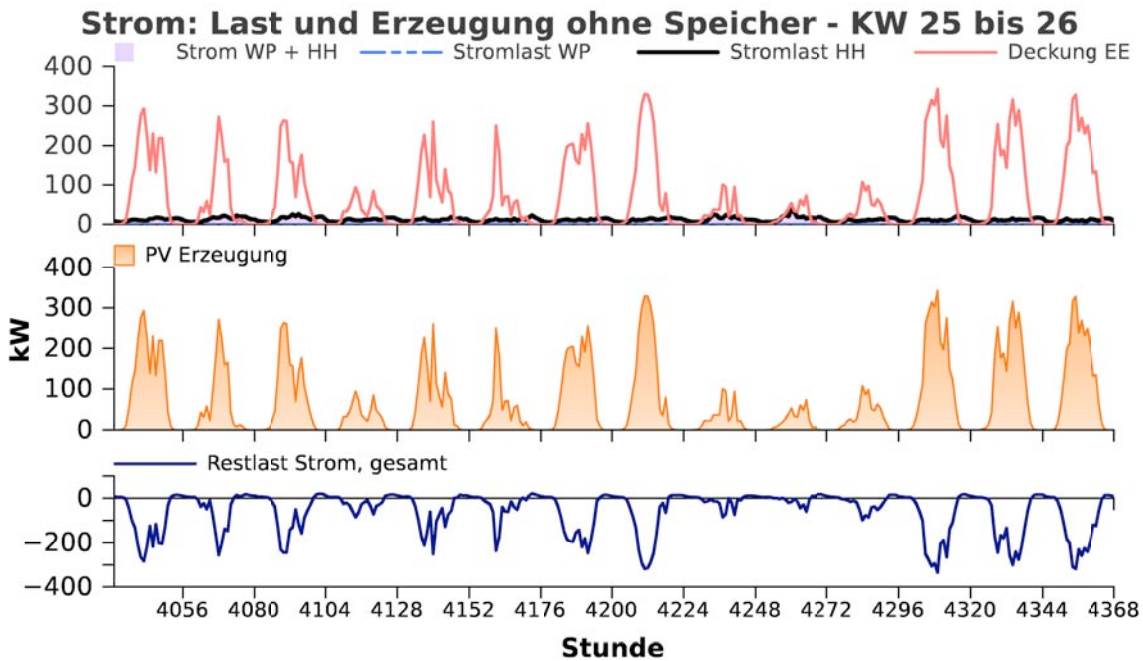


Abbildung 144: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

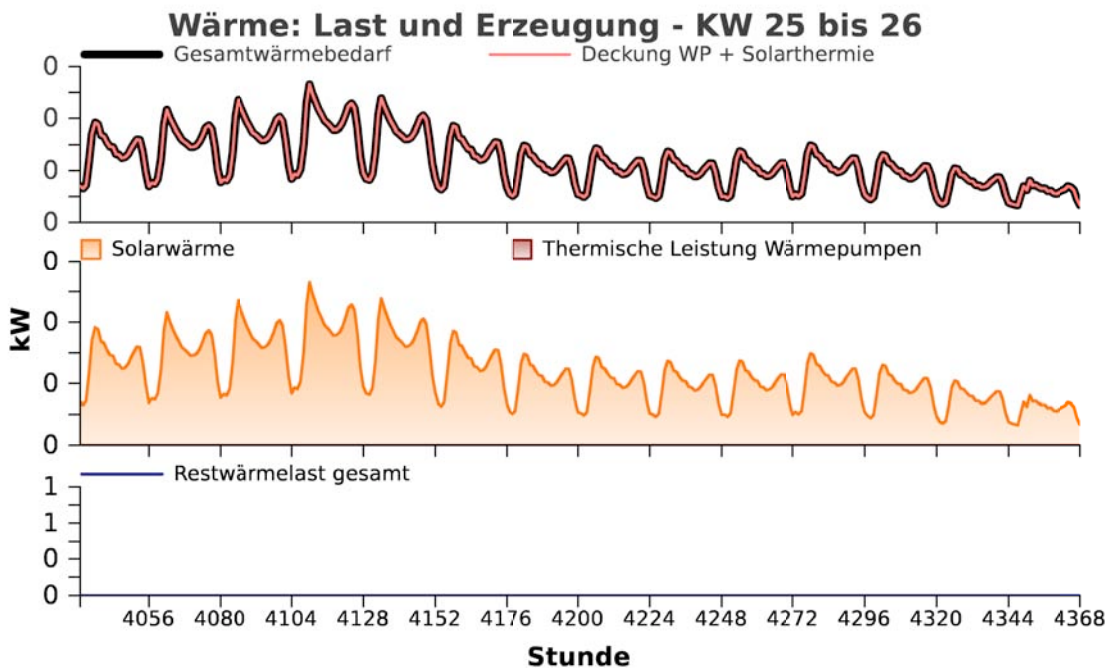


Abbildung 145: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.13 Stadtraumtyp VIIIc+ (SRT VIIIc+): Geschosswohnungsbau Passivhausstandard**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 46,7 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 3,32 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 42,63 ha (5,04% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.13.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können knapp 22% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Da Wärmepumpen nur in geringem Umfang zur Wärmedeckung genutzt werden, bleibt der Anteil der PV auch unter Berücksichtigung des Wärmepumpenstroms praktisch unverändert. Der Strombedarf der Wärmepumpen liegt bei lediglich 0,5% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	35.808.301,1	7.796.051,9	28.012.249,1	183.805,1	28.196.054,2
Anteile in %	100,0%	21,8%	78,2%	0,5%	78,3%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>21,8%</b>		<b>21,7%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 55: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil den die PV zur Lastdeckung erbringen kann erwartungsgemäß einen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier einen Anteil von gut 18%. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei einem Wert von etwa 3,5% des Gesamtstromverbrauchs.

Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	35.808.301,1	7.796.051,9	28.012.249,1	183.805,1
Anteile in %	100,0%	21,8%	78,2%	0,5%
Last (Defizit)	35.808.301,1		29.325.194,9	29.508.577,0
Anteile in %	100,0%		81,9%	82,0%
Überschüsse			-1.312.945,8	-1.312.522,7
Anteile in %			-3,7%	-3,6%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>6.483.106,2</b>	<b>6.483.529,2</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>18,1%</b>	<b>18,0%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 56: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungüberschüsse muss elektrische Leistung aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier

Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 1.543 kW, was weniger als der Hälfte der maximalen Bezugslast entspricht (3.402 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (3.370 kW), der teils durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder kompensiert wird (3.382 kW Spitzenlast inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 57).

Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	3.402,1	3.369,8	3.381,8
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	351,4	-1.542,9	-1.542,9

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 57: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 40.684 MWh. Hiervon können 14.353 MWh (gut 35%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 489 MWh (1,2%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit zu 36,5% gedeckt.

Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
<b>Wärmelast</b>	<b>40.683.957,38</b>	3.640,20	101,85	100,0%
<b>Solarthermische Wärme</b>	<b>14.352.878,12</b>	2.883,43	0,00	35,3%
<b>Restwärmebedarf nach Solarthermie</b>	<b>26.331.079,27</b>	3.640,20	0,00	64,7%
<b>Wärmebeitrag aus Wärmepumpen</b>	<b>488.921,67</b>	31,85	0,00	1,2%
<b>Verbleibender Wärmebedarf</b>	<b>25.842.157,59</b>	3.608,36	0,00	63,5%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>14.841.799,79</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>36,5%</b>

Tabelle 58: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.13.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.13.2.1 Strom

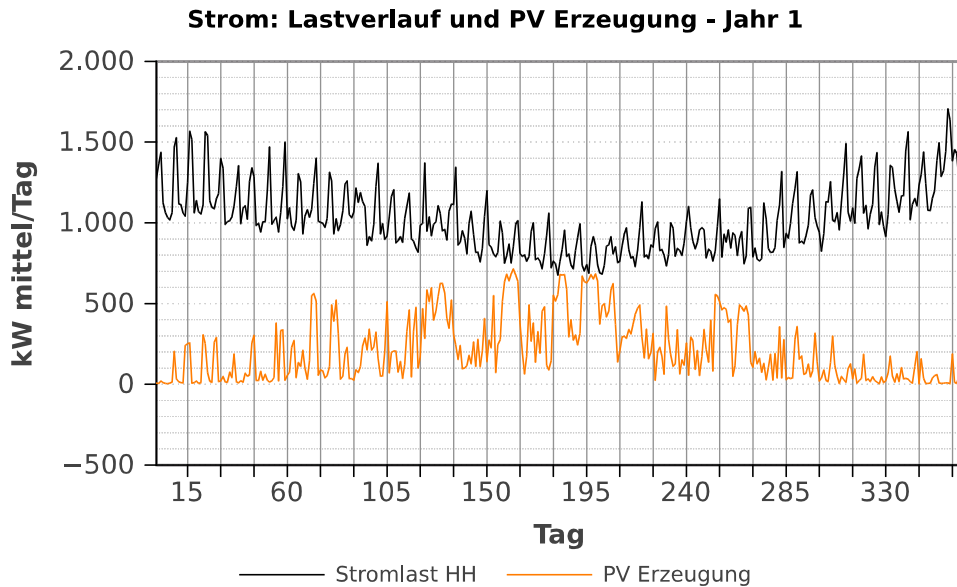


Abbildung 146: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

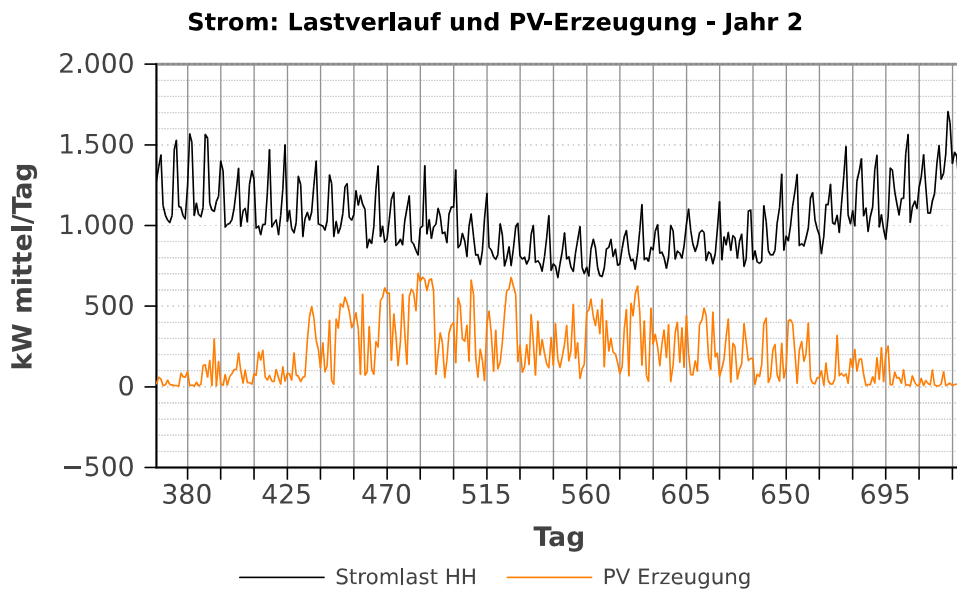


Abbildung 147: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

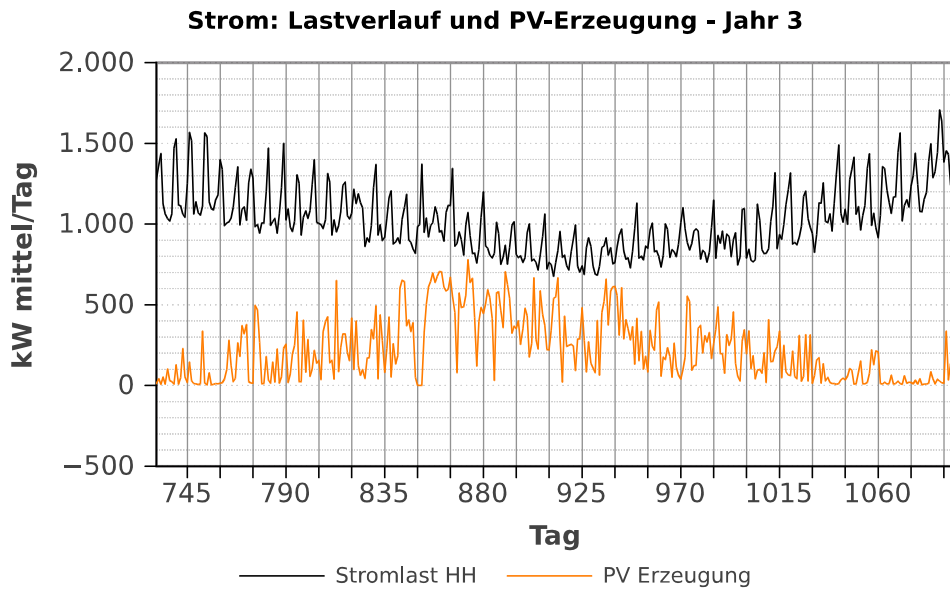


Abbildung 148: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

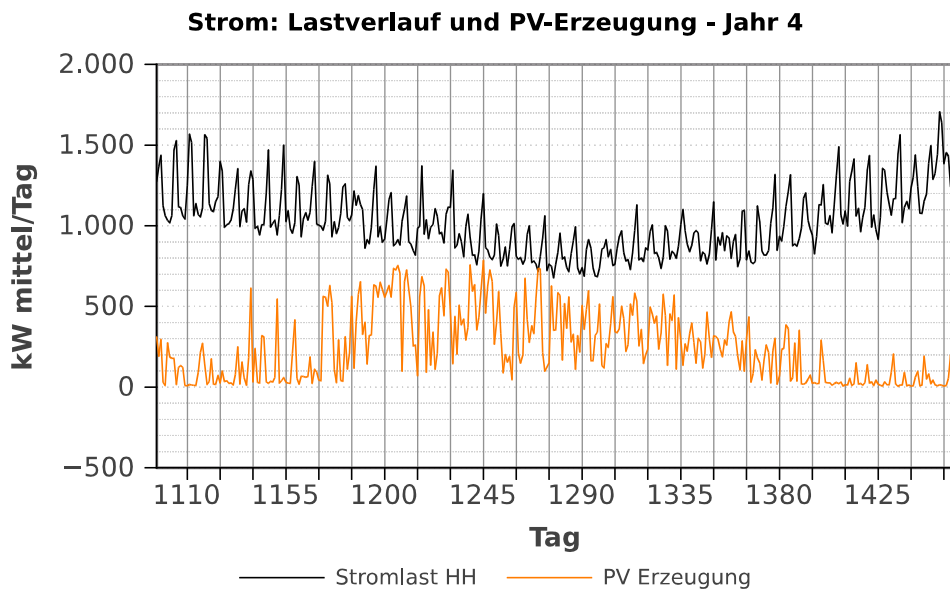


Abbildung 149: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.13.2.2 Wärme

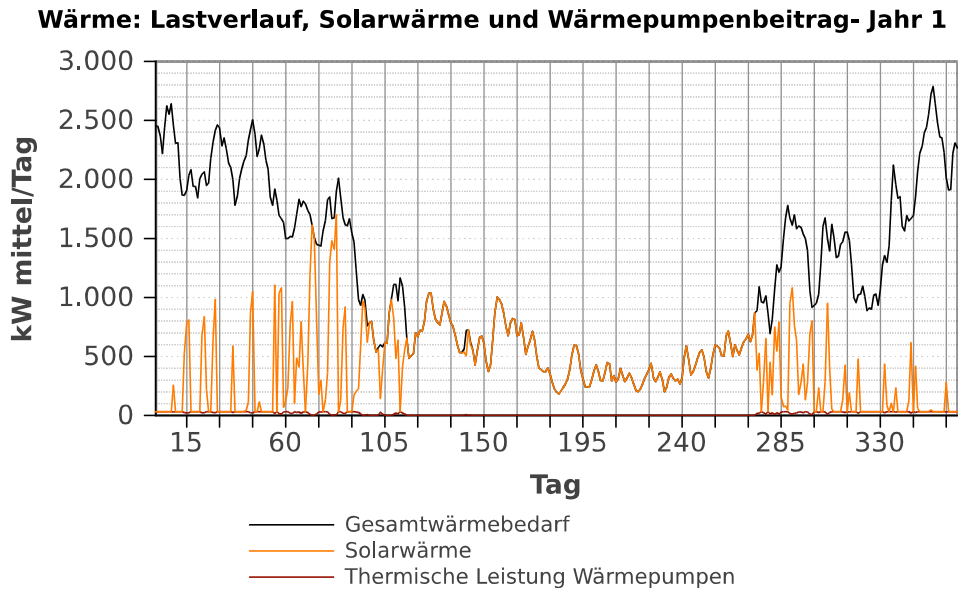


Abbildung 150: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

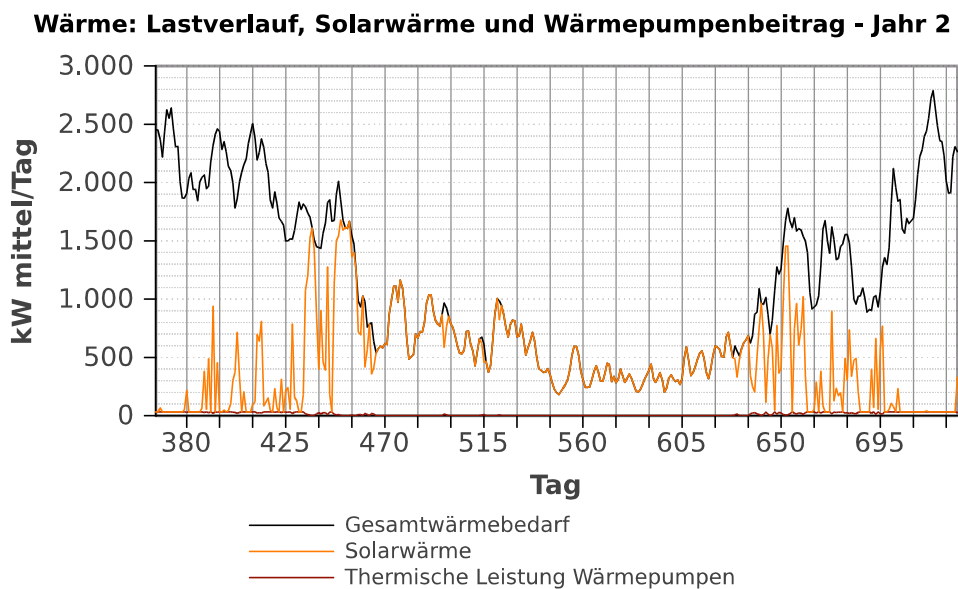


Abbildung 151: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.



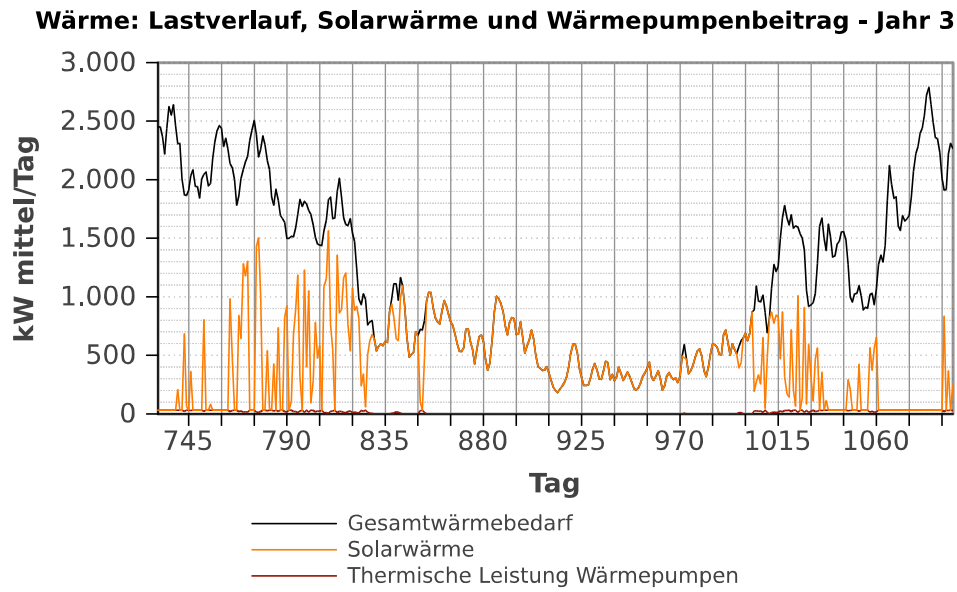


Abbildung 152: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

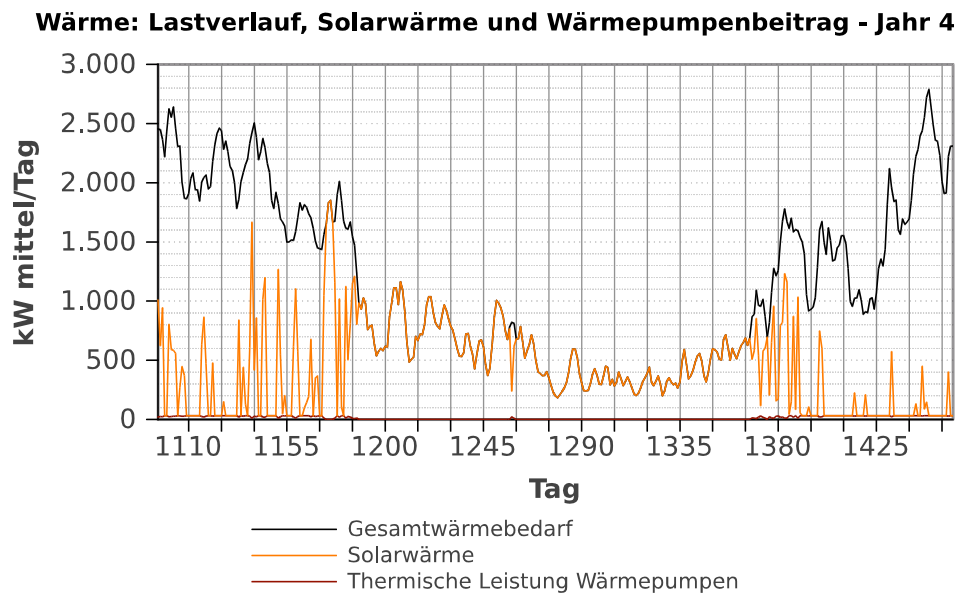


Abbildung 153: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.13.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

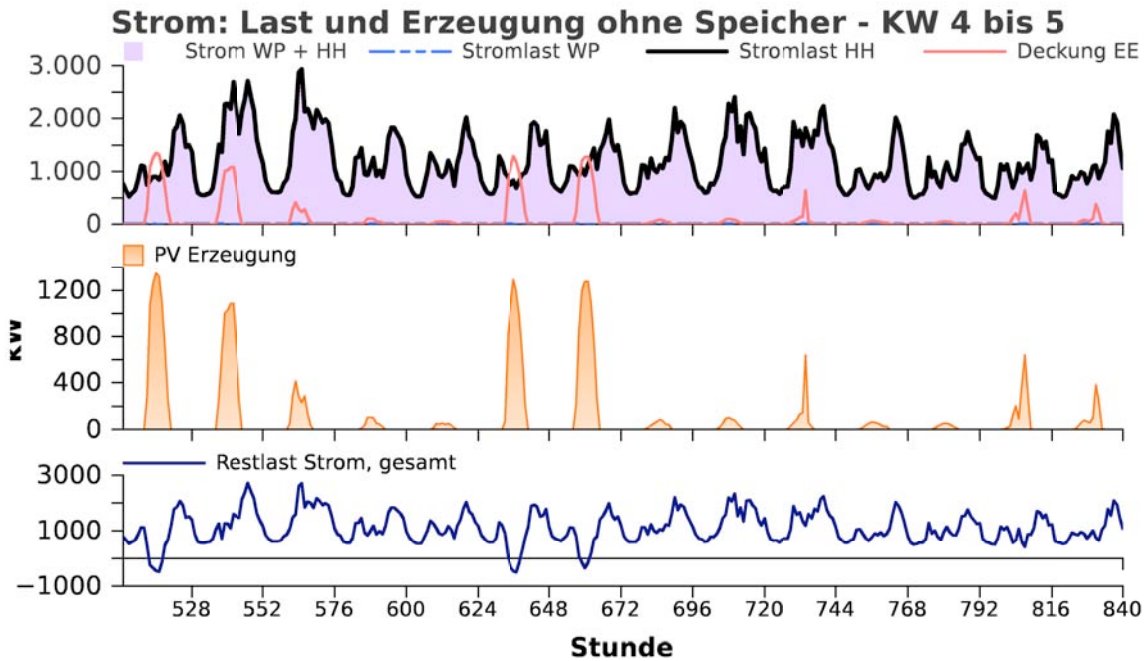


Abbildung 154: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

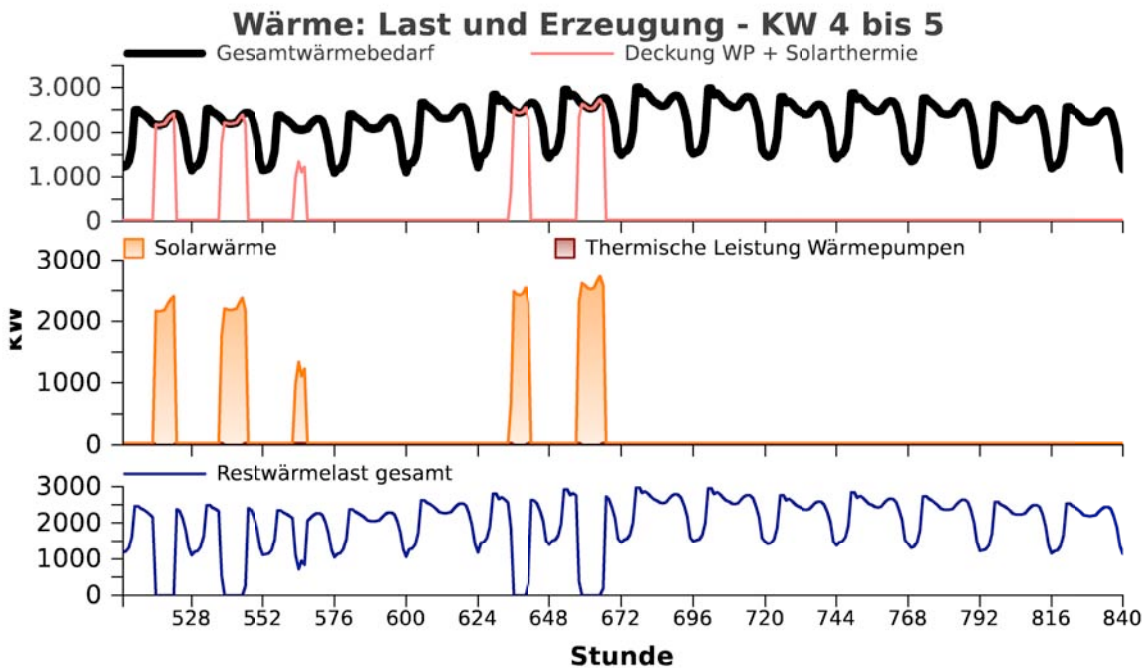


Abbildung 155: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

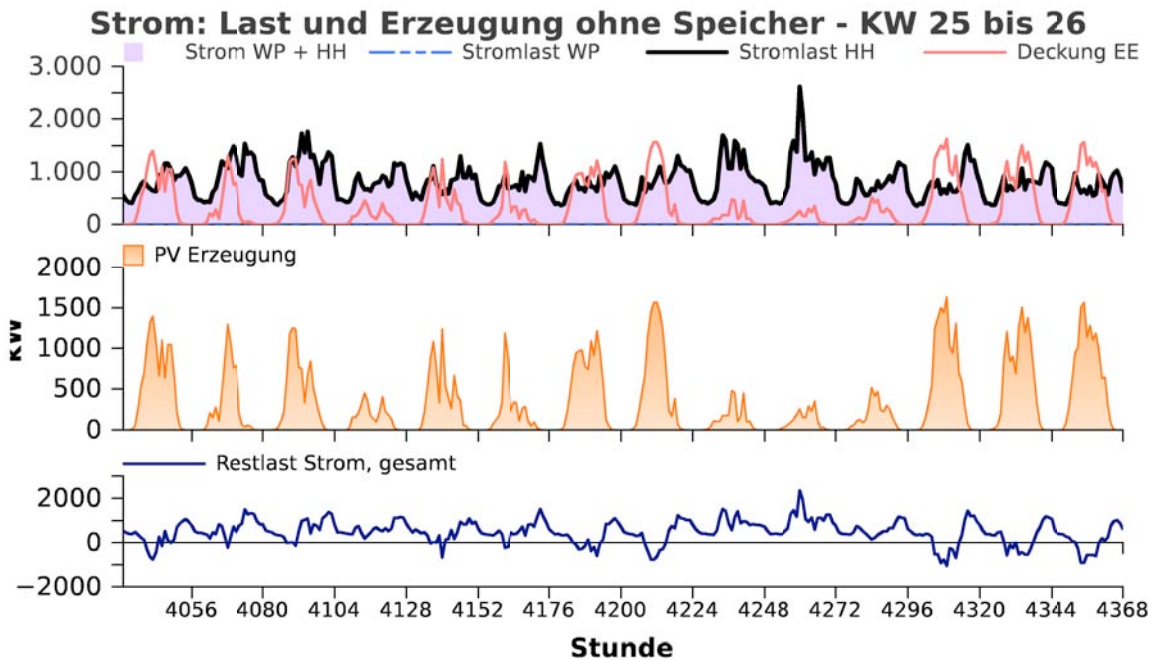


Abbildung 156: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

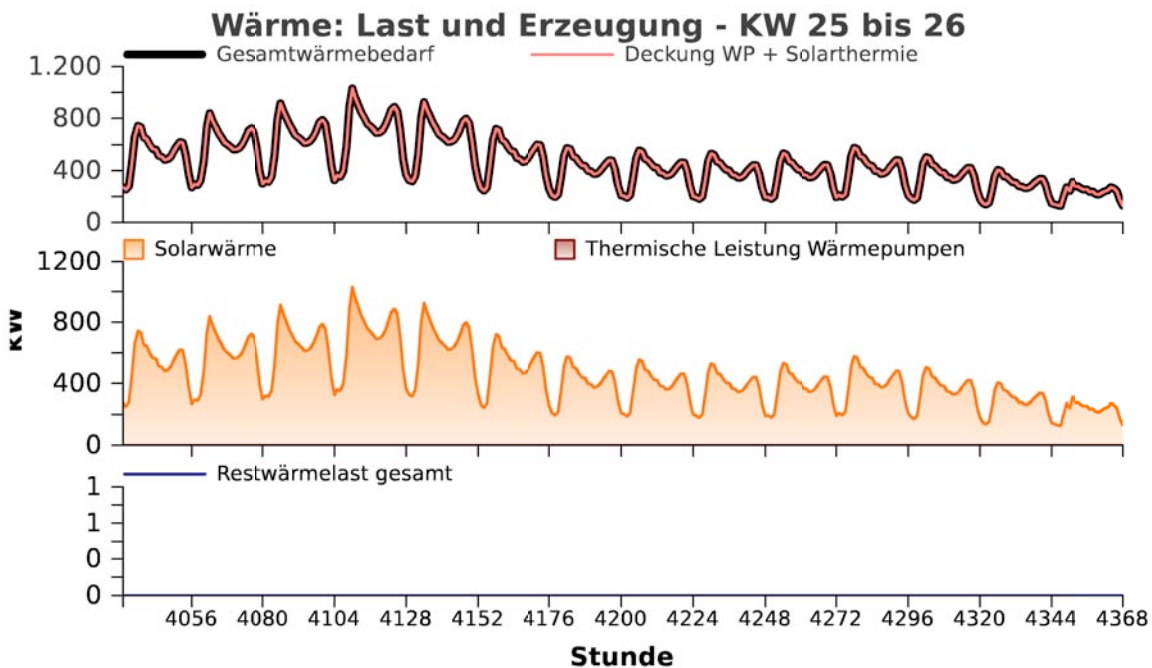


Abbildung 157: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.14 Stadtraumtyp IXa (SRT IXa): Einfamilienhäuser < 1950**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 168,14 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 11,96%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 37,45 ha (4,43% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.14.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 25% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Berücksichtigt man zusätzlich den Stromverbrauch der zur Wärmebereitstellung genutzten Wärmepumpen, so reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Stromverbrauchs nur unmerklich.

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch beträgt ca. lediglich 0,5% des Stromverbrauchs der Haushalte für die allgemeine Elektrizitätsversorgung.

Einfamilienhäuser > 1950	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	29.959.247,9	7.549.920,2	22.409.327,7	137.472,1	22.546.799,8
Anteile in %	100,0%	25,2%	74,8%	0,5%	74,9%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>25,2%</b>		<b>25,1%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 59: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Geht man über die statische Betrachtung der verbrauchten und erzeugten Strommengen hinaus und beachtet auch den dynamischen Verlauf der Stromversorgung, mit verbleibenden Erzeugungsdefiziten und nicht lokal nutzbaren Erzeugungüberschüssen, reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Strombedarfs auf 19,6% des Bedarf der Haushalte, bzw. auf 19,5%, wenn zusätzlich der Strombedarf der Wärmepumpen berücksichtigt wird. Trotz der vergleichsweise geringen Beitrags der PV zur Deckung des Strombedarfs, treten Leistungsüberschüsse auf, die in benachbarte Netze abgesetzt werden müssen. Von ihrem Umfang her liegen die zu exportierenden Überschüsse bei 5,6% des Strombedarfs.

<b>Einfamilienhäuser &gt; 1950</b>	<b>Stromverbrauch SRT</b>	<b>PV-Erzeugung</b>	<b>Mengenbilanz Stromverb. - PV<sup>1)</sup></b>	<b>Stromverbrauch Wärmepumpen</b>
<b>Alle 4 Jahre</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>
<b>Energiemenge</b>	29.959.247,9	7.549.920,2	22.409.327,7	137.472,1
<b>Anteile in %</b>	100,0%	25,2%	74,8%	0,5%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>29.959.247,9</b>		<b>24.080.397,9</b>	<b>24.217.398,8</b>
<b>Anteile in %</b>	<b>100,0%</b>		<b>80,4%</b>	<b>80,5%</b>
<b>Überschüsse</b>			-1.671.070,3	-1.670.599,0
<b>Anteile in %</b>			-5,6%	-5,6%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>5.878.850,0</b>	<b>5.879.321,2</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>19,6%</b>	<b>19,5%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 60: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses, d.h. elektrische Leistung muss aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei 1.610 kW, was mehr als der Hälfte der maximal auftretenden Last entspricht. Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung zu beziehenden Leistung findet nicht in nennenswertem Umfang statt (von 2.846 kW auf 2.815 kW, Tabelle 61). Dieser Lastrückgang wird durch den zusätzlichen Strombedarf der Wärmepumpen teils wieder kompensiert (2.824 kW Lastspitze inkl. Wärmepumpenstrom).

<b>Einfamilienhäuser &gt; 1950</b>	<b>Stromverbrauch SRT</b>	<b>nach PV-Erzeugung</b>	<b>nach Wärmepumpen</b>
<b>Jahr 1</b>	<b>[kW]</b>	<b>[kW]</b>	<b>[kW]</b>
<b>maximale Last</b>	2.846,4	2.815,1	2.824,1
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	294,0	-1.610,4	-1.610,4

- 1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 61: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 107.139 MWh. Hiervon können etwa 37.798 MWh durch die Solarthermie bereitgestellt werden, weitere knapp 366 MWh werden durch den Betrieb der Wärmepumpen gedeckt. Insgesamt werden damit 35,6% des lokal bestehenden Wärmebedarfs gedeckt, etwa 35% durch die Solarthermie und weitere 0,3% durch die Wärmepumpen.

<b>Einfamilienhäuser &gt; 1950</b>	<b>Gesamtmenge</b>	<b>Höchstwert</b>	<b>Niedrigstwert</b>	<b>Anteile</b>
<b>Alle 4 Jahre</b>	<b>in kWh</b>	<b>in kW</b>	<b>in kW</b>	<b>in %</b>
<b>Wärmelast</b>	107.139.029,35	9.586,28	268,21	100,0%
<b>Solarthermische Wärme</b>	37.797.889,81	7.593,37	0,00	35,3%
<b>Restwärmebedarf nach Solarthermie</b>	69.341.139,54	9.586,28	0,00	64,7%
<b>Wärmebeitrag aus Wärmepumpen</b>	365.675,87	23,81	0,00	0,3%
<b>Verbleibender Wärmebedarf</b>	68.975.463,67	9.562,47	0,00	64,4%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>38.163.565,68</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>35,6%</b>

Tabelle 62: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.14.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.14.2.1 Strom

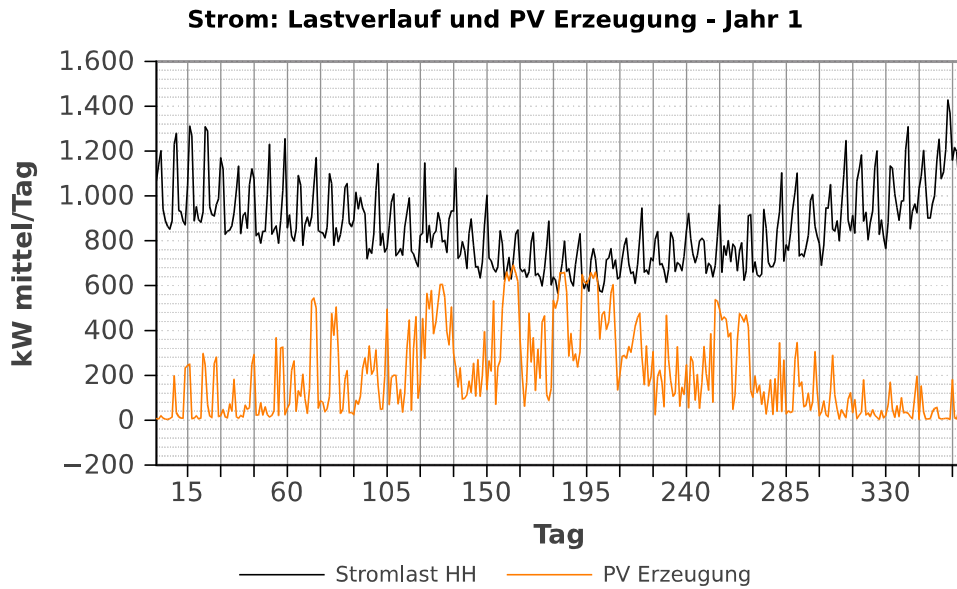


Abbildung 158: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

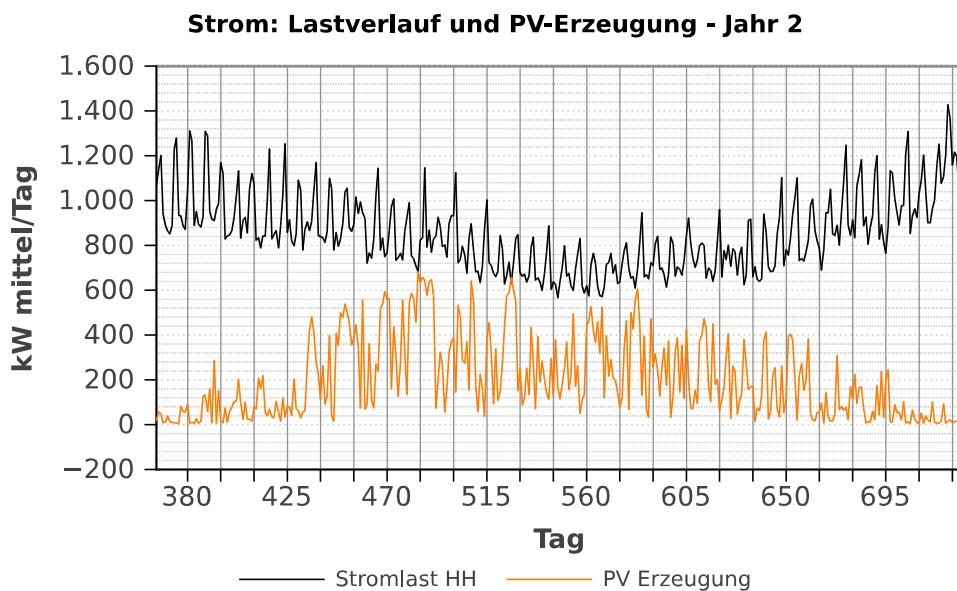


Abbildung 159: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

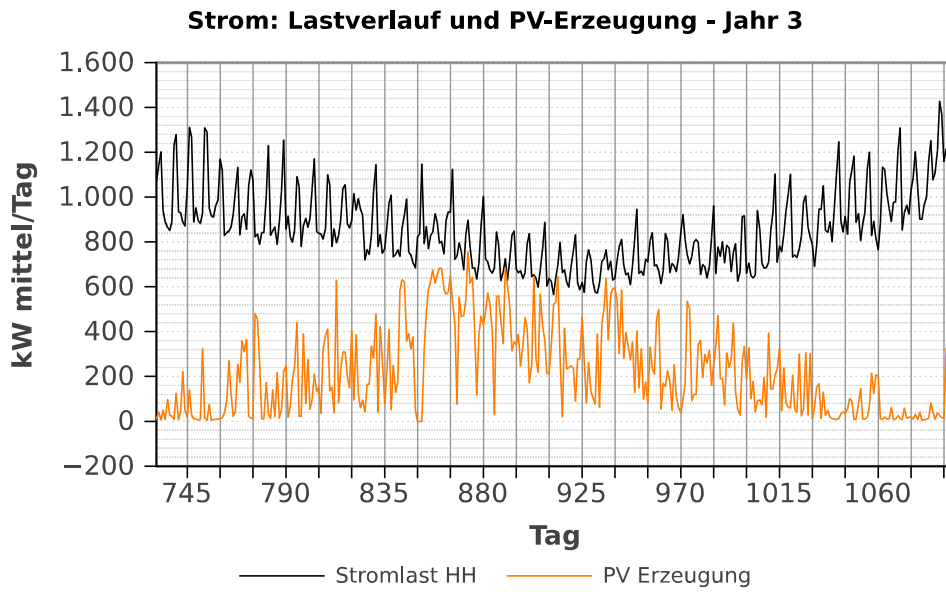


Abbildung 160: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

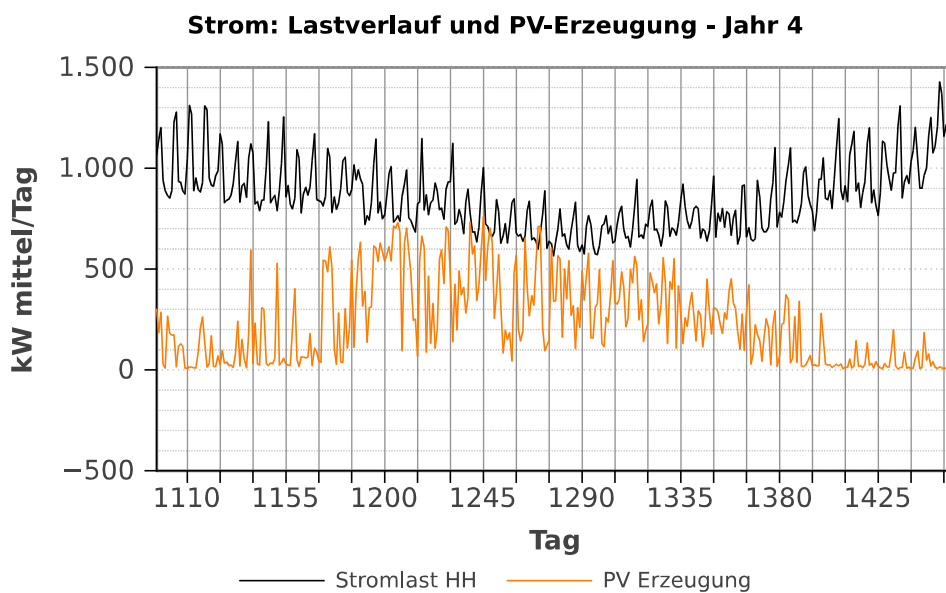


Abbildung 161: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.14.2.2 Wärme



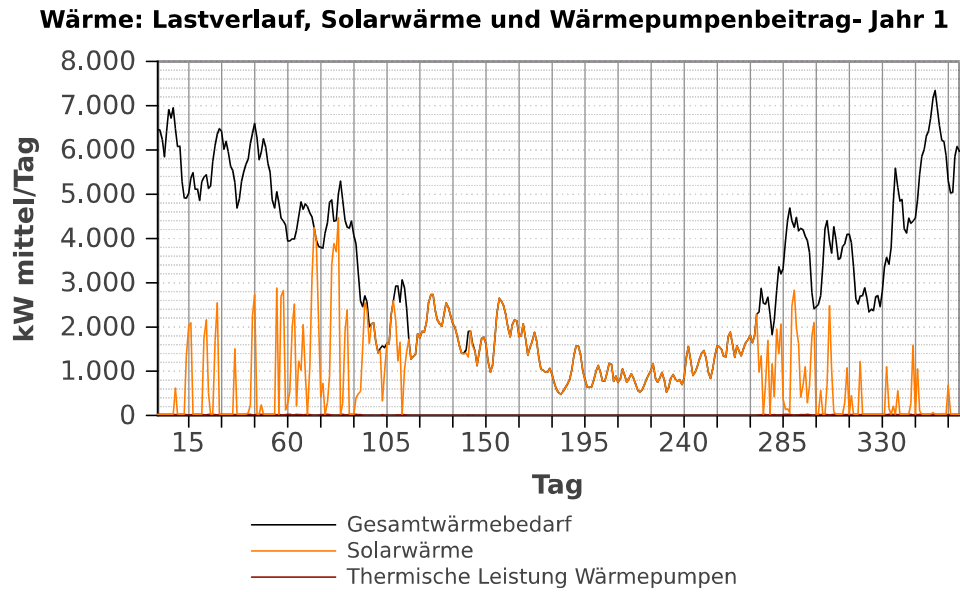


Abbildung 162: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

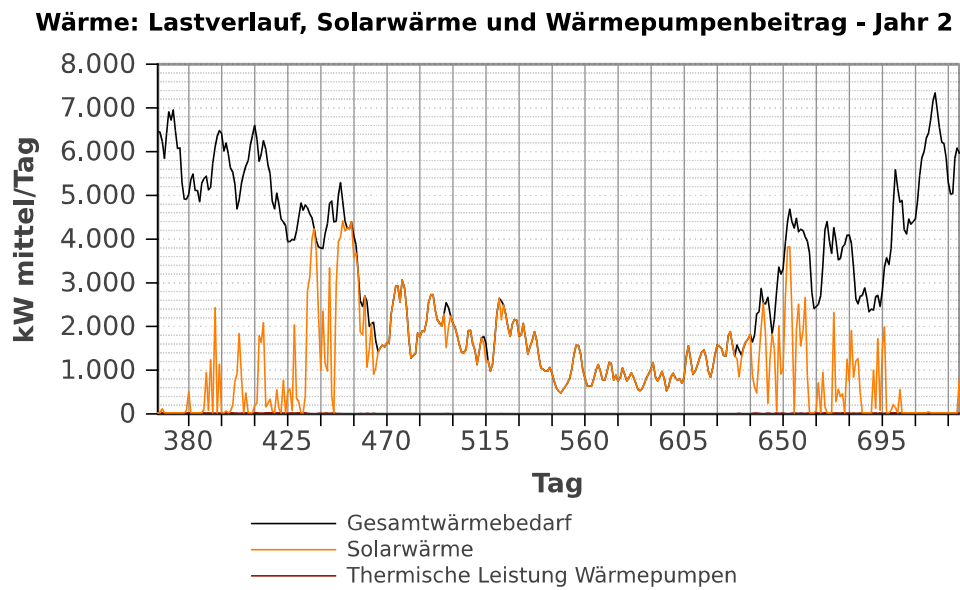


Abbildung 163: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

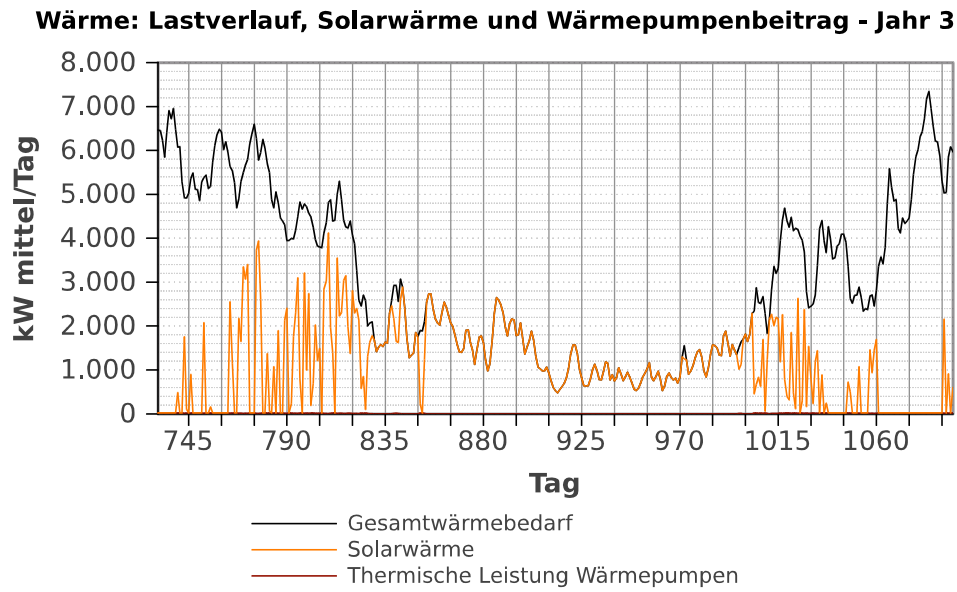


Abbildung 164: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

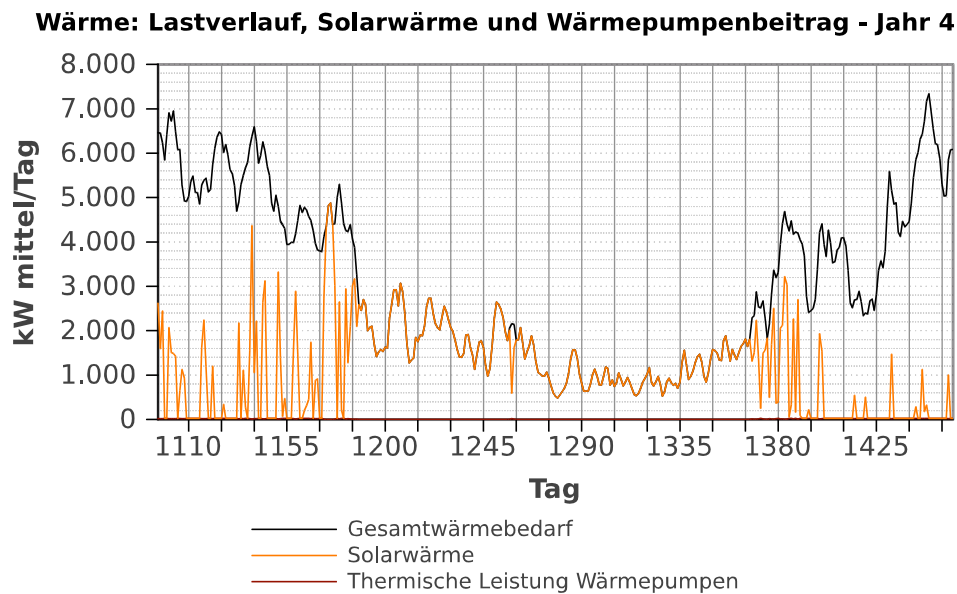


Abbildung 165: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.14.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

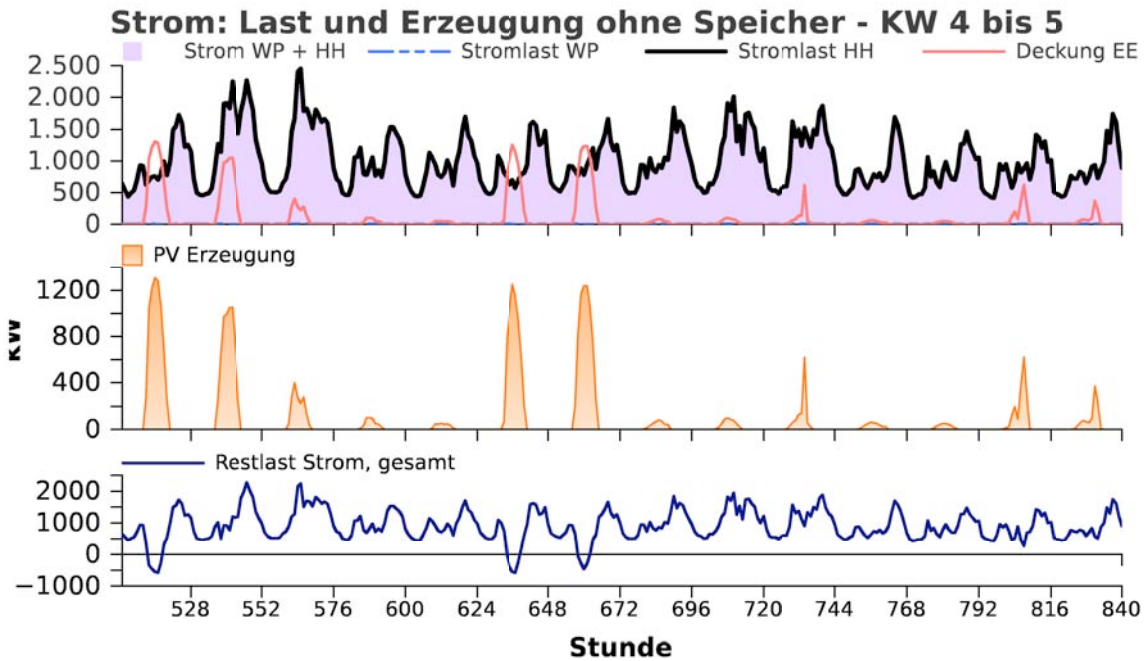


Abbildung 166: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

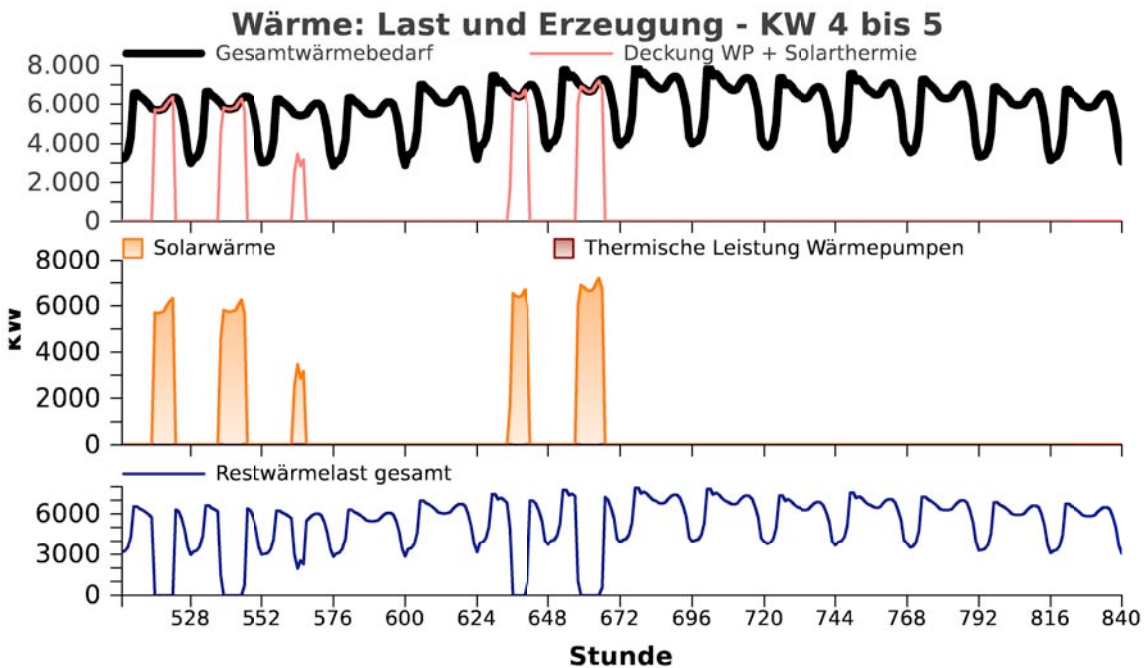


Abbildung 167: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

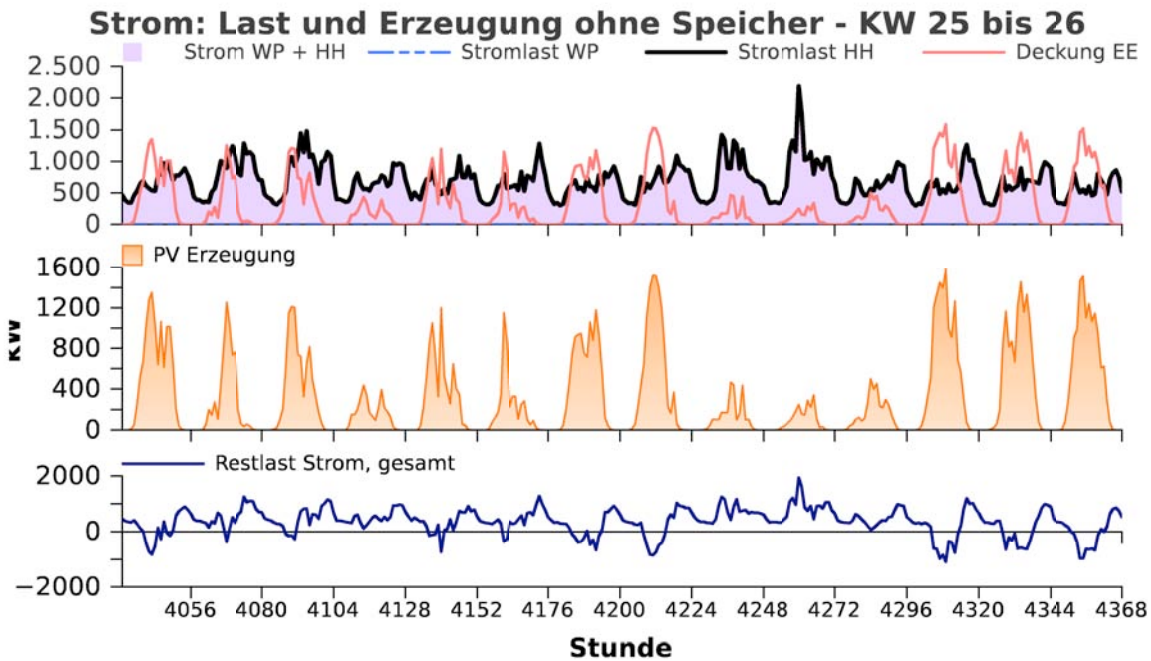


Abbildung 168: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

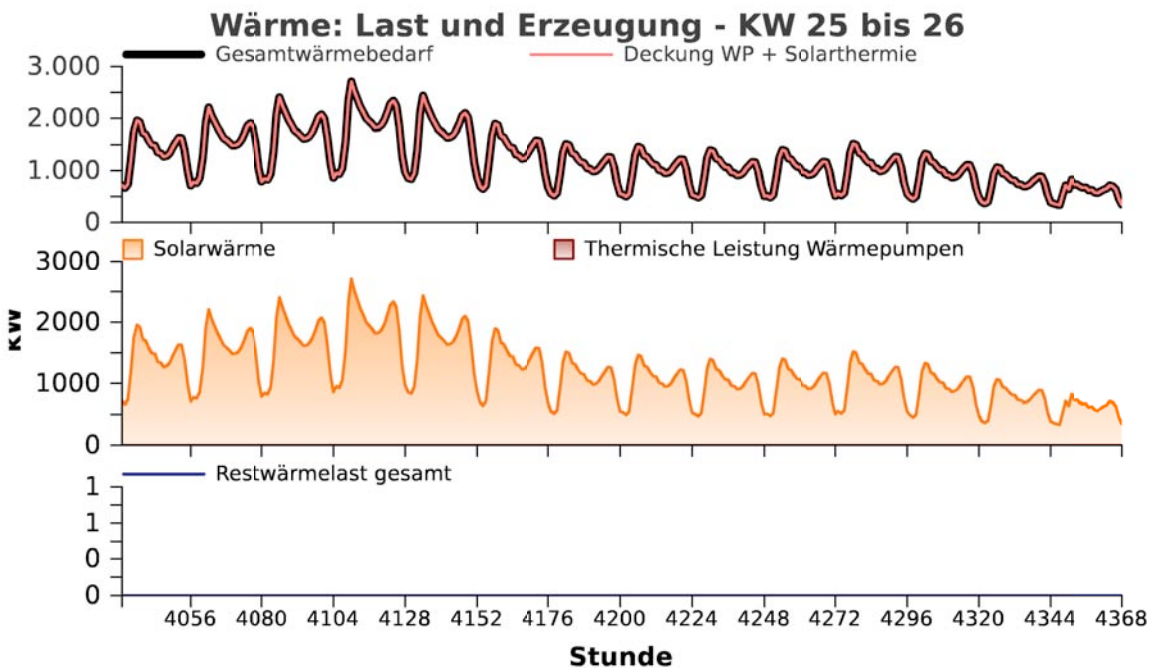


Abbildung 169: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.15 Stadtraumtyp IXb (SRT IXb): Einfamilienhäuser Niedrigenergie**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 15,89 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 1,13%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 1,32 ha (0,16% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.15.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg ermöglicht der recht hohe Installationsumfang der Photovoltaik eine Stromerzeugung, die mehr als die Hälfte des Strombedarfs der Haushalte beträgt (knapp 59%). Durch den Mehrverbrauch aus dem Betrieb der Wärmepumpen fällt der Anteil der PV auf gut 52% des Gesamtstrombedarfs ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen verursacht einen Mehrverbrauch von knapp 13%, bemessen am Haushaltsstromverbrauch.

Einfamilienhäuser Niedrigenergie	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	1.055.973,5	620.869,5	435.104,0	134.206,8	569.310,8
Anteile in %	100,0%	58,8%	41,2%	12,7%	47,8%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>58,8%</b>		<b>52,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 63: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier nur noch einen Deckungsbeitrag von 27%, bzw. 24,5%, wenn auch der Wärmepumpenstrom berücksichtigt wird. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei Werten zwischen knapp 28% und gut 34% des Strombedarfs, je nachdem, ob der Anteil am reinen Haushaltsstromverbrauch oder dem Gesamtverbrauch inklusive Wärmepumpenstrom bemessen wird.

Einfamilienhäuser Niedrigenergie	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	1.055.973,5	620.869,5	435.104,0	134.206,8
Anteile in %	100,0%	58,8%	41,2%	12,7%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>1.055.973,5</b>		<b>766.208,6</b>	<b>898.026,8</b>
Anteile in %	100,0%		72,6%	75,5%
Überschüsse			-331.104,6	-328.715,9
Anteile in %			-31,4%	-27,6%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>289.764,9</b>	<b>292.153,5</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>27,4%</b>	<b>24,5%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 64: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung in beträchtlicher Höhe aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 167 kW und liegt damit über dem Eineinhalbfachen des Werts der maximalen Bezugslast der Haushalte (100 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (97,8 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder deutlich erhöht wird und letztendlich höher liegt als der ursprüngliche Wert (106,6 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 65).

Einfamilienhäuser Niedrigenergie	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	100,3	97,8	106,6
minimale Last <sup>1)</sup>	10,4	-167,1	-167,1

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 65: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 2.376 MWh. Hiervon können 838 MWh (gut 35%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 357 MWh (15%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit gut zur Hälfte gedeckt.

Einfamilienhäuser Niedrigenergie	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
Wärmelast	2.375.926,30	212,59	5,95	100,0%
Solarthermische Wärme	837.999,45	168,39	0,00	35,3%
Restwärmebedarf nach Solarthermie	1.537.926,85	212,59	0,00	64,7%
Wärmebeitrag aus Wärmepumpen	356.990,21	23,40	0,00	15,0%
Verbleibender Wärmebedarf	1.180.936,63	189,19	0,00	49,7%
Gesamtwärmedeckung	1.194.989,67	Gesamtdeckungsgrad Wärme		50,3%

Tabelle 66: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.15.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.15.2.1 Strom

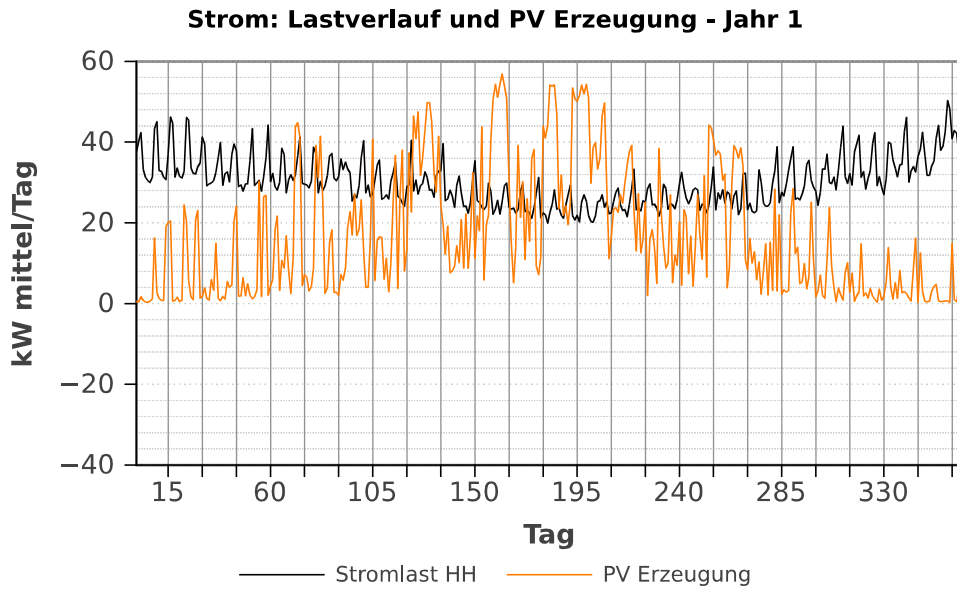


Abbildung 170: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

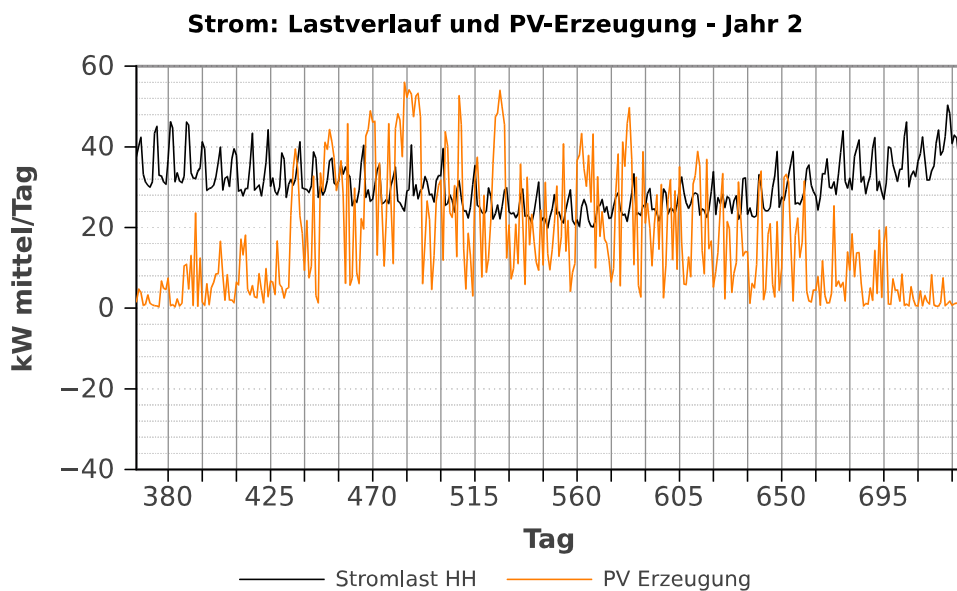


Abbildung 171: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

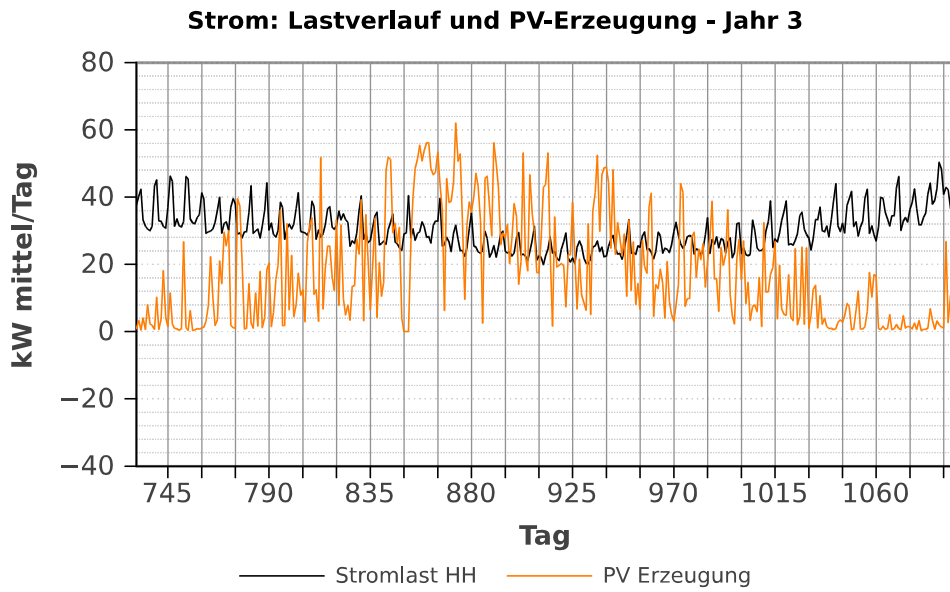


Abbildung 172: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

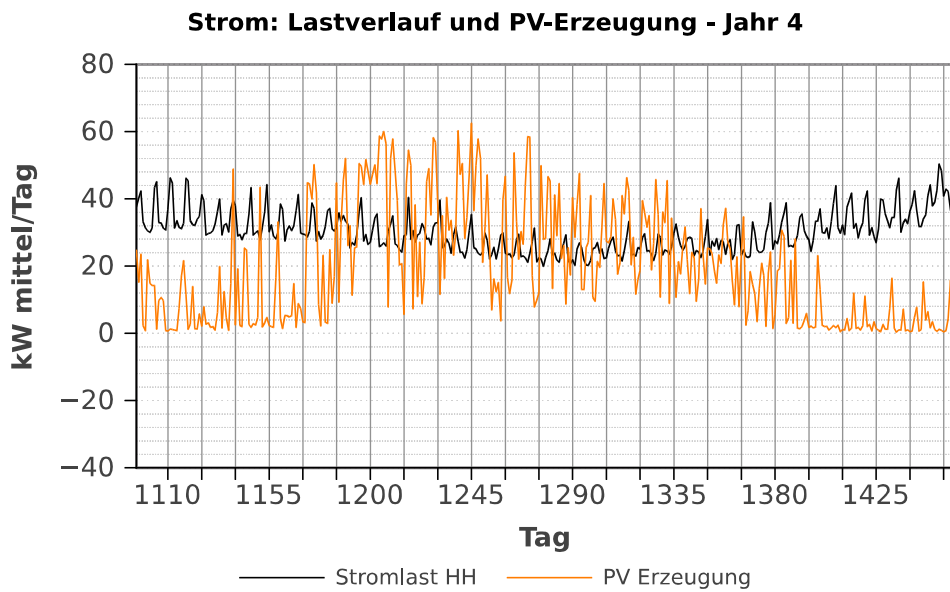


Abbildung 173: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.



7.2.15.2.2 Wärme

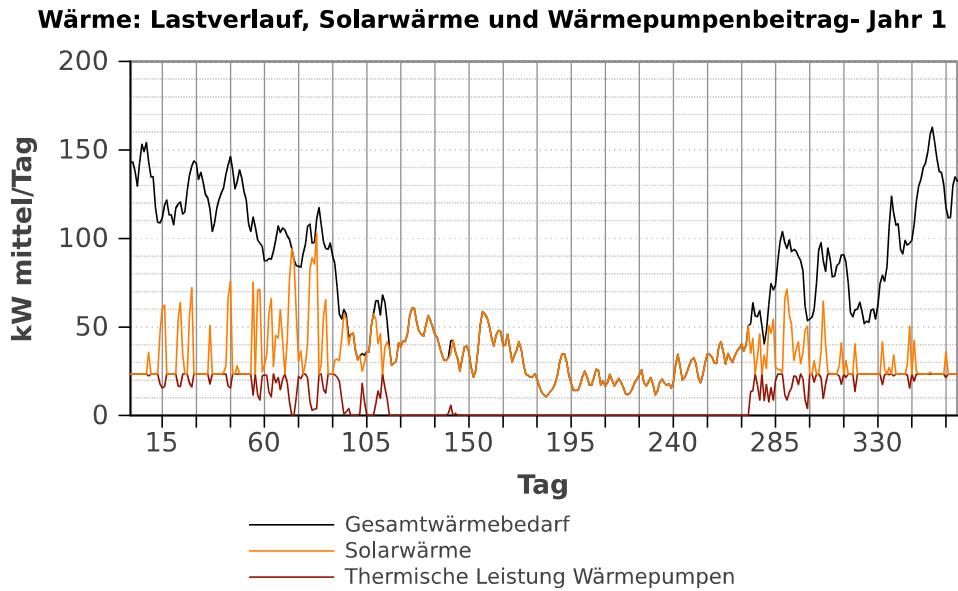


Abbildung 174: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

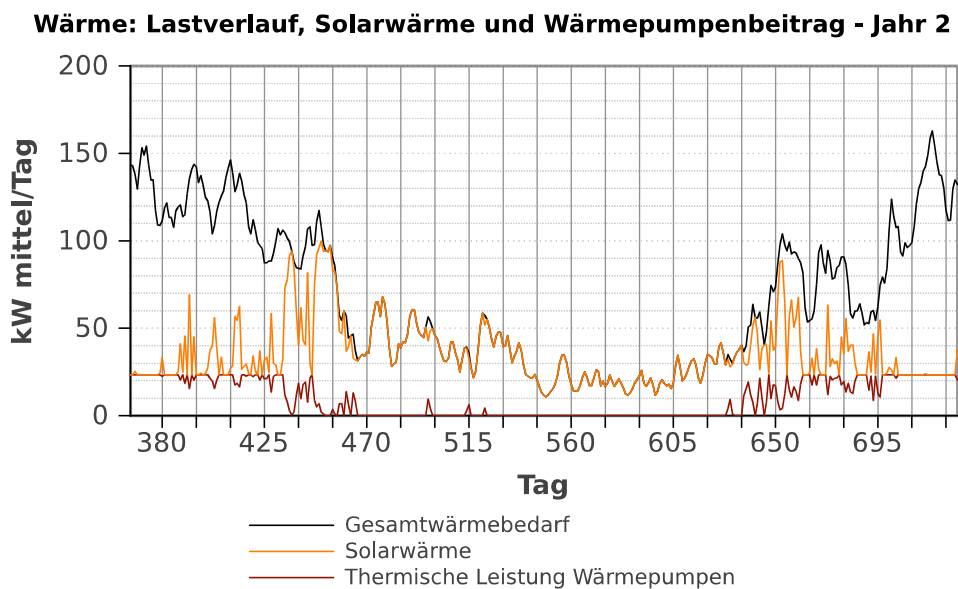


Abbildung 175: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

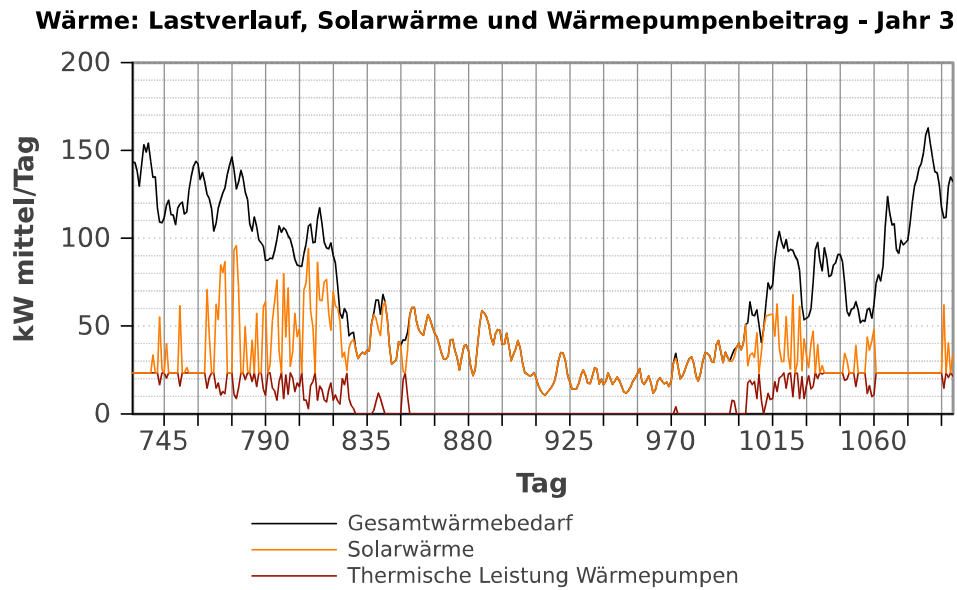


Abbildung 176: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

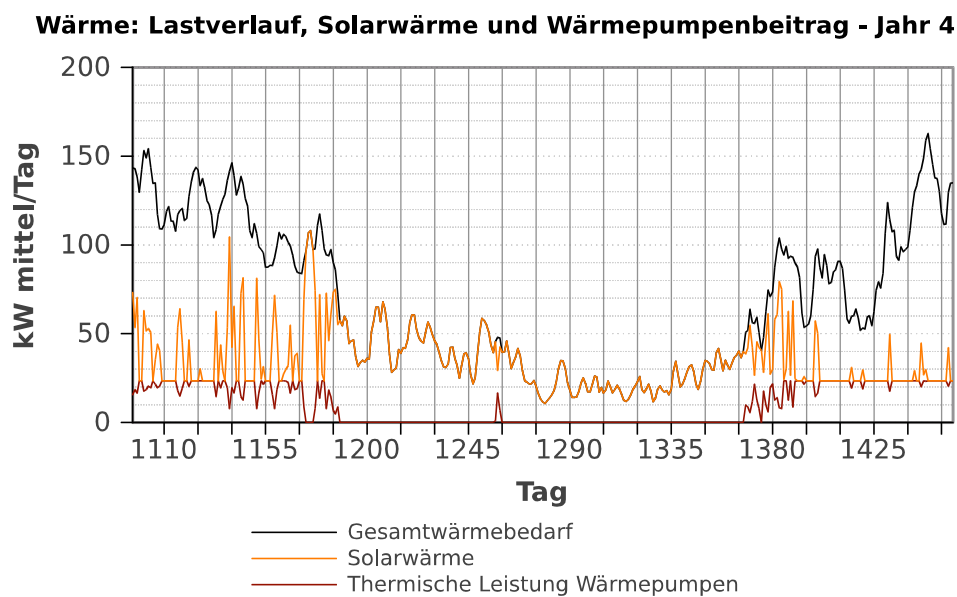


Abbildung 177: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.15.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

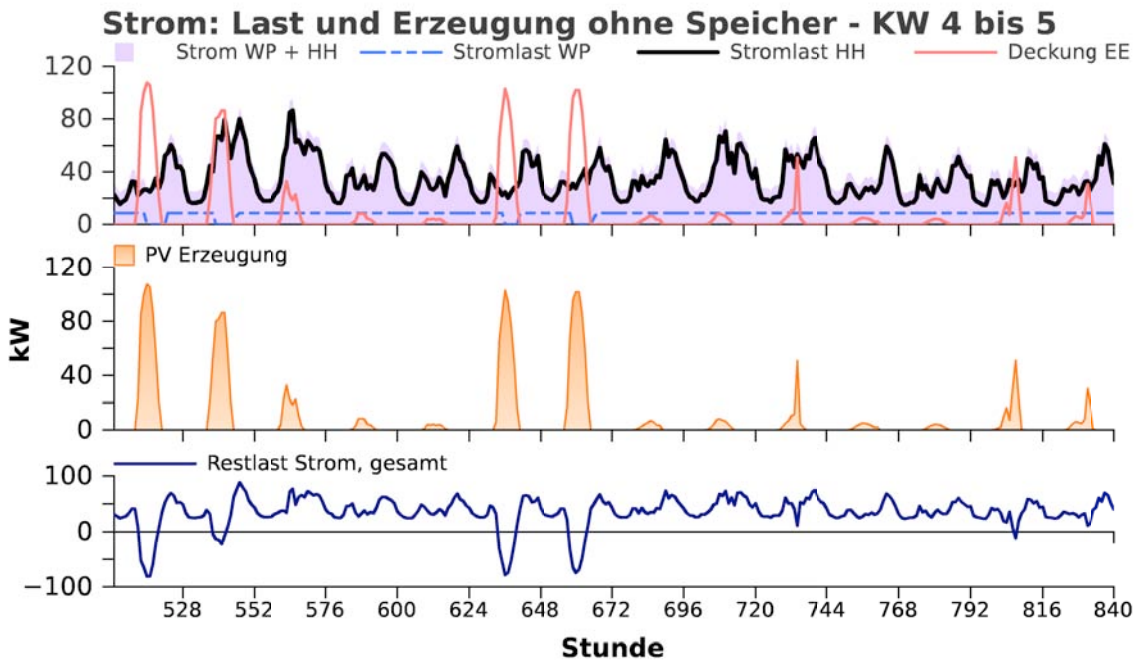


Abbildung 178: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

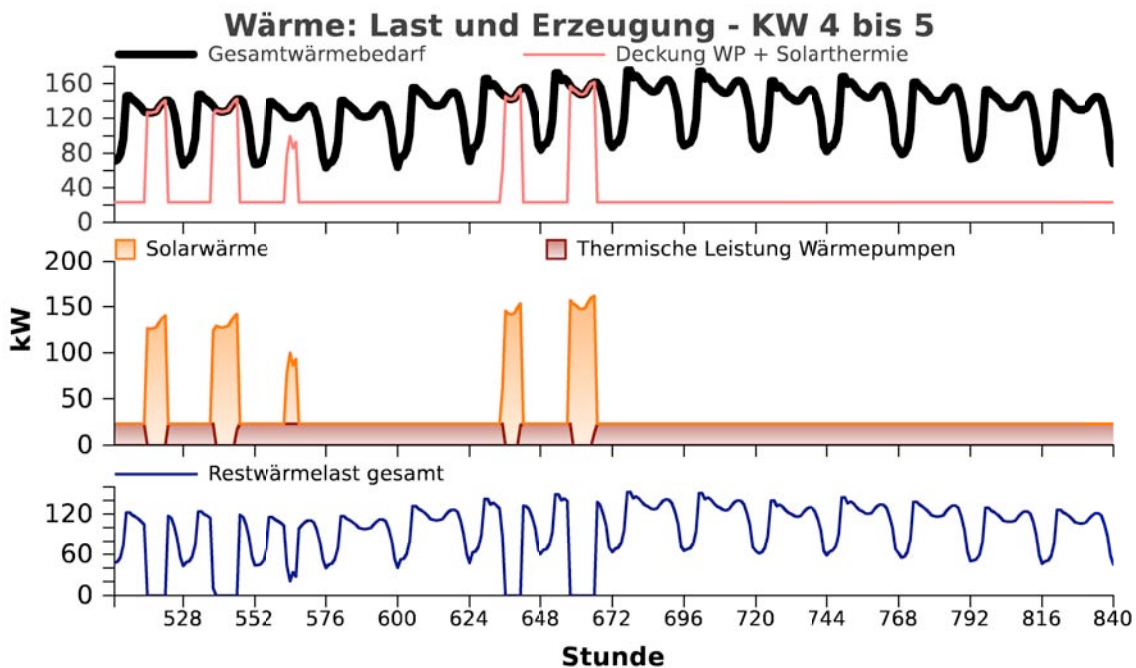


Abbildung 179: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

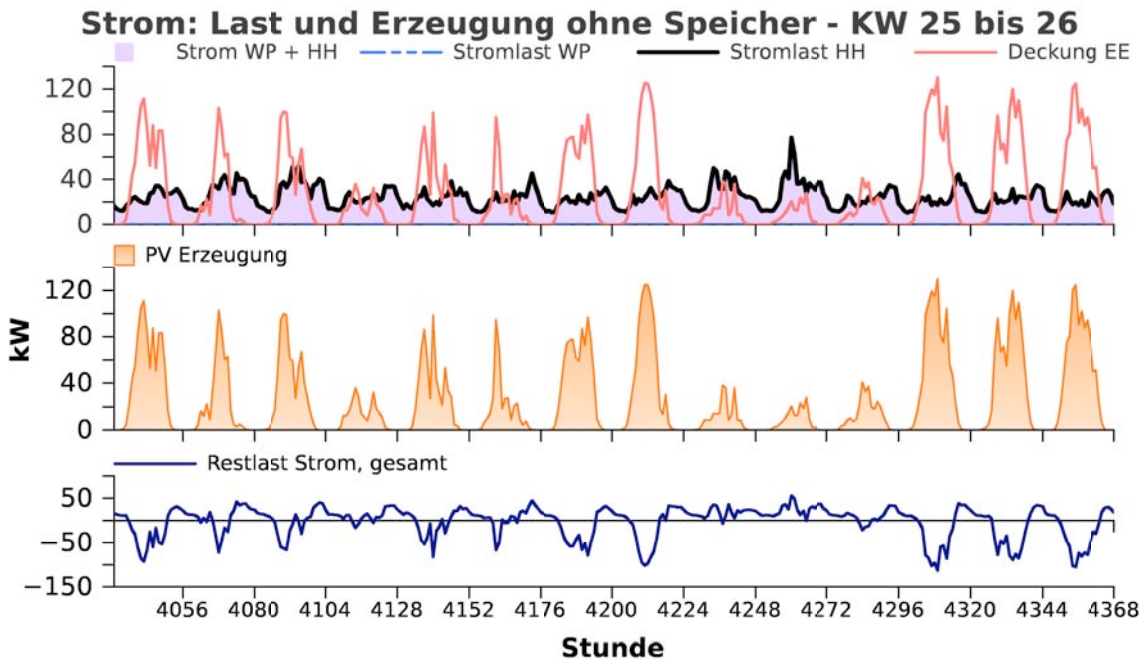


Abbildung 180: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

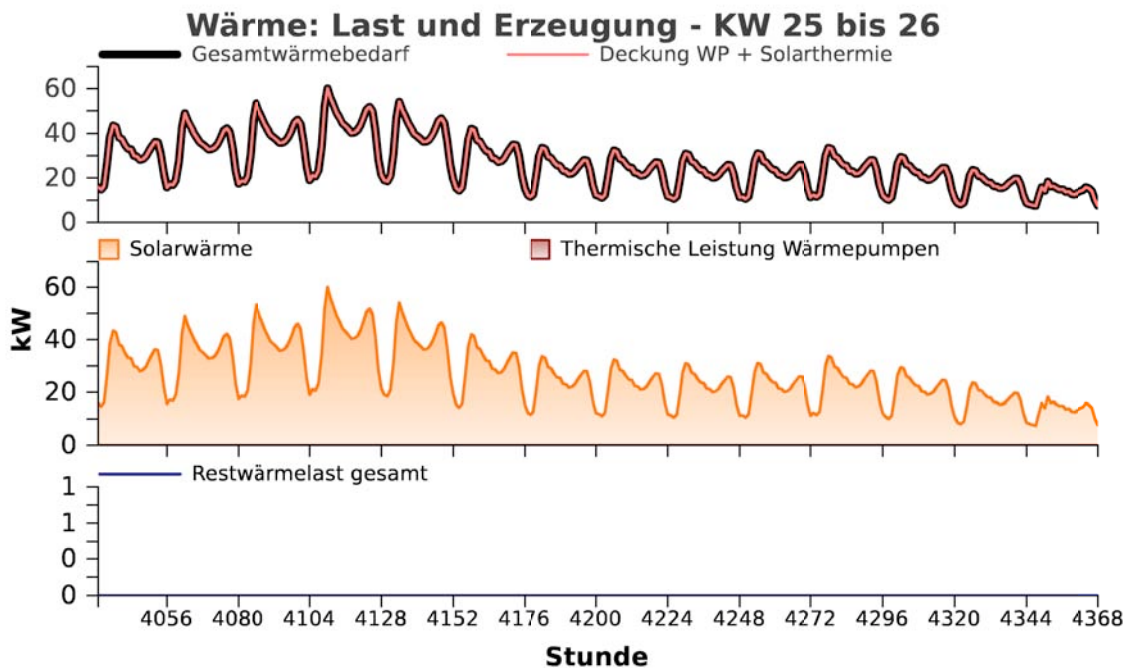


Abbildung 181: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.16 Stadtraumtyp IXb+ (SRT IXb+): Einfamilienhäuser  
Passivhausstandard**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 79,48 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 5,68%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 11,49 ha (1,36% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.16.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg ermöglicht der recht hohe Installationsumfang der Photovoltaik eine Stromerzeugung, die knapp die Hälfte des Strombedarfs der Haushalte beträgt (46,9%). Durch den Mehrverbrauch aus dem Betrieb der Wärmepumpen fällt der Anteil der PV geringfügig auf 46,2% des Gesamtstrombedarfs ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen verursacht einen Mehrverbrauch von 1,5%, bemessen am Haushaltsstromverbrauch.

Einfamilienhäuser Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV- Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	9.191.769,2	4.311.163,9	4.880.605,4	142.092,3	5.022.697,7
Anteile in %	100,0%	46,9%	53,1%	1,5%	53,8%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>46,9%</b>		<b>46,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 67: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier nur noch einen Deckungsbeitrag von 25,5%, bzw. 25,1%, wenn auch der Wärmepumpenstrom berücksichtigt wird. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei Werten um 21% des Strombedarfs.

Einfamilienhäuser Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	9.191.769,2	4.311.163,9	4.880.605,4	142.092,3
Anteile in %	100,0%	46,9%	53,1%	1,5%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>9.191.769,2</b>		<b>6.850.438,3</b>	<b>6.990.367,2</b>
Anteile in %	100,0%		74,5%	74,9%
Überschüsse			-1.969.832,9	-1.967.669,5
Anteile in %			-21,4%	-21,1%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>2.341.331,0</b>	<b>2.343.494,3</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>25,5%</b>	<b>25,1%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 68: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung in beträchtlicher Höhe aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 1.114 kW und liegt damit um mehr als ein Viertel über dem Wert der maximalen Bezugslast der Haushalte (873 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (855 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder erhöht wird, aber unterhalb des ursprünglichen Werts verbleibt (865 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 69).

<b>Einfamilienhäuser Passivhausstandard</b>	<b>Stromverbrauch SRT</b>	<b>nach PV-Erzeugung</b>	<b>nach Wärmepumpen</b>
<b>Jahr 1</b>	<b>[kW]</b>	<b>[kW]</b>	<b>[kW]</b>
<b>maximale Last</b>	873,3	855,4	864,7
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	90,2	-1.114,4	-1.114,4

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 69: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 13.666 MWh. Hiervon können 4.821 MWh (gut 35%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 378 MWh (2,8%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit zu 38% gedeckt.

<b>Einfamilienhäuser Passivhausstandard</b>	<b>Gesamtmenge</b>	<b>Höchstwert</b>	<b>Niedrigstwert</b>	<b>Anteile</b>
<b>Alle 4 Jahre</b>	<b>in kWh</b>	<b>in kW</b>	<b>in kW</b>	<b>in %</b>
<b>Wärmelast</b>	<b>13.666.241,67</b>	1.222,79	34,21	100,0%
<b>Solarthermische Wärme</b>	<b>4.821.165,43</b>	968,58	0,00	35,3%
<b>Restwärmebedarf nach Solarthermie</b>	<b>8.845.076,25</b>	1.222,79	0,00	64,7%
<b>Wärmebeitrag aus Wärmepumpen</b>	<b>377.965,47</b>	24,63	0,00	2,8%
<b>Verbleibender Wärmebedarf</b>	<b>8.467.110,78</b>	1.198,16	0,00	62,0%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>5.199.130,89</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>38,0</b>

Tabelle 70: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.16.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.16.2.1 Strom

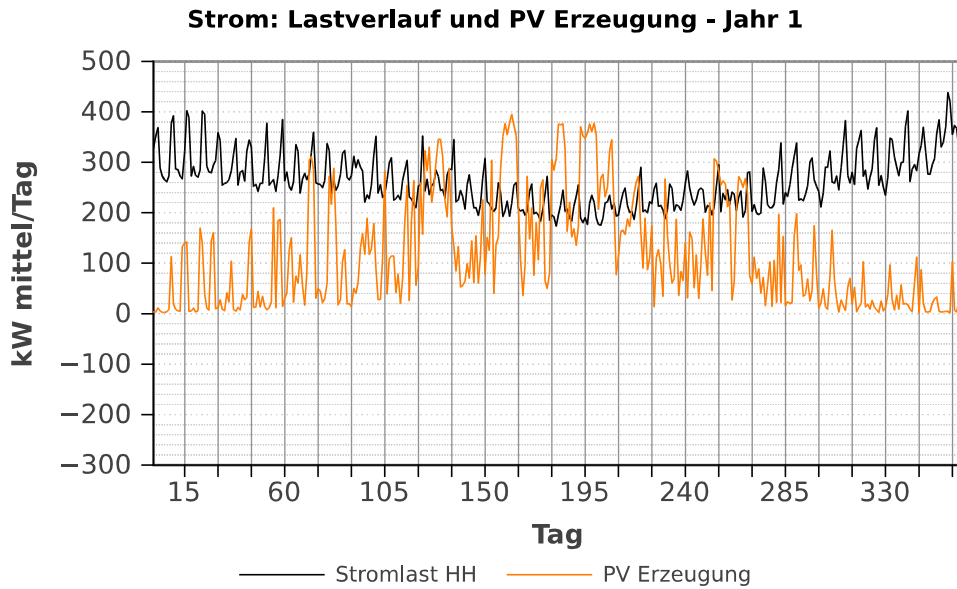


Abbildung 182: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

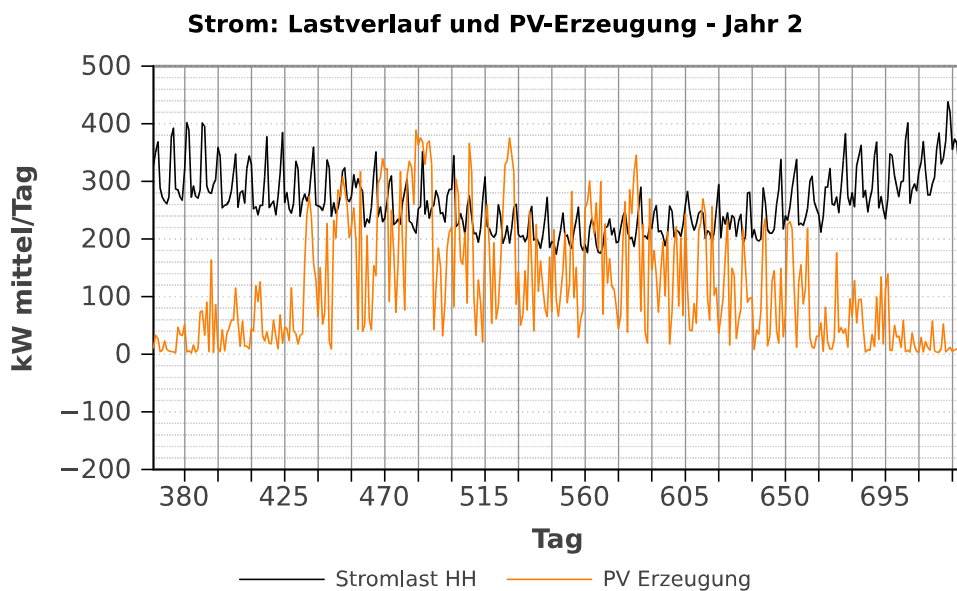


Abbildung 183: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

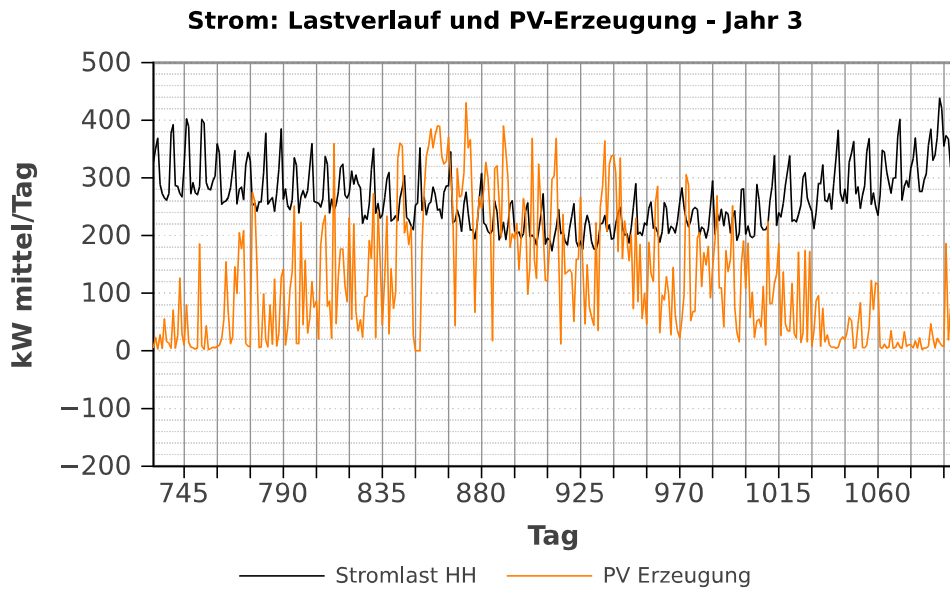


Abbildung 184: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

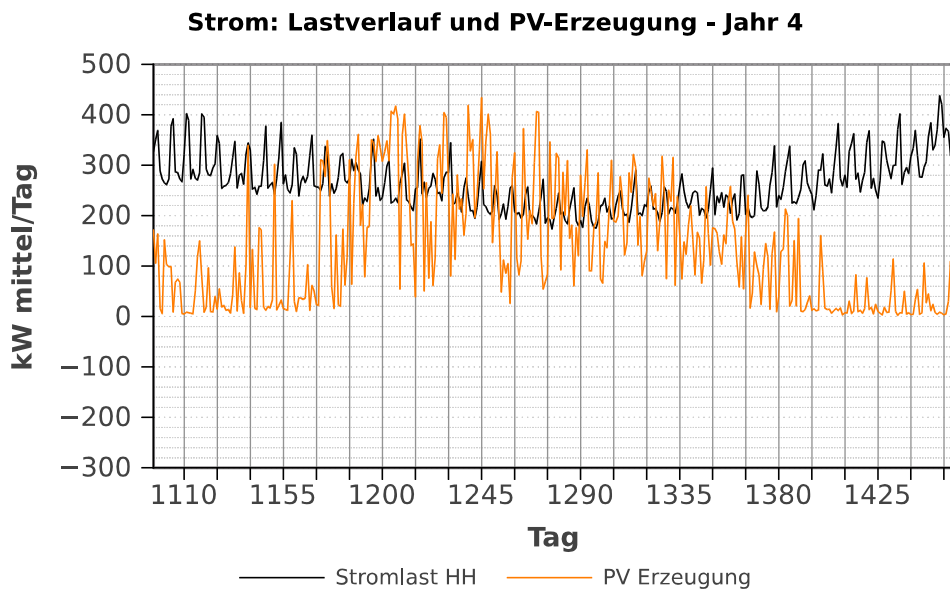
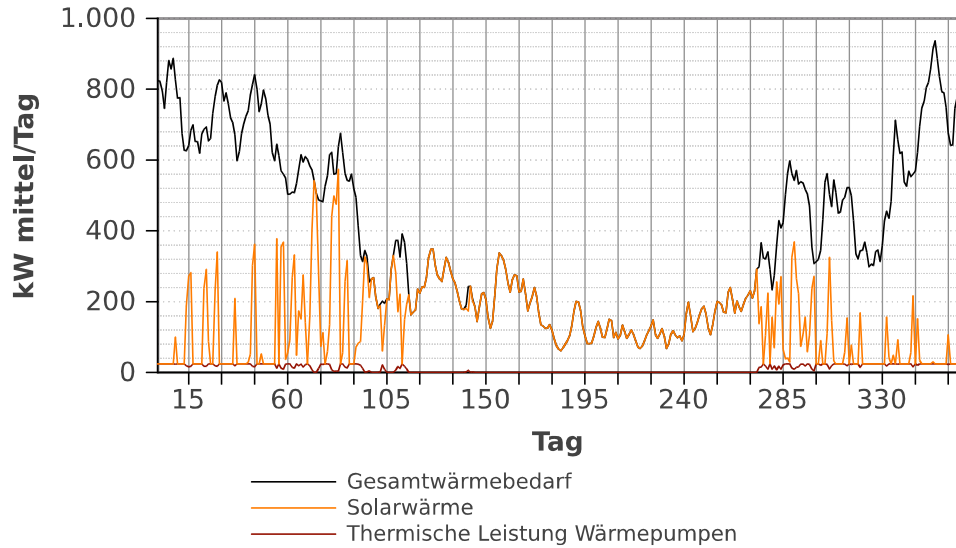


Abbildung 185: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.



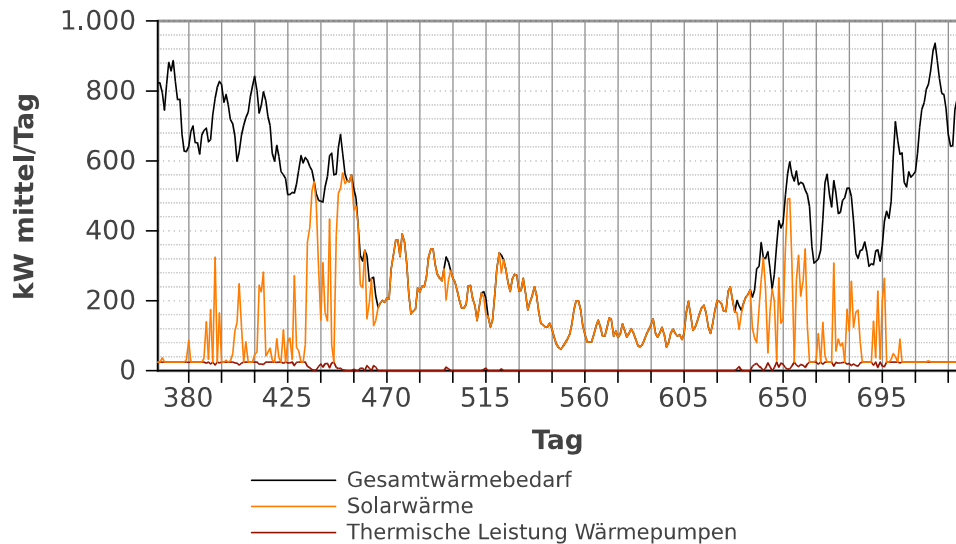
7.2.16.2.2 Wärme

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag- Jahr 1**



**Abbildung 186: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 2**



**Abbildung 187: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**

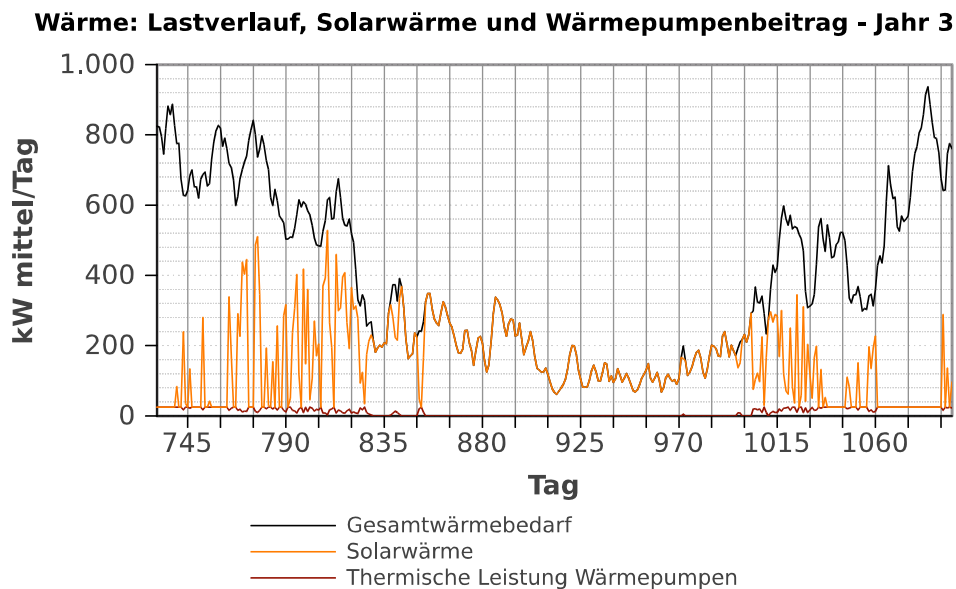


Abbildung 188: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

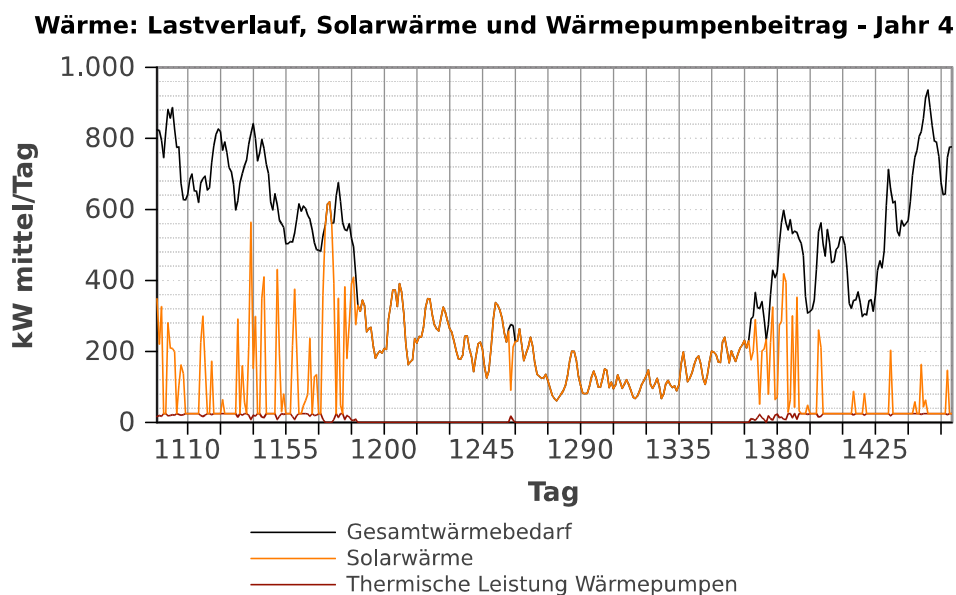


Abbildung 189: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.16.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

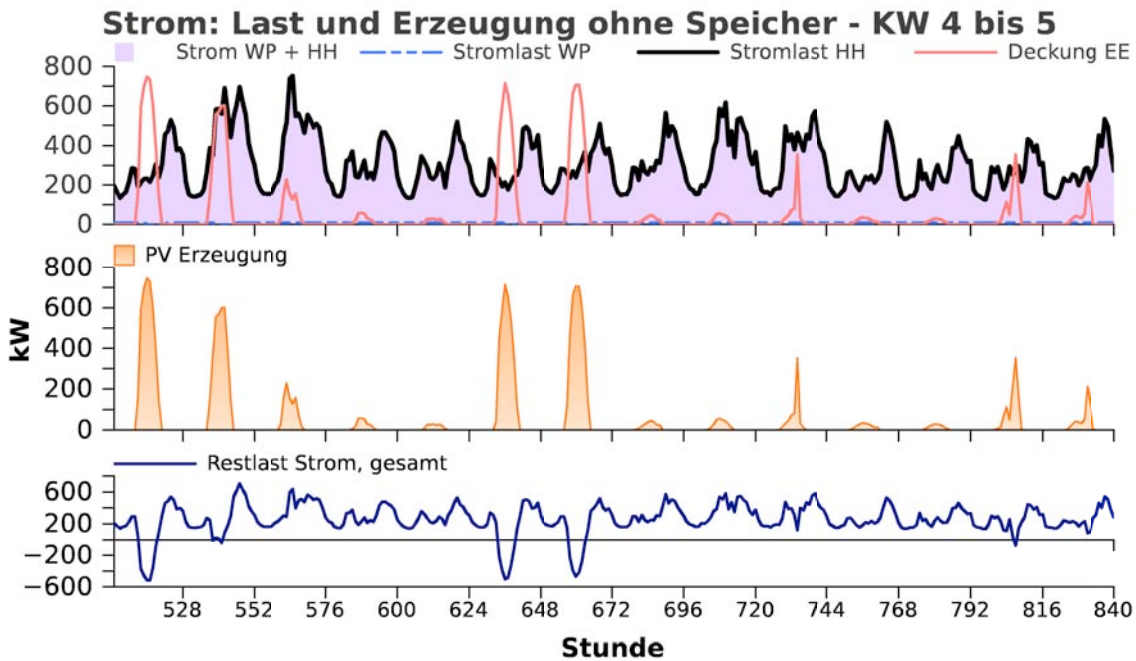


Abbildung 190: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

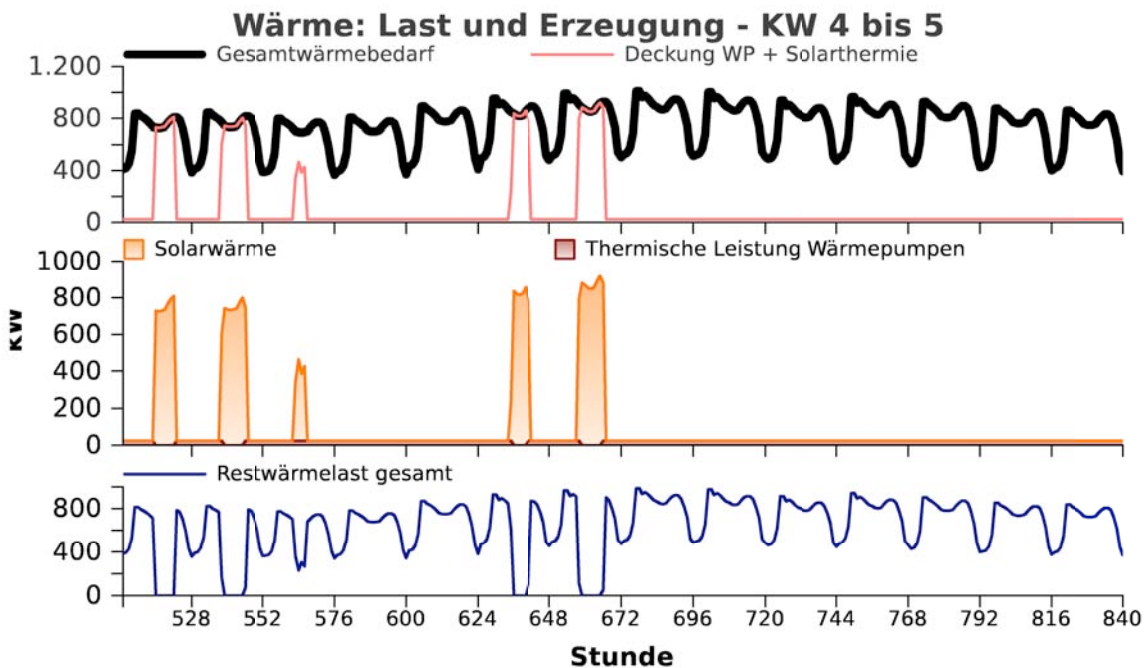


Abbildung 191: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

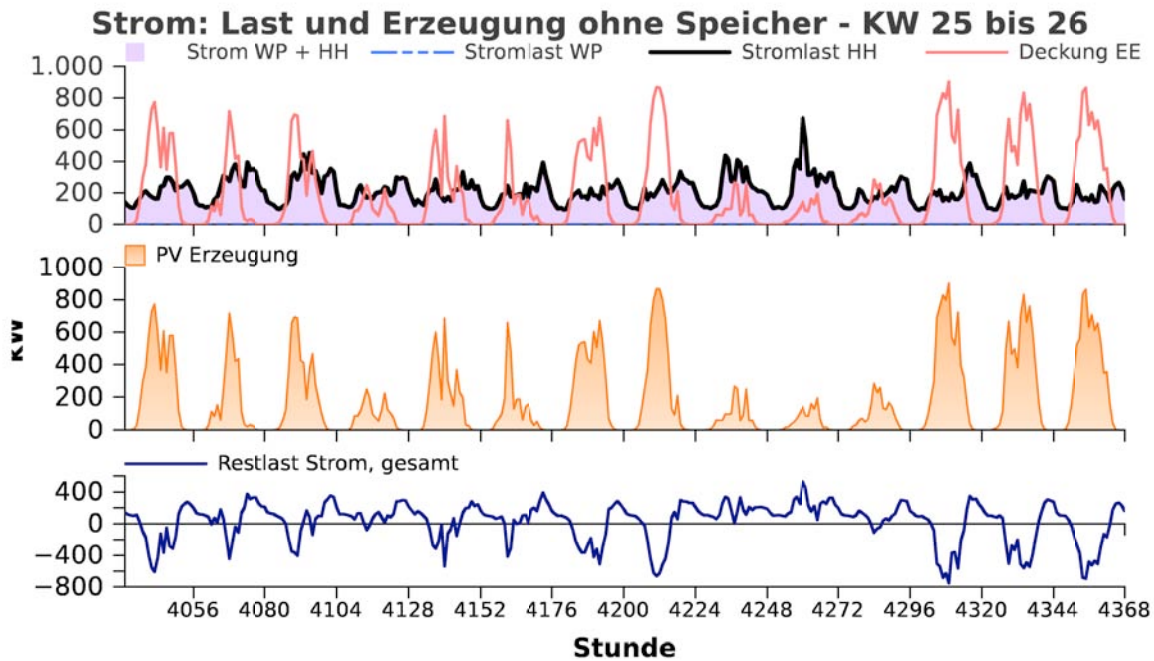


Abbildung 192: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

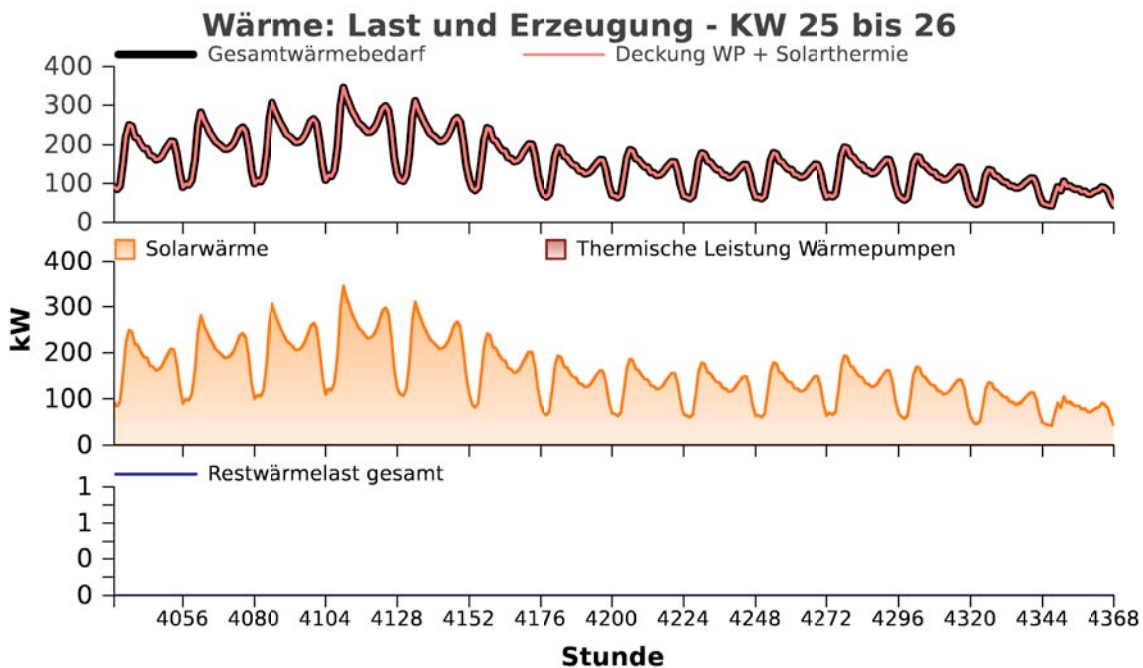


Abbildung 193: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.17 Stadtraumtyp Xa (SRT Xa): Gewerbe**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 228,54 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 16,26%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 187,01 ha (22,12% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.17.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 36% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Der Umfang der Nutzung von Wärmepumpen und der damit einhergehende geringe Mehrverbrauch an Strom führen dazu, dass auch inklusive des Wärmepumpenstroms der Anteil der PV praktisch unverändert bleibt.

Der Betrieb der Wärmepumpen fällt in Bezug auf die Ergebnisse für diesen Stadtraumtyp nicht ins Gewicht.

Gewerbe	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	291.731.257,0	105.856.597,1	185.874.659,8	61.515,4	185.936.175,2
Anteile in %	100,0%	36,3%	63,7%	0,0%	63,7%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>36,3%</b>		<b>36,3%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 71: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Geht man über die statische Betrachtung der verbrauchten und erzeugten Strommengen hinaus und beachtet auch den dynamischen Verlauf der Stromversorgung mit verbleibenden Erzeugungsdefiziten und nicht lokal nutzbaren Erzeugungsüberschüssen, reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Strombedarfs auf 24,7% des Strombedarfs.

Auftretende Leistungsüberschüsse aus der PV führen dazu, dass PV-Strom in einem Umfang von beinahe 12% des gesamten Strombedarfs in andere Netzgebiete abgesetzt werden muss.

Gewerbe	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	291.731.257,0	105.856.597,1	185.874.659,8	61.515,4
Anteile in %	100,0%	36,3%	63,7%	0,0%
Last (Defizit)	<b>291.731.257,0</b>		<b>219.610.544,3</b>	<b>219.671.511,0</b>
Anteile in %	<b>100,0%</b>		<b>75,3%</b>	<b>75,3%</b>
Überschüsse			-33.735.884,5	-33.735.335,8
Anteile in %			-11,6%	-11,6%
Lastdeckung (dynamisch)			<b>72.120.712,6</b>	<b>72.121.261,4</b>
Deckungsgrad (dynamisch)			<b>24,7%</b>	<b>24,7%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 72: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses, d.h. elektrische Leistung muss aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei 28.549 kW, was mehr als das Doppelte des maximalen Leistungsbezugs aus dem allgemeinen Stromnetz ist. Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung zu beziehenden Leistung findet in geringem Umfang statt (von 12.548 kW auf 12.355 kW, Tabelle 73).

Gewerbe	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	12.548,2	12.354,9	12.358,9
minimale Last <sup>1)</sup>	3.866,8	-28.548,5	-28.548,5

- 1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 73: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

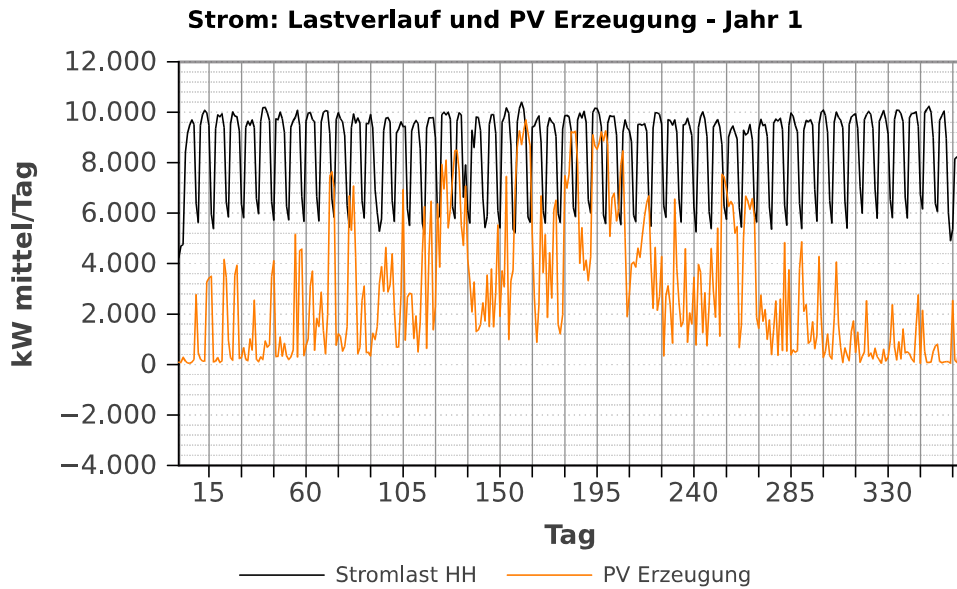
Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 510.904 MWh. Hiervon können etwa 180.244 MWh (35,3%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden. Wärmepumpen tragen, mit 164 MWh nur unmerklich zur Wärmedeckung bei. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit zu 35,3% gedeckt.

Gewerbe	Gesamtmenge in kWh	Höchstwert in kW	Niedrigstwert in kW	Anteile in %
Alle 4 Jahre				
Wärmelast	510.904.448,23	45.713,25	1.279,01	100,0%
Solarthermische Wärme	180.244.275,78	36.209,84	0,00	35,3%
Restwärmebedarf nach Solarthermie	330.660.172,45	45.713,25	0,00	64,7%
Wärmebeitrag aus Wärmepumpen	163.630,95	10,65	0,00	0,0%
Verbleibender Wärmebedarf	330.496.541,50	45.702,60	0,00	64,7%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>180.407.906,73</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>35,3%</b>

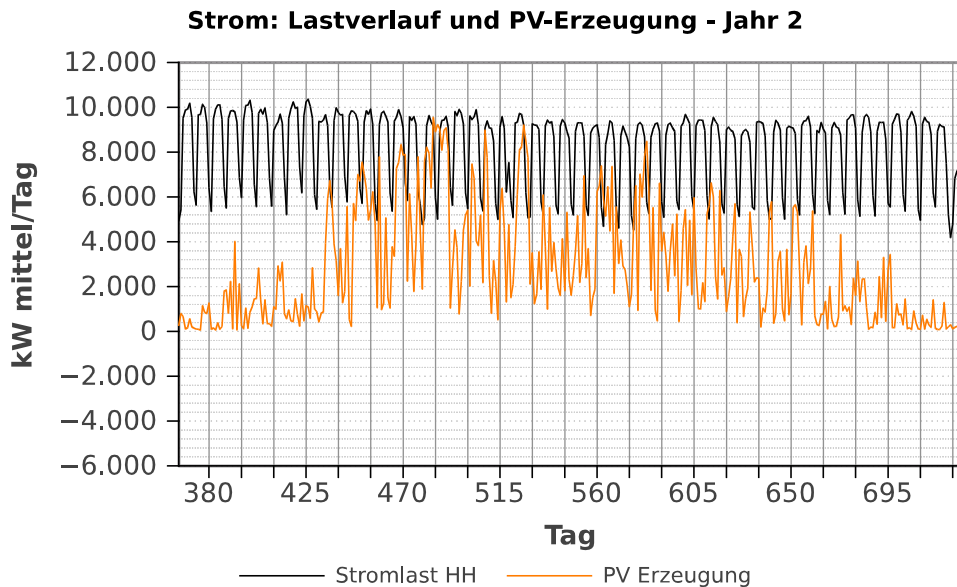
Tabelle 74: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.17.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.17.2.1 Strom



**Abbildung 194: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**



**Abbildung 195: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**

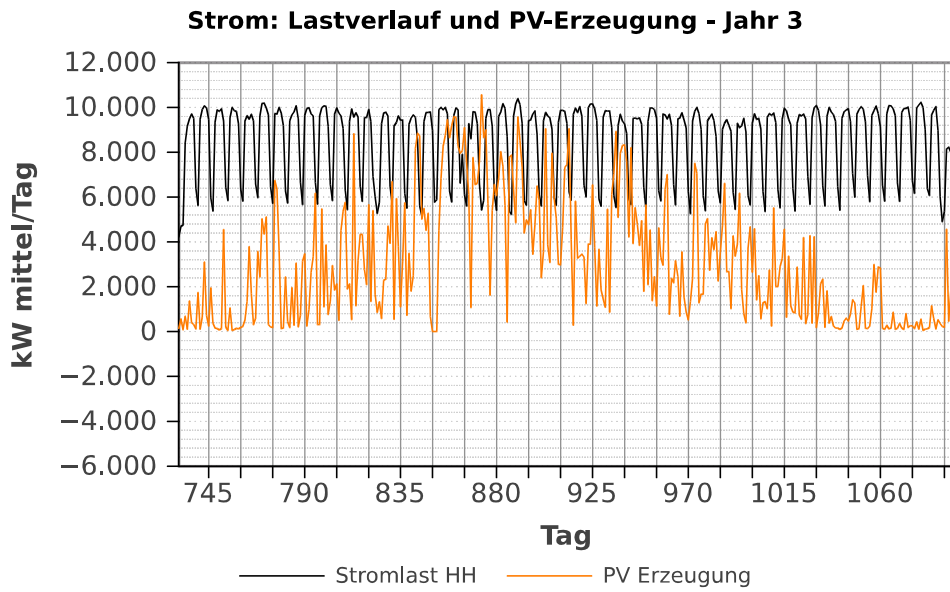


Abbildung 196: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

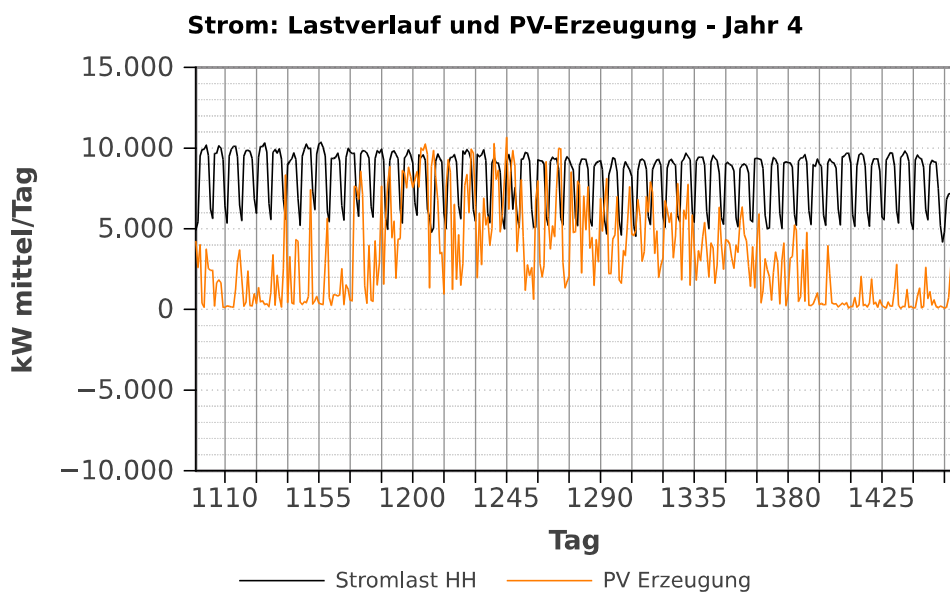


Abbildung 197: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.17.2.2 Wärme



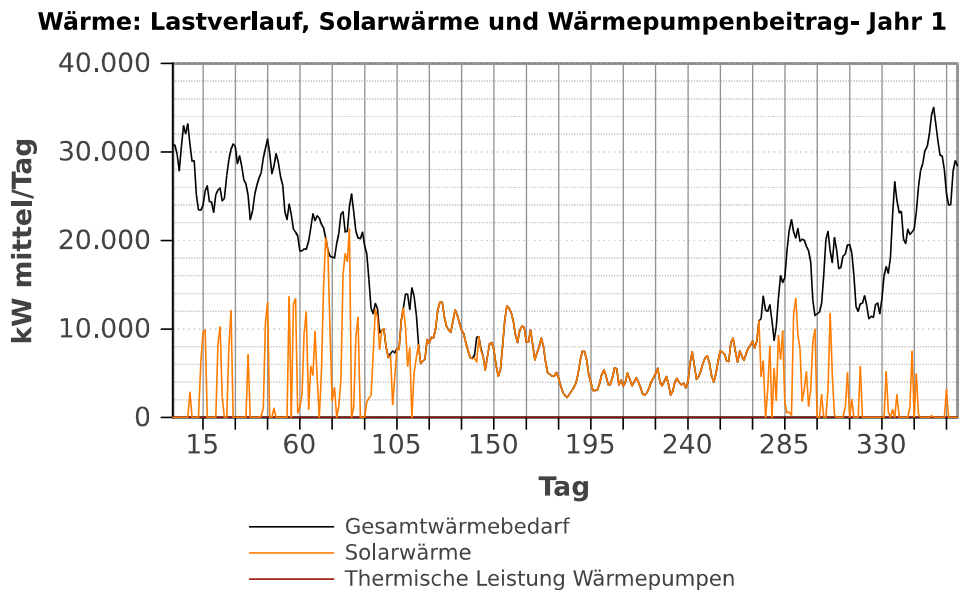


Abbildung 198: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

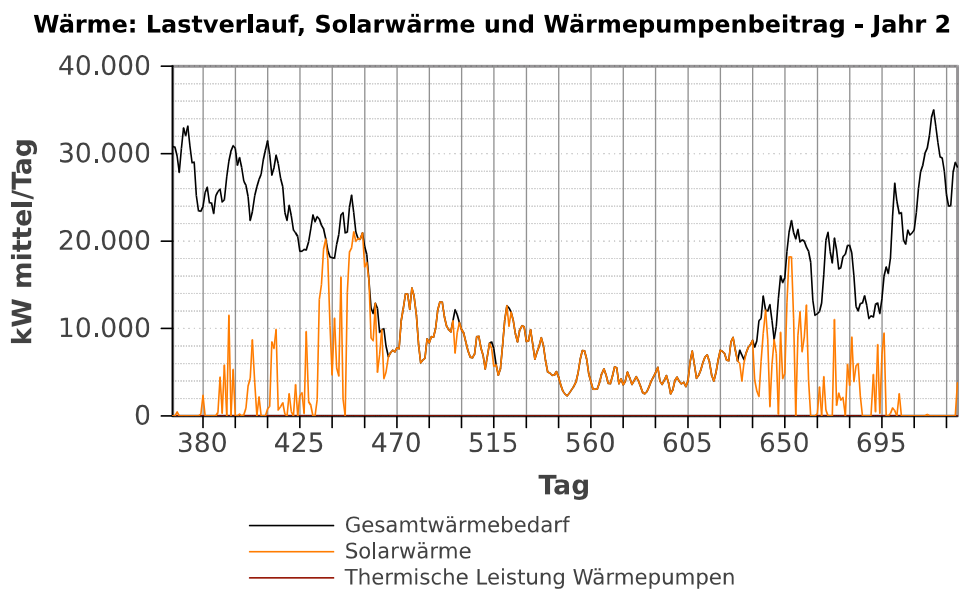


Abbildung 199: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

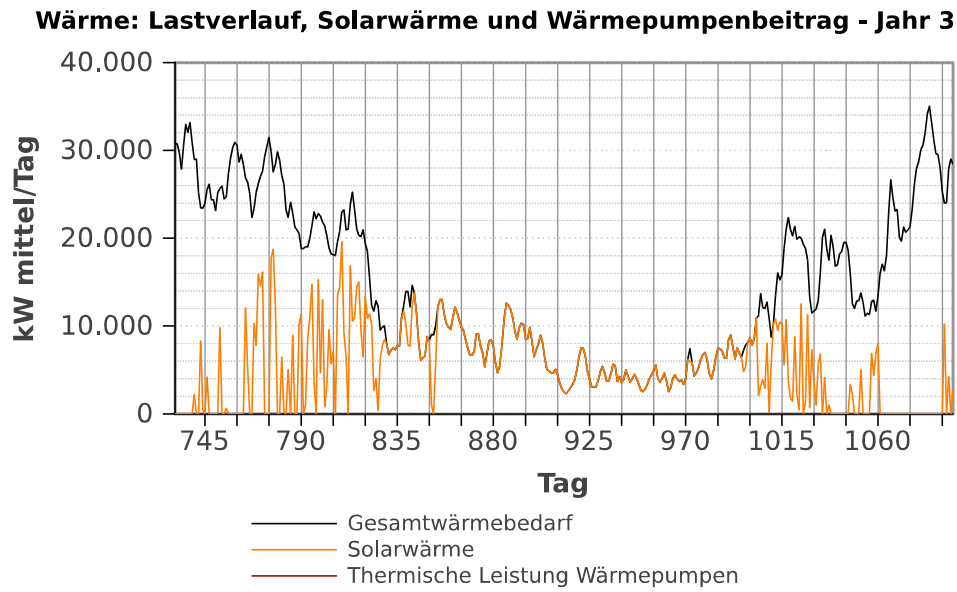


Abbildung 200: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

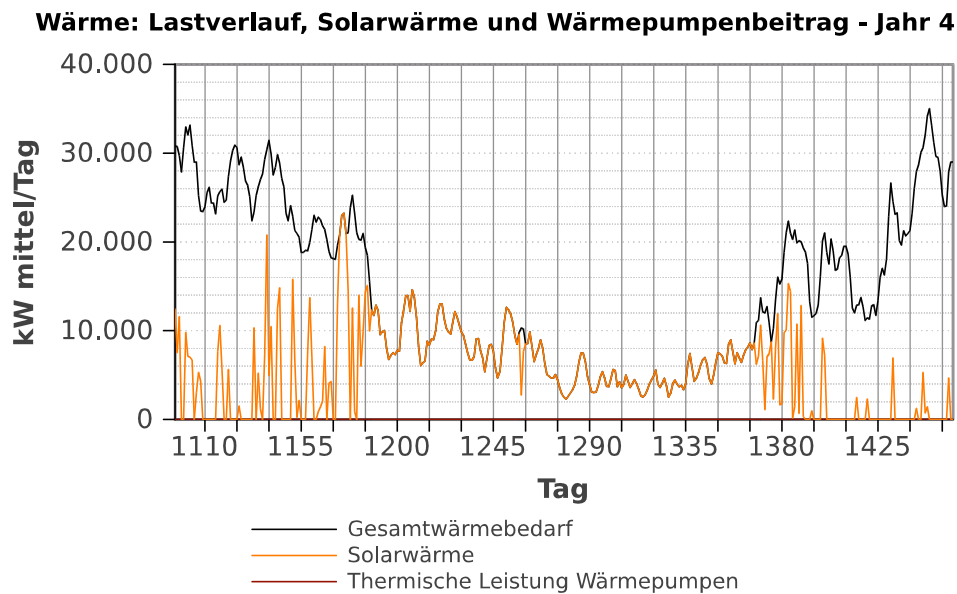


Abbildung 201: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.17.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

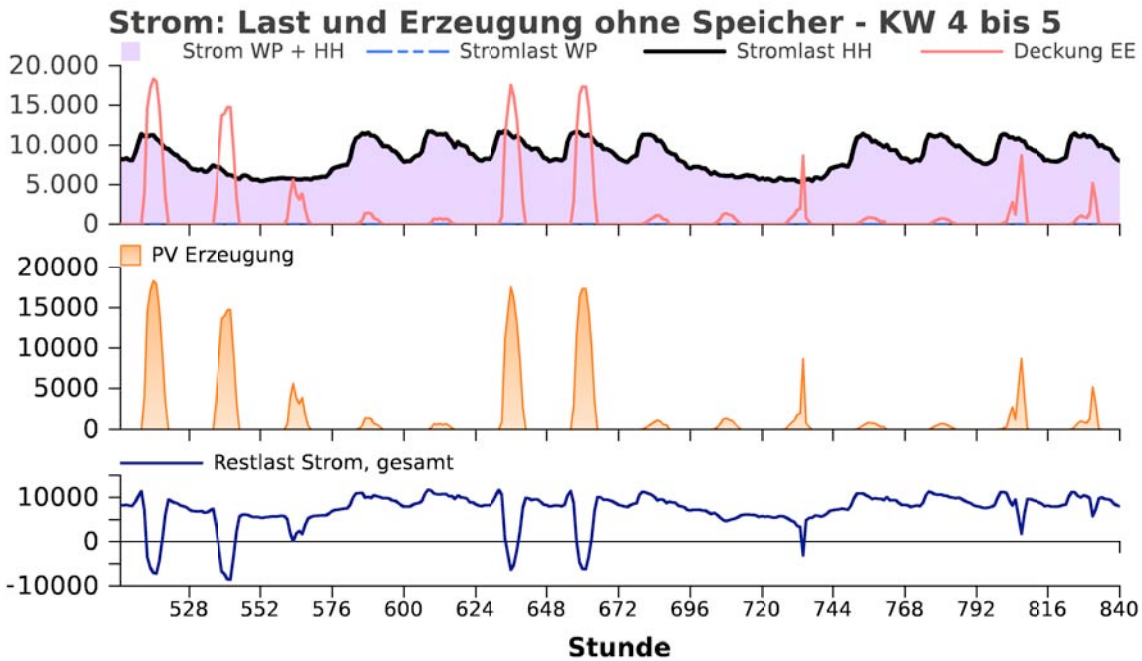


Abbildung 202: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

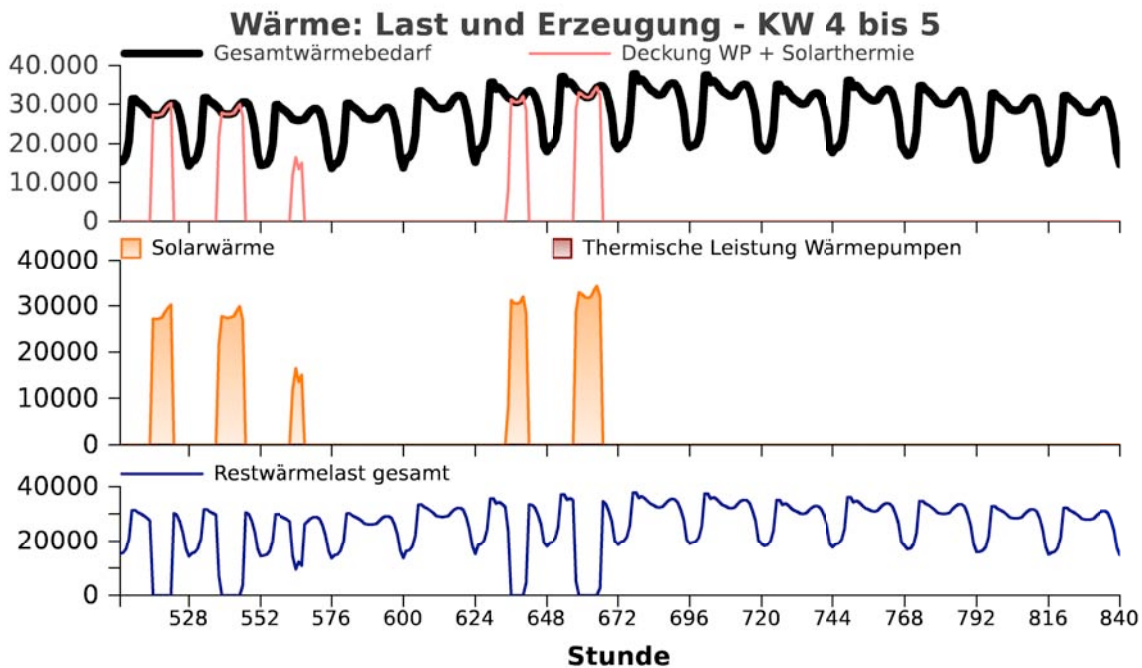


Abbildung 203: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

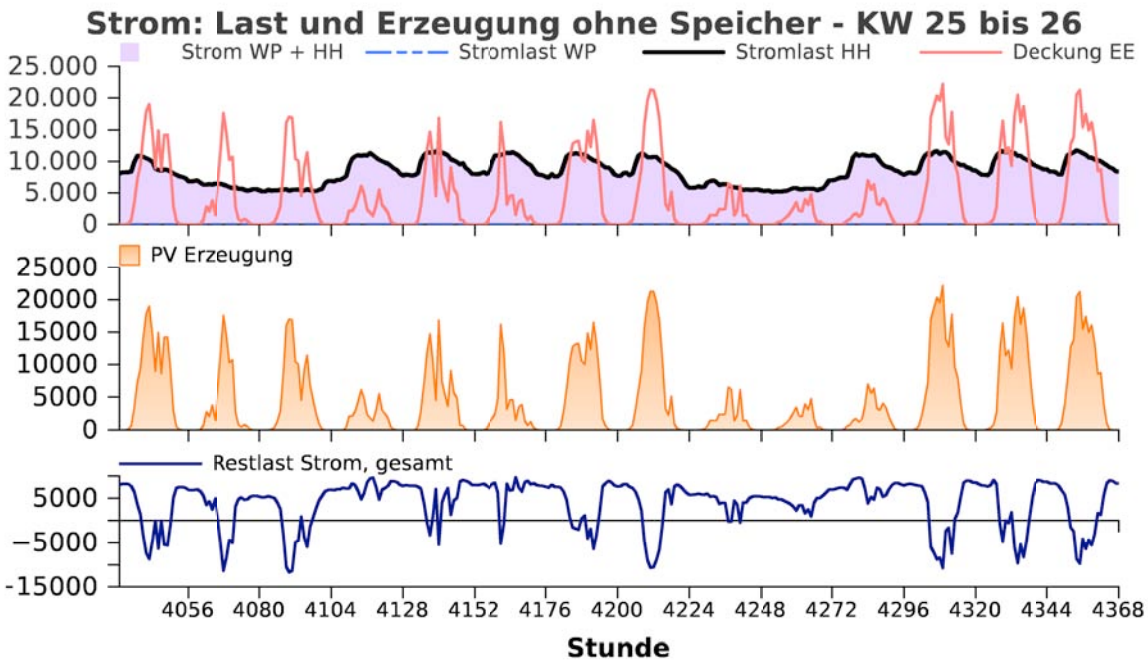


Abbildung 204: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

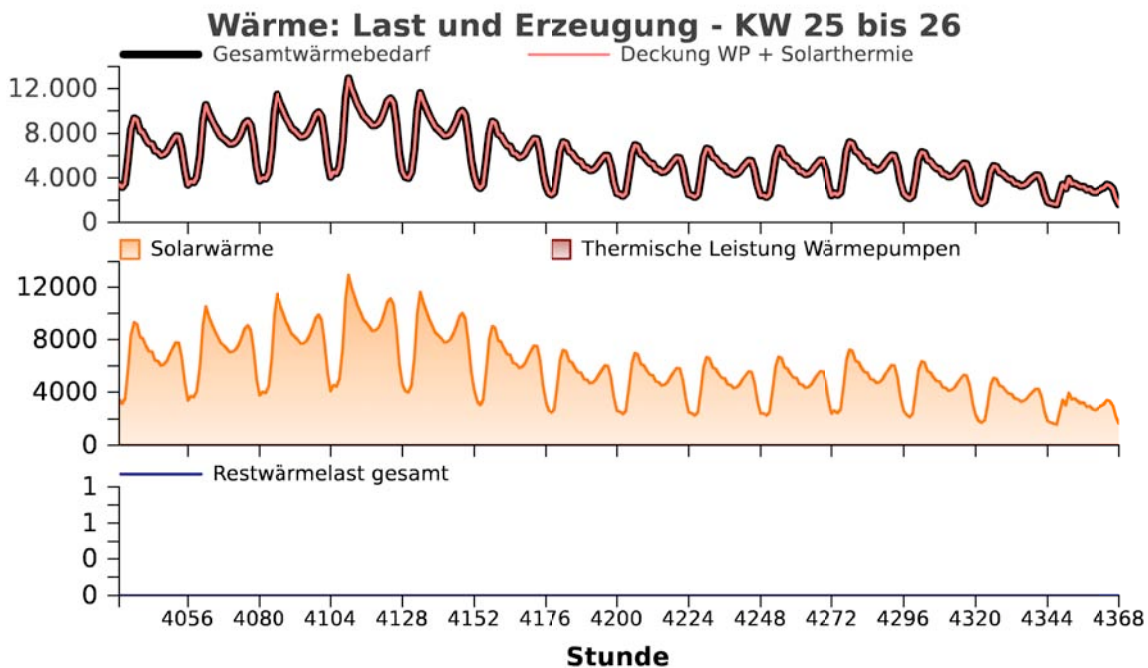


Abbildung 205: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.18 Stadtraumtyp Xa+ (SRT Xa+): Gewerbe Passivhausstandard**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 0,73 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 0,05%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 3,19 ha (0,38% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.18.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können fast 12% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Wird der zusätzliche Stromverbrauch der Wärmepumpen berücksichtigt, fällt der Anteil der PV aufgrund der geringen Wärmepumpennutzung um lediglich 0,2% ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt 14% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Gewerbe Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	4.976.325,9	576.465,4	4.399.860,6	68.576,6	4.468.437,2
Anteile in %	100,0%	11,6%	88,4%	1,4%	88,6%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>11,6%</b>		<b>11,4%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 75: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Der nur geringe Installationsumfang der PV wirkt sich dahingehend aus, dass der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung relativ gering ausfällt. In der dynamischen Bilanzierung über alle vier Jahre erreicht die PV einen Deckungsanteil von 11,4% des Haushaltsstroms (nur 0,2% weniger als in der statischen Bilanz), der auch unter Berücksichtigung des Wärmepumpenstroms nur leicht absinkt (11,2%). Der recht geringe Beitrag der PV führt dazu, dass auch kaum Strom in benachbarte Netze exportiert werden muss. Der Umfang notwendiger Exporte beläuft sich auf lediglich 0,2%, gemessen am gesamten Stromverbrauch.

Gewerbe Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	4.976.325,9	576.465,4	4.399.860,6	68.576,6
Anteile in %	100,0%	11,6%	88,4%	1,4%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>4.976.325,9</b>		<b>4.410.182,1</b>	<b>4.478.754,7</b>
Anteile in %	100,0%		88,6%	88,8%
Überschüsse			-10.321,6	-10.317,5
Anteile in %			-0,2%	-0,2%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>566.143,8</b>	<b>566.147,9</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>11,4%</b>	<b>11,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 76: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Trotzdem treten Erzeugungsüberschüsse auf, die zu einer Lastumkehr im lokalen Verteilernetz führen. Die notwendige Exportleistung beläuft sich auf ca. 91 kW, was weniger als der Hälfte der maximalen Bezugslast entspricht. Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (214 kW ohne und 211 kW mit PV); der Einsatz der Wärmepumpen überkompensiert diesen Rückgang, so dass in der Summe eine maximale Bezugsspitzenlast von gut 215 kW auftritt (Tabelle 77).

Gewerbe Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	214,0	211,2	215,3
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	66,0	-91,2	-91,2

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 77: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 2.746 MWh. Hiervon können 856 MWh (31,2%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 182 MWh (6,6%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit zu beinahe 38% gedeckt.

Gewerbe Passivhausstandard	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
<b>Wärmelast</b>	<b>2.745.547,83</b>	245,66	6,87	100,0%
<b>Solarthermische Wärme</b>	<b>855.794,93</b>	189,91	0,00	31,2%
<b>Restwärmebedarf nach Solarthermie</b>	<b>1.889.752,91</b>	245,66	0,00	68,8%
<b>Wärmebeitrag aus Wärmepumpen</b>	<b>182.413,86</b>	10,86	0,00	6,6%
<b>Verbleibender Wärmebedarf</b>	<b>1.707.339,04</b>	234,80	0,00	62,2%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>1.038.208,79</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>37,8%</b>

Tabelle 78: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.18.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.18.2.1 Strom

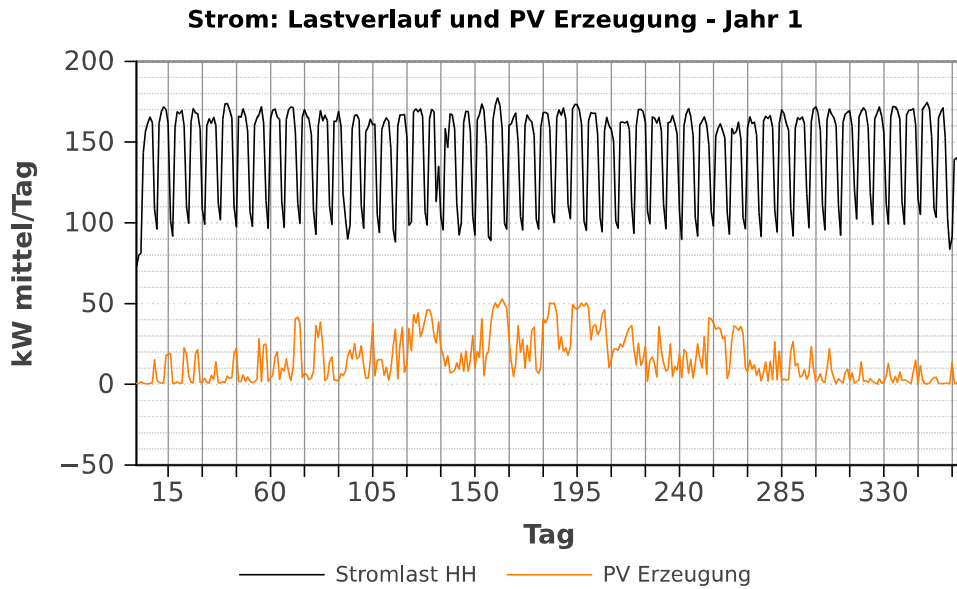


Abbildung 206: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

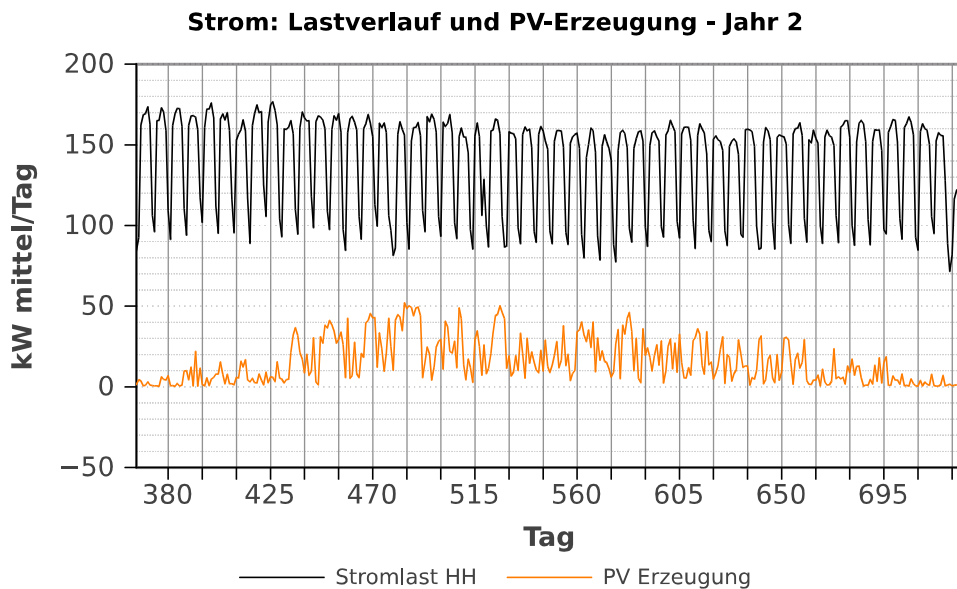


Abbildung 207: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

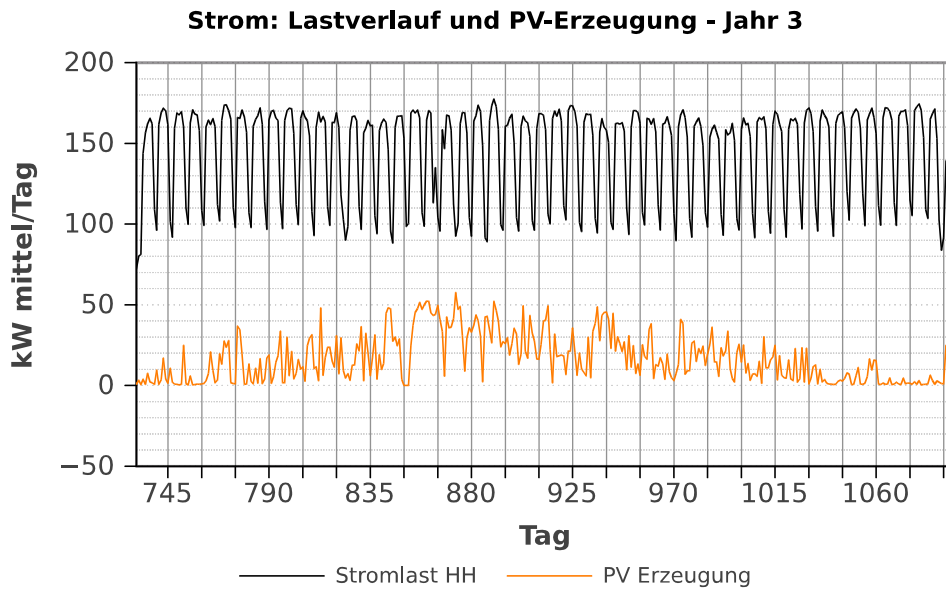


Abbildung 208: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

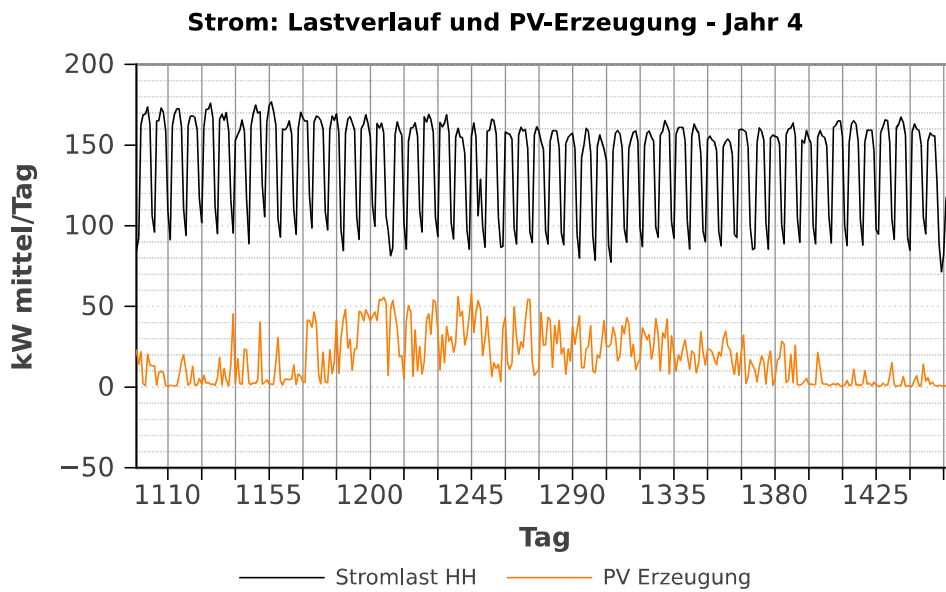
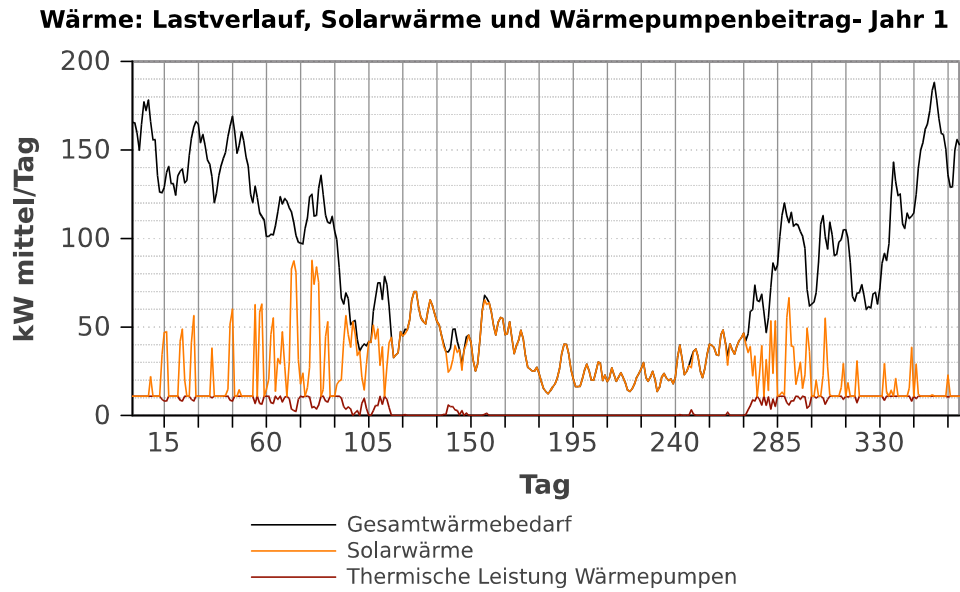


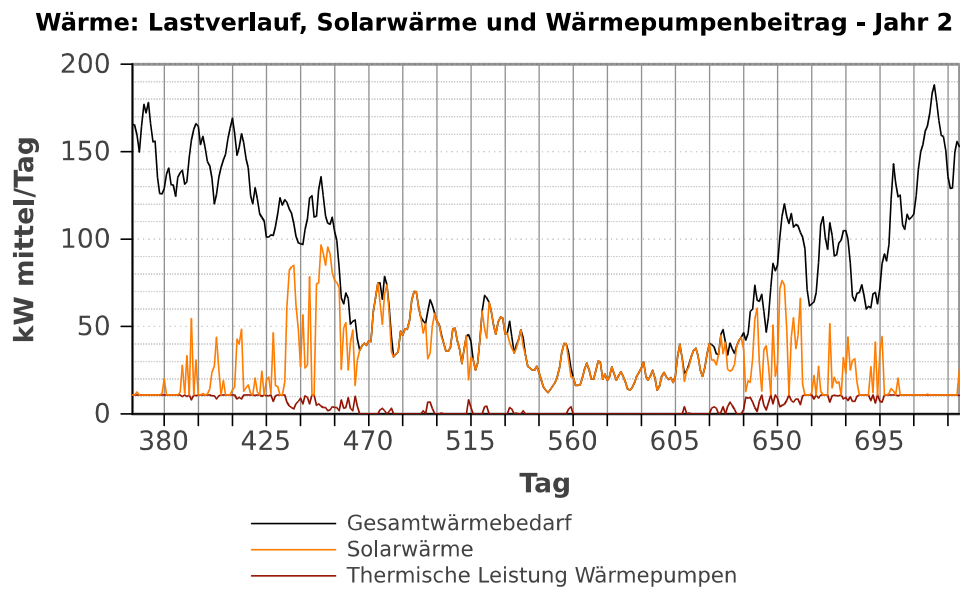
Abbildung 209: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.18.2.2 Wärme





**Abbildung 210: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**



**Abbildung 211: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**

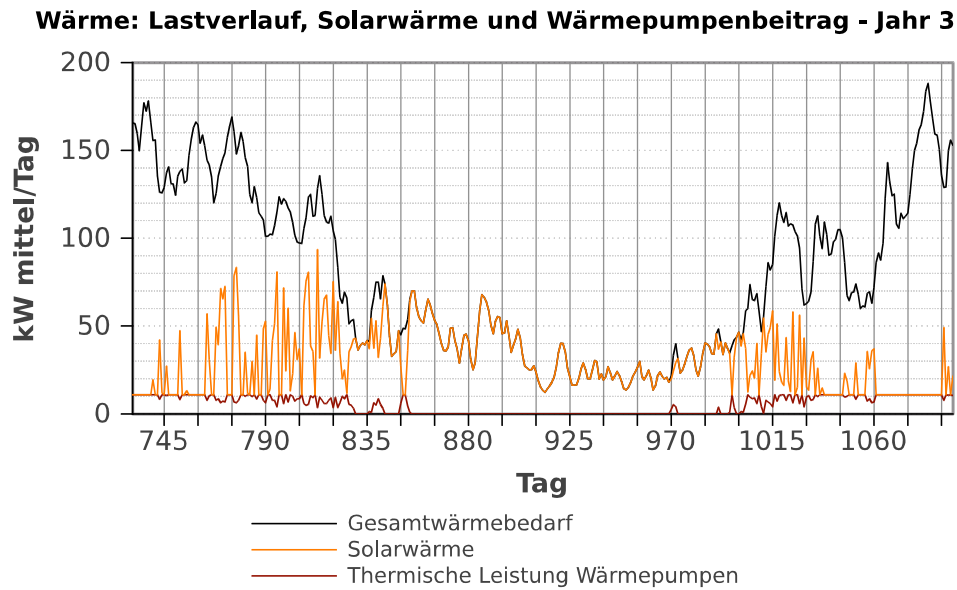


Abbildung 212: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

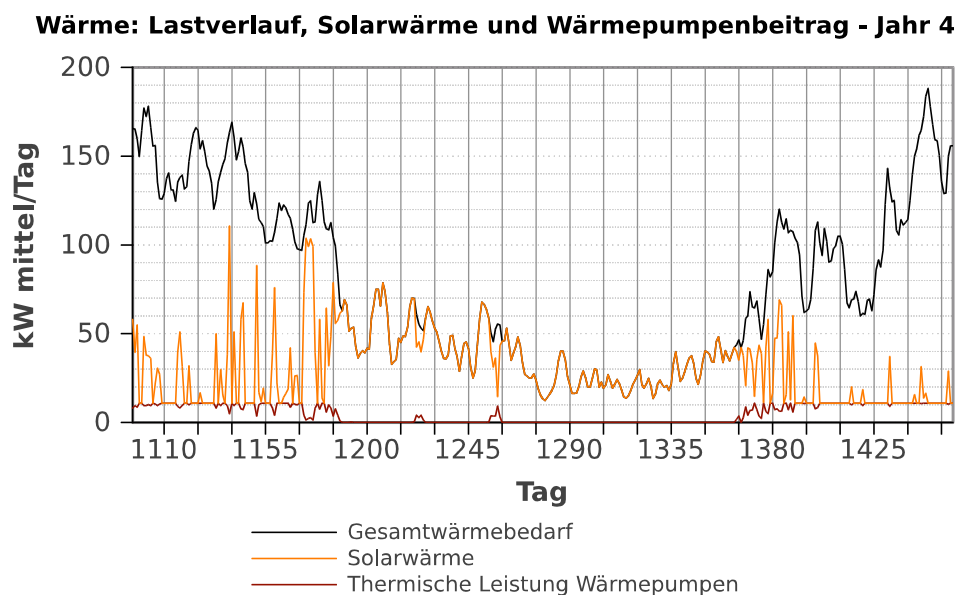


Abbildung 213: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.18.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

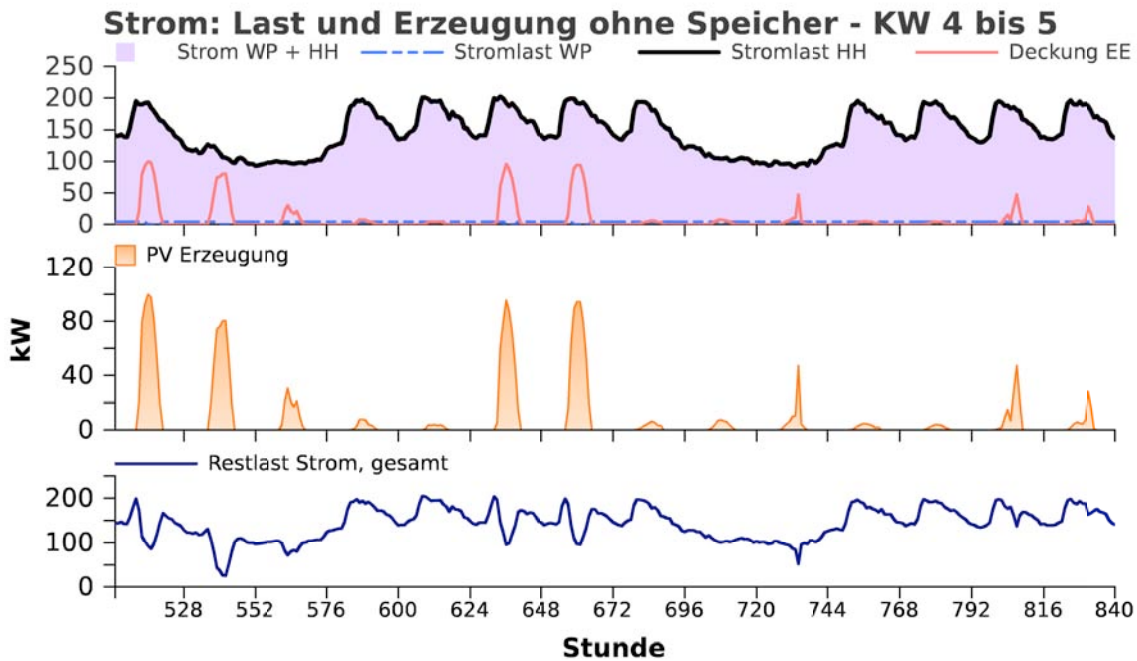


Abbildung 214: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

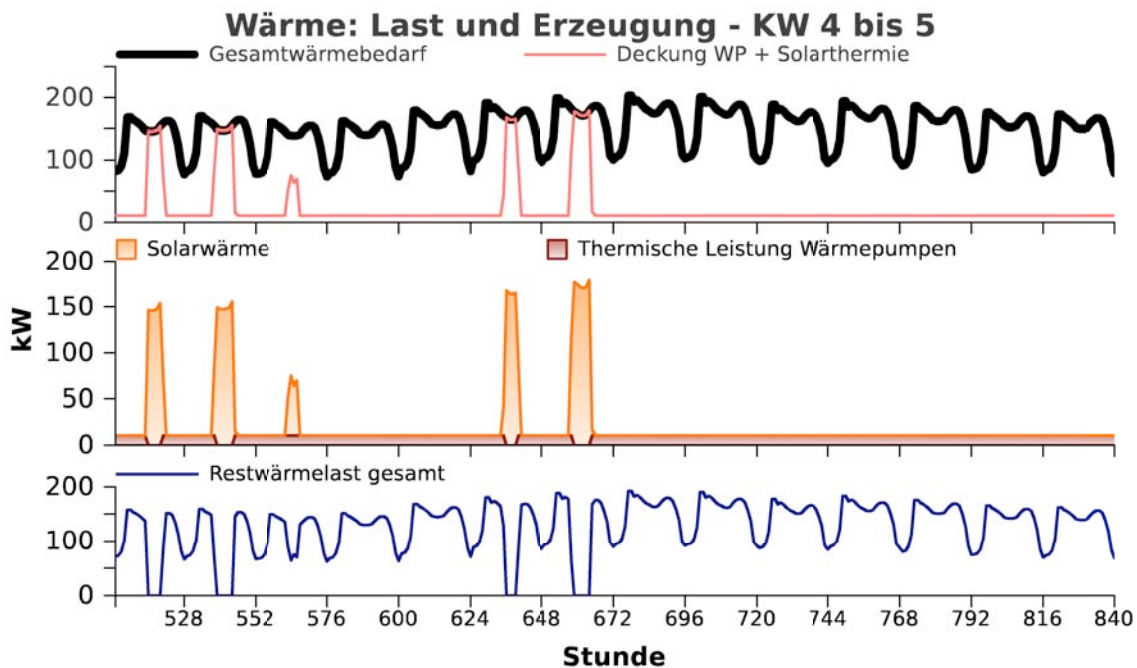


Abbildung 215: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

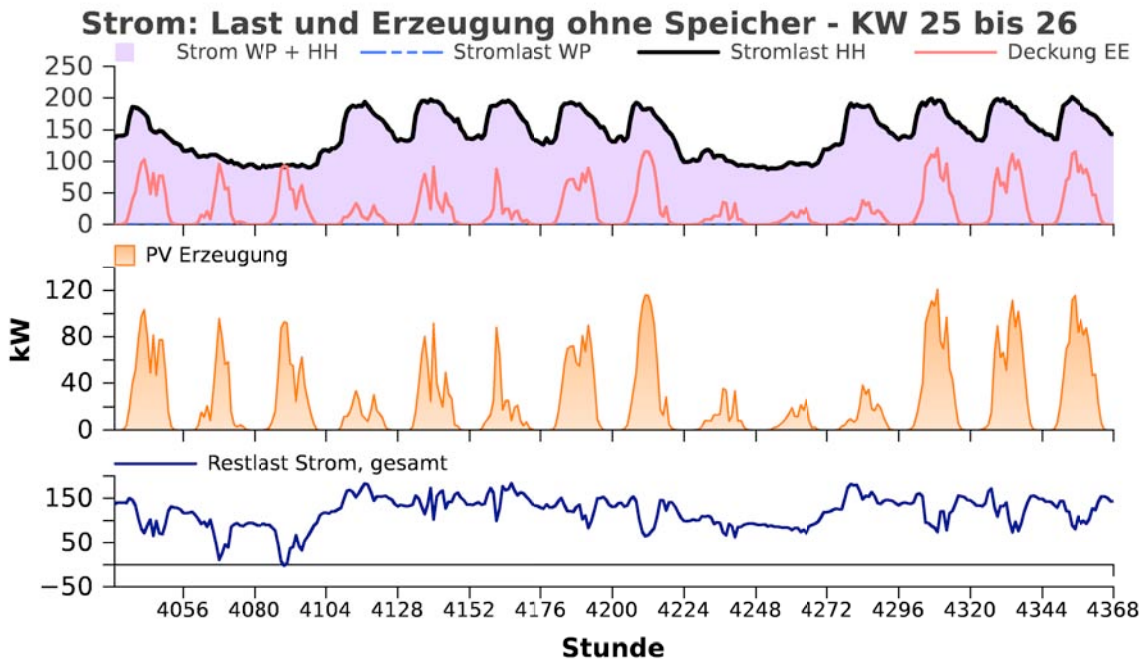


Abbildung 216: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

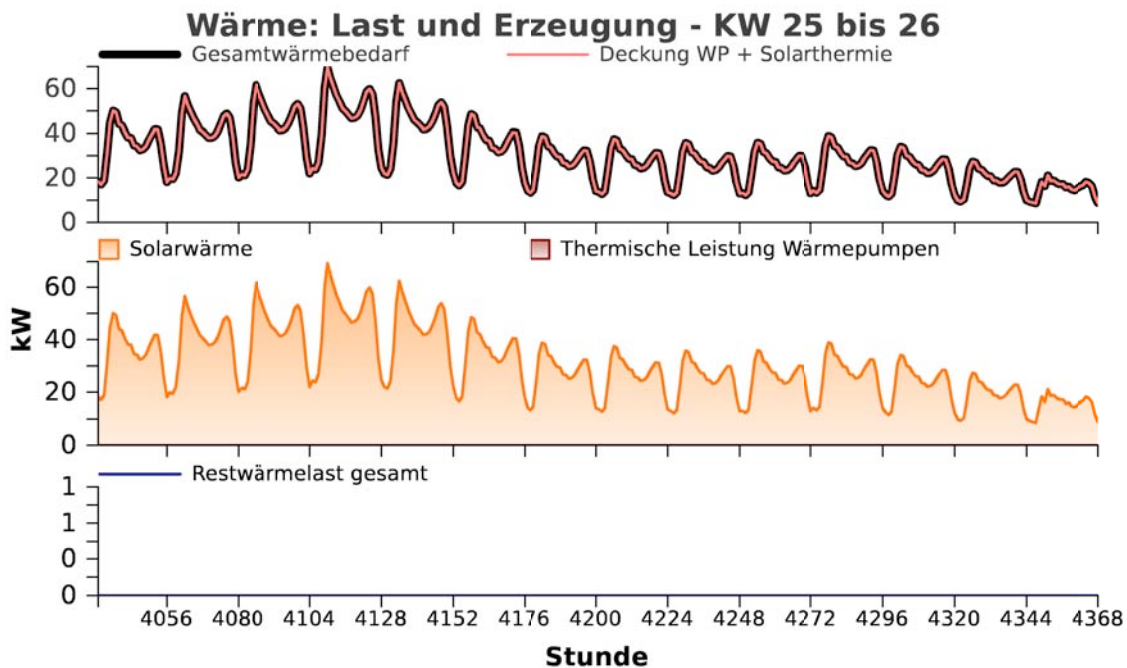


Abbildung 217: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

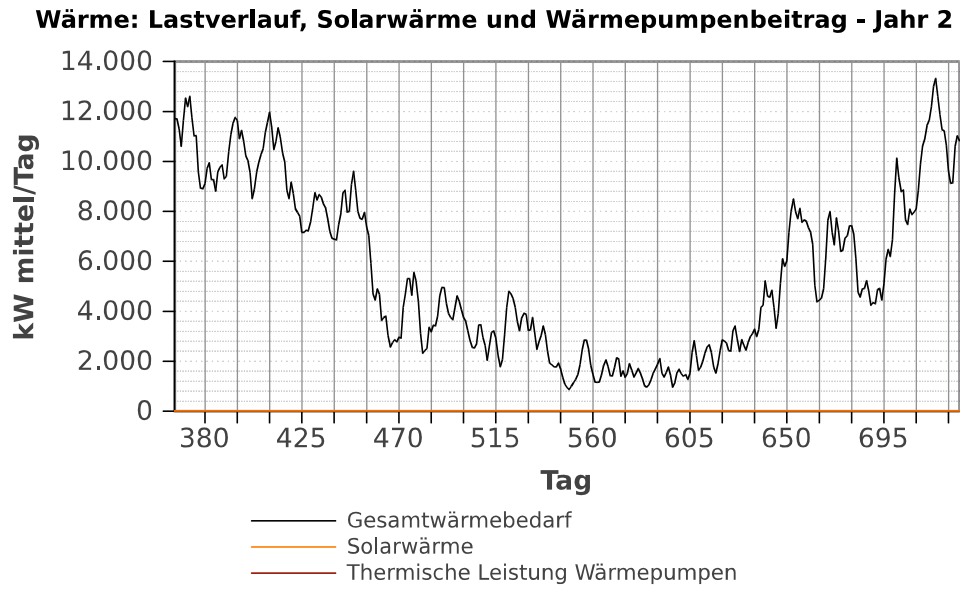
### **7.2.19 Stadtraumtyp Xb (SRT Xb): Industrie**

**In der Simulation nicht berücksichtigt, eigene Erzeugung findet innerhalb des SRT nicht statt.**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 609,84 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 43,38 %. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 360,42 ha (42,63% der gesamten Energiebezugsfläche).

7.2.19.1 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.19.1.1 Wärme



**Abbildung 218: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**

7.2.19.1.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

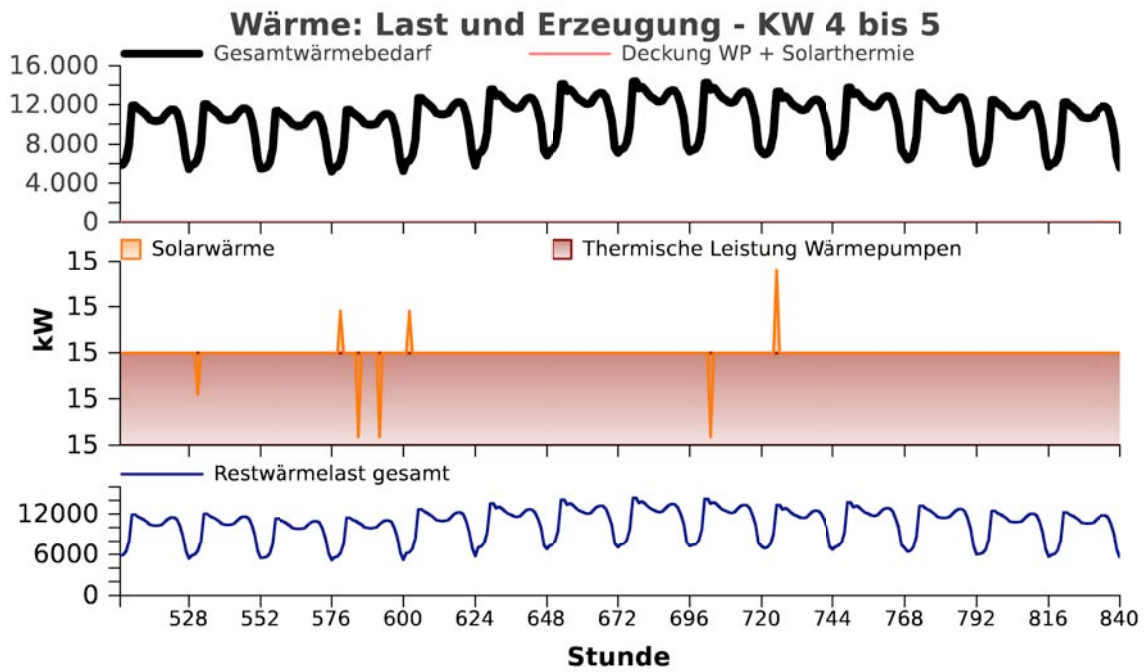


Abbildung 219: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.20 Stadtraumtyp Xc (SRT Xc): Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 75,35 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 5,36%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 85,7 ha (10,14% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.20.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 31% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Zusätzlicher Stromverbrauch durch den Betrieb von Wärmepumpen findet nicht in nennenswertem Umfang statt, so dass der Anteil der PV davon praktisch unberührt bleibt. Der Strombedarf der Wärmepumpen trägt lediglich zu etwa 0,1% zur Erhöhung des allgemeinen Stromverbrauchs bei.

Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	85.698.724,2	26.856.538,5	58.842.185,7	107.025,1	58.949.210,8
Anteile in %	100,0%	31,3%	68,7%	0,1%	68,7%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>31,3%</b>		<b>31,3%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 79: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushalts- und auch am Gesamtstromverbrauch (inkl. Wärmepumpenstrom) erreicht die PV hier einen Anteil von 23,2%. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei einem Wert etwa 8% des Gesamtstromverbrauchs.

Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	85.698.724,2	26.856.538,5	58.842.185,7	107.025,1
Anteile in %	100,0%	31,3%	68,7%	0,1%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>85.698.724,2</b>		<b>65.815.642,7</b>	<b>65.922.002,4</b>
Anteile in %	<b>100,0%</b>		<b>76,8%</b>	<b>76,8%</b>
Überschüsse			-6.973.457,1	-6.972.791,7
Anteile in %			-8,1%	-8,1%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>19.883.081,5</b>	<b>19.883.746,9</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>23,2%</b>	<b>23,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 80: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.



Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 7.021 kW, was etwas weniger als dem Doppelten der maximalen Bezugslast von 3.686 kW entspricht. Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (3.631 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder leicht erhöht wird (3.638 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 81).

Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	3.686,1	3.630,8	3.637,8
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	1.135,9	-7.021,3	-7.021,3

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 81: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 68.053 MWh. Hiervon können 24.009 MWh (35,3%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 285 MWh (0,4%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit zu knapp 36% gedeckt.

Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
<b>Wärmelast</b>	68.053.287,39	6.089,08	170,37	100,0%
<b>Solarthermische Wärme</b>	24.008.638,55	4.823,21	0,00	35,3%
<b>Restwärmebedarf nach Solarthermie</b>	44.044.648,84	6.089,08	0,00	64,7%
<b>Wärmebeitrag aus Wärmepumpen</b>	284.686,79	18,54	0,00	0,4%
<b>Verbleibender Wärmebedarf</b>	43.759.962,05	6.070,54	0,00	64,3%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>24.293.325,34</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>35,7%</b>

Tabelle 82: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.20.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.20.2.1 Strom

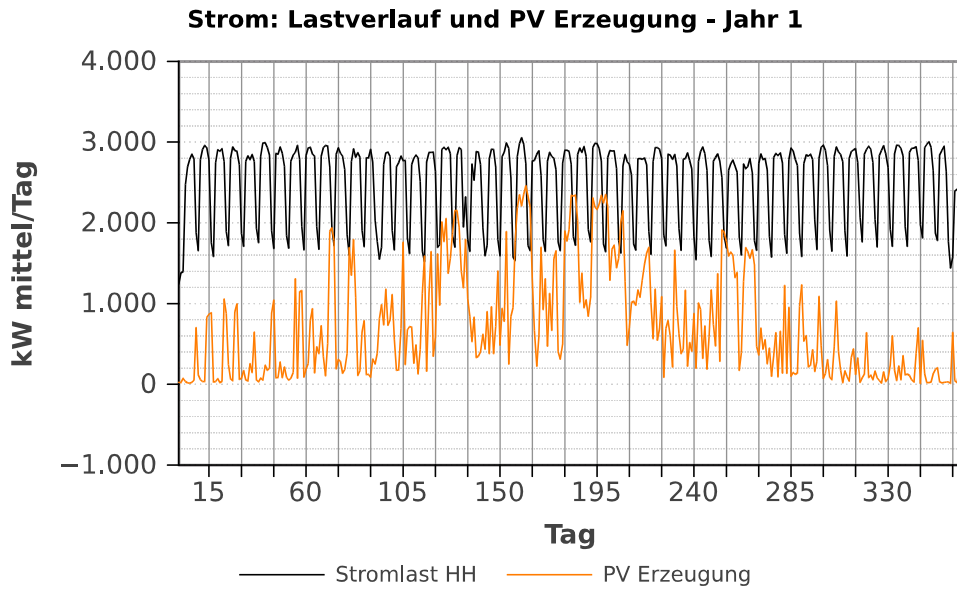


Abbildung 220: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

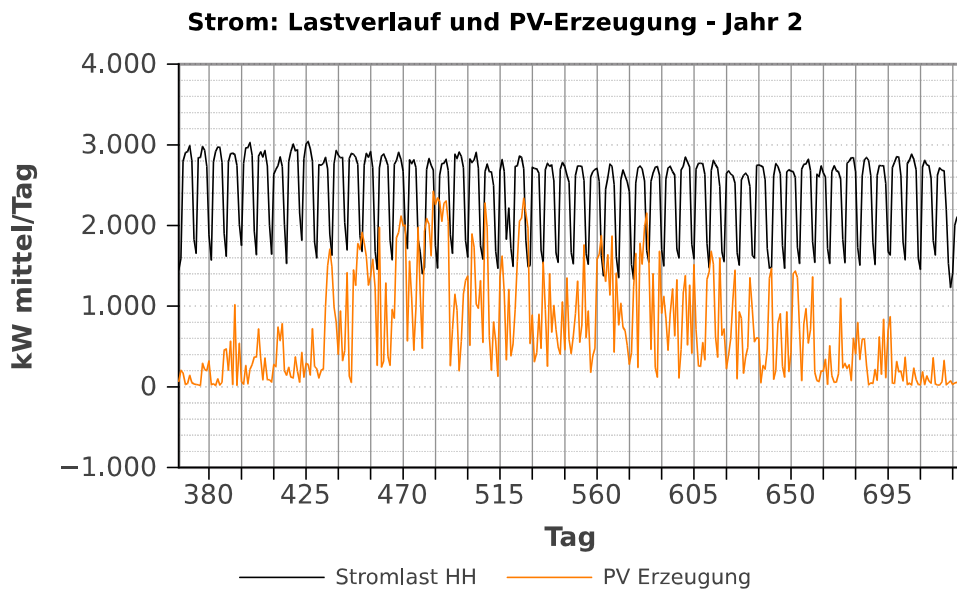


Abbildung 221: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

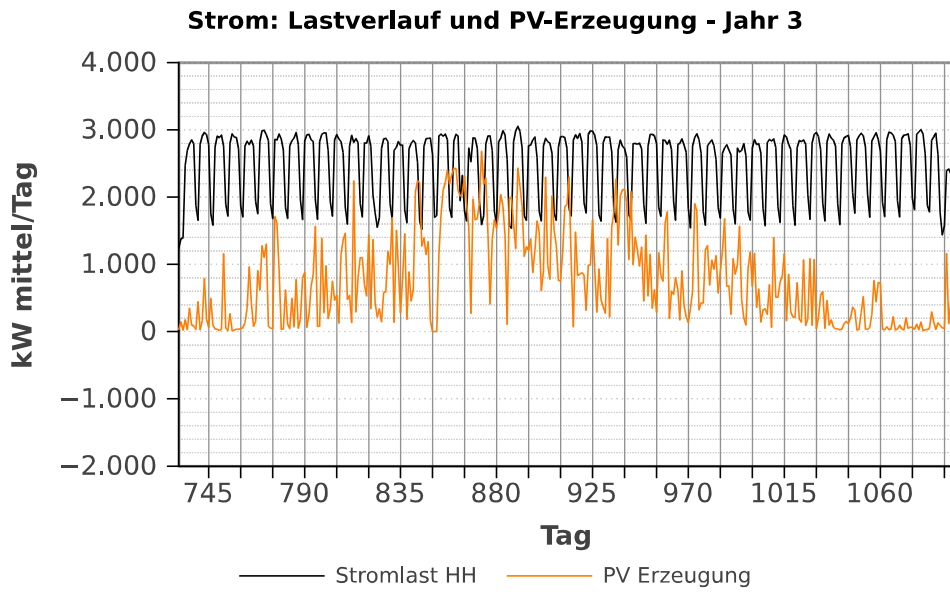


Abbildung 222: Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

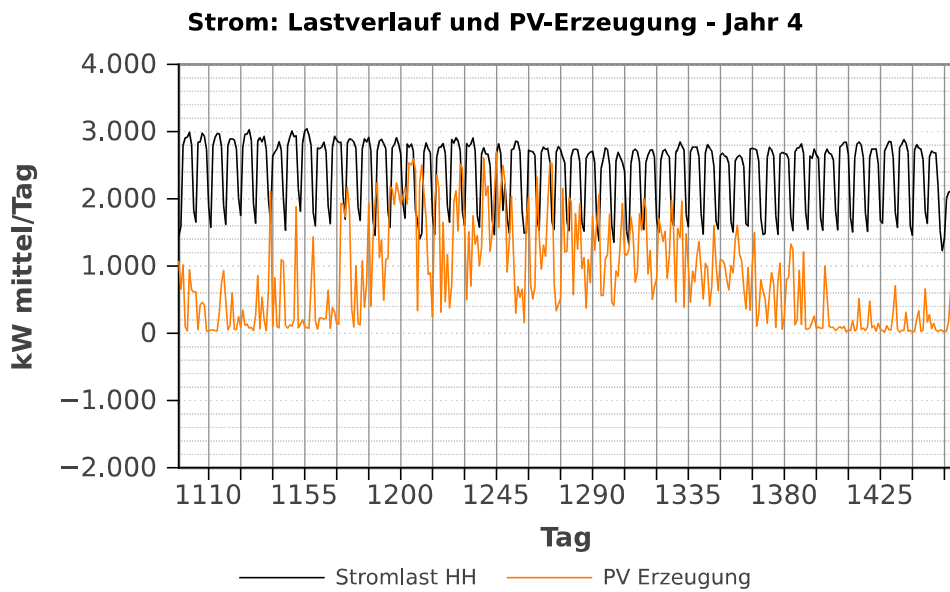


Abbildung 223: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.20.2.2 Wärme

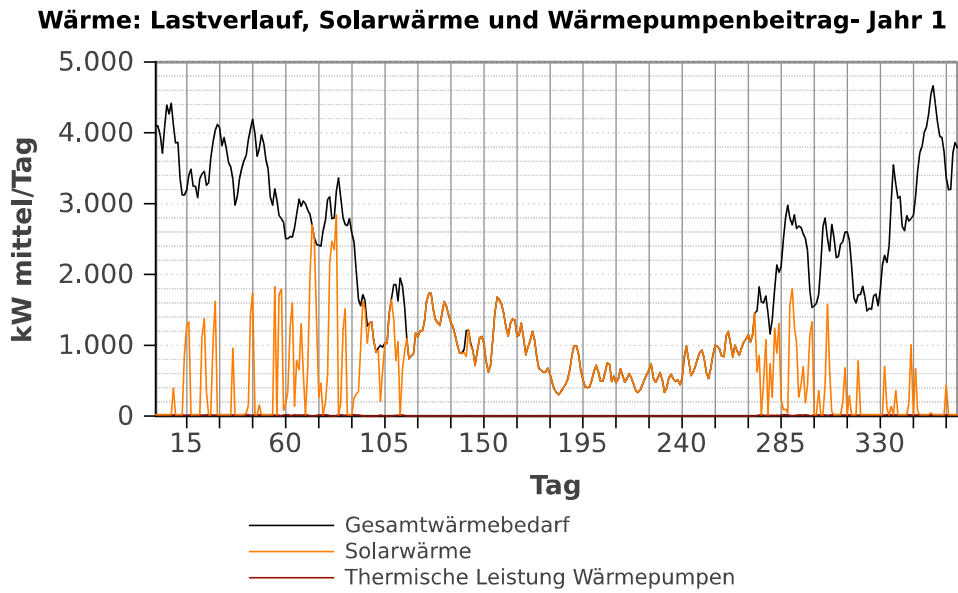


Abbildung 224: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

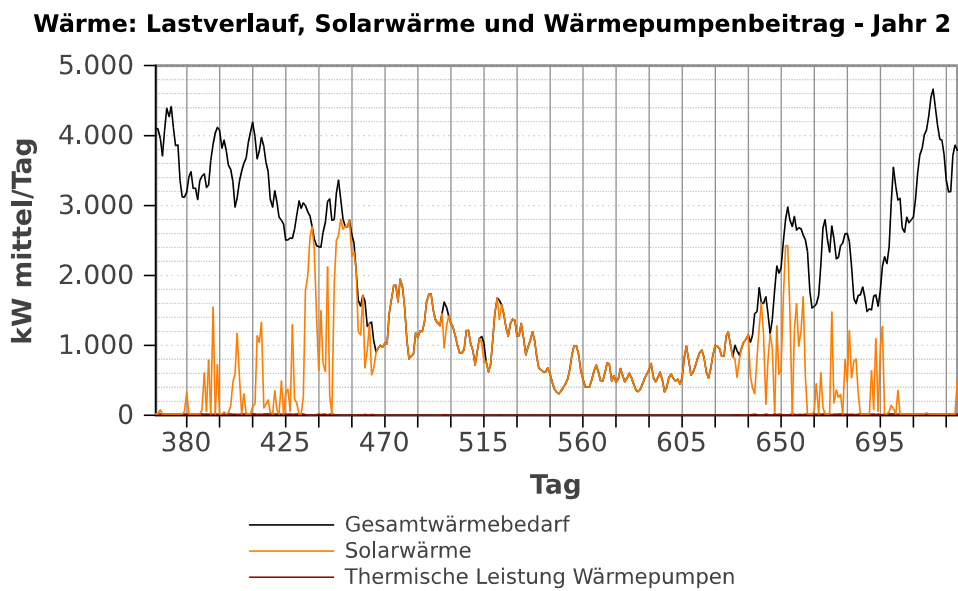


Abbildung 225: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

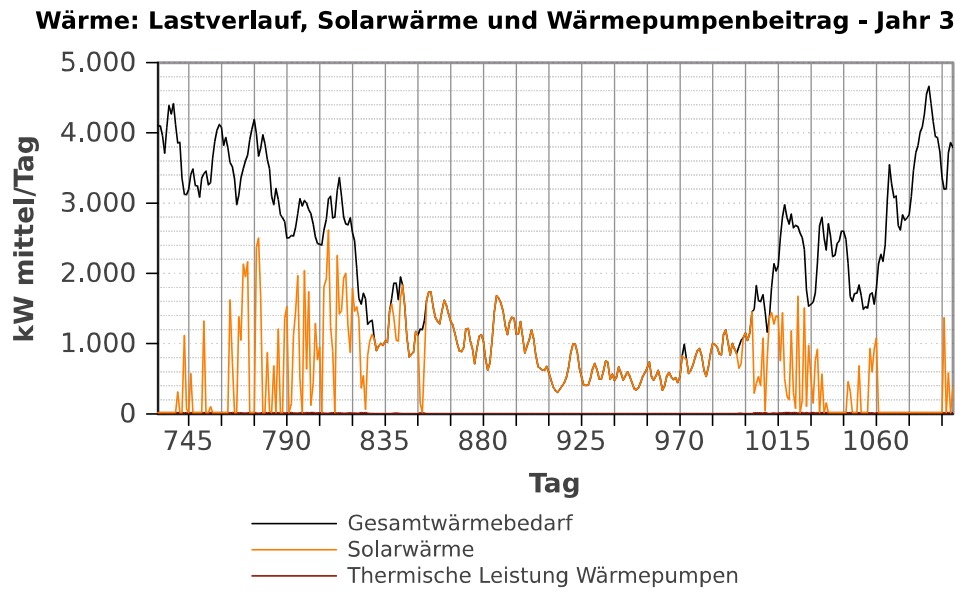


Abbildung 226: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

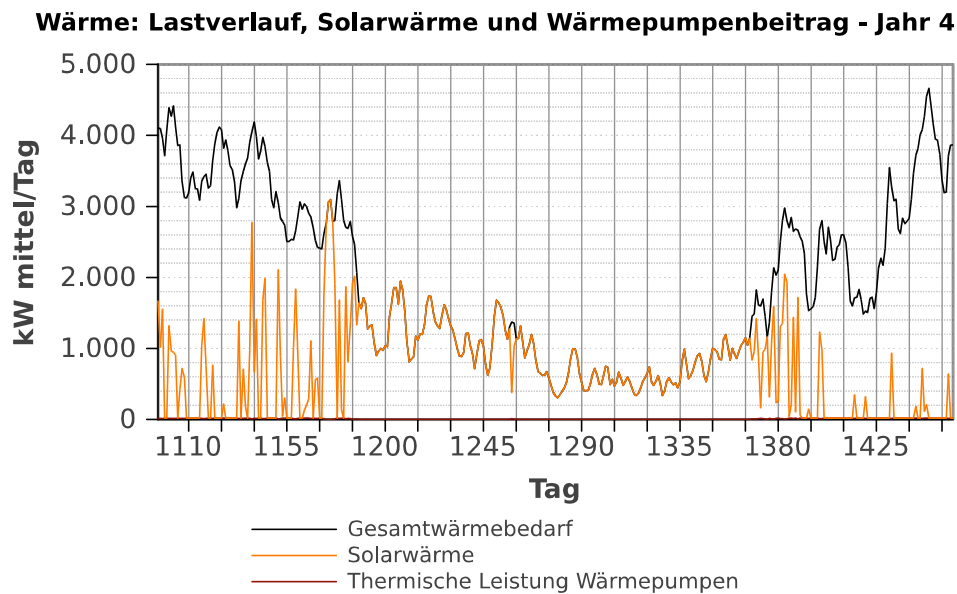


Abbildung 227: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.20.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

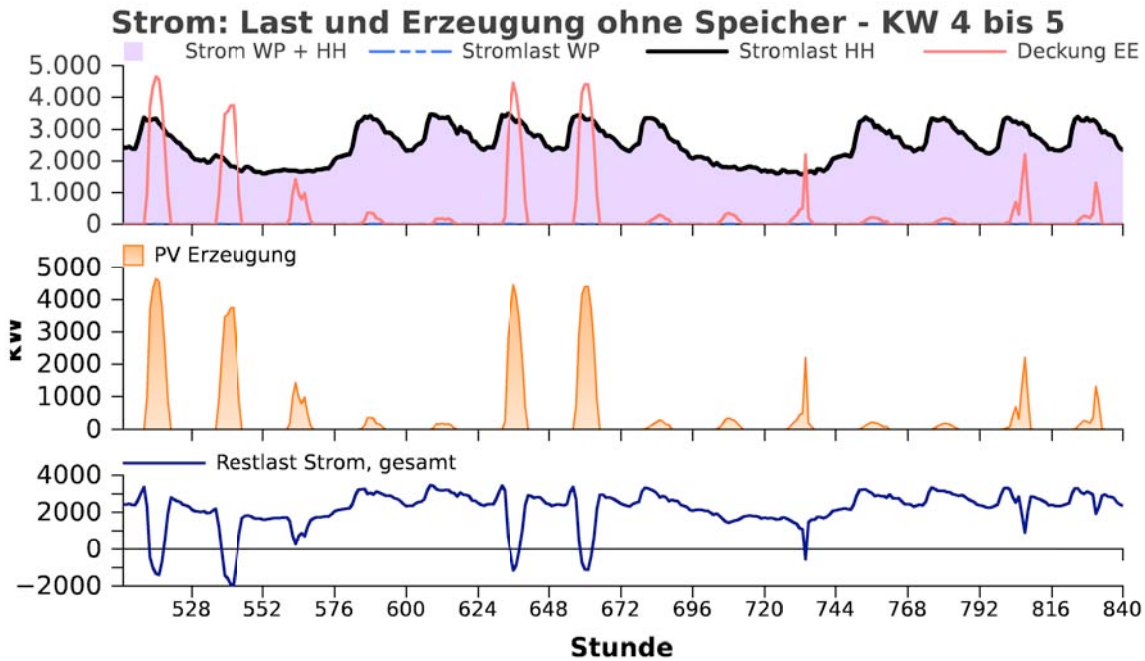


Abbildung 228: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

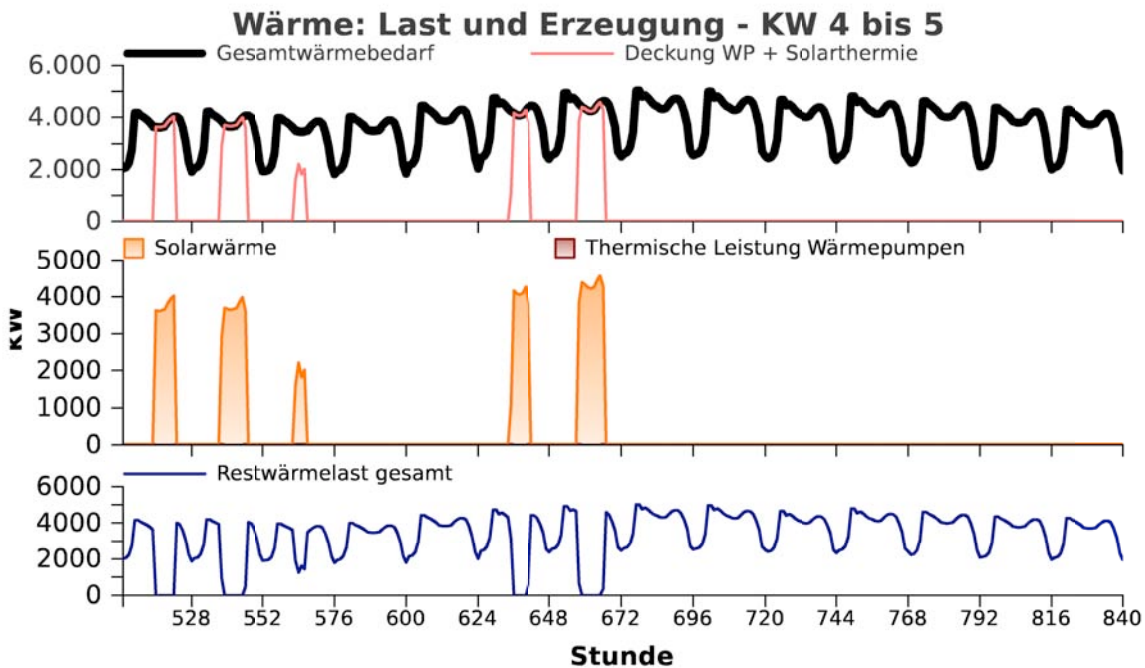


Abbildung 229: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

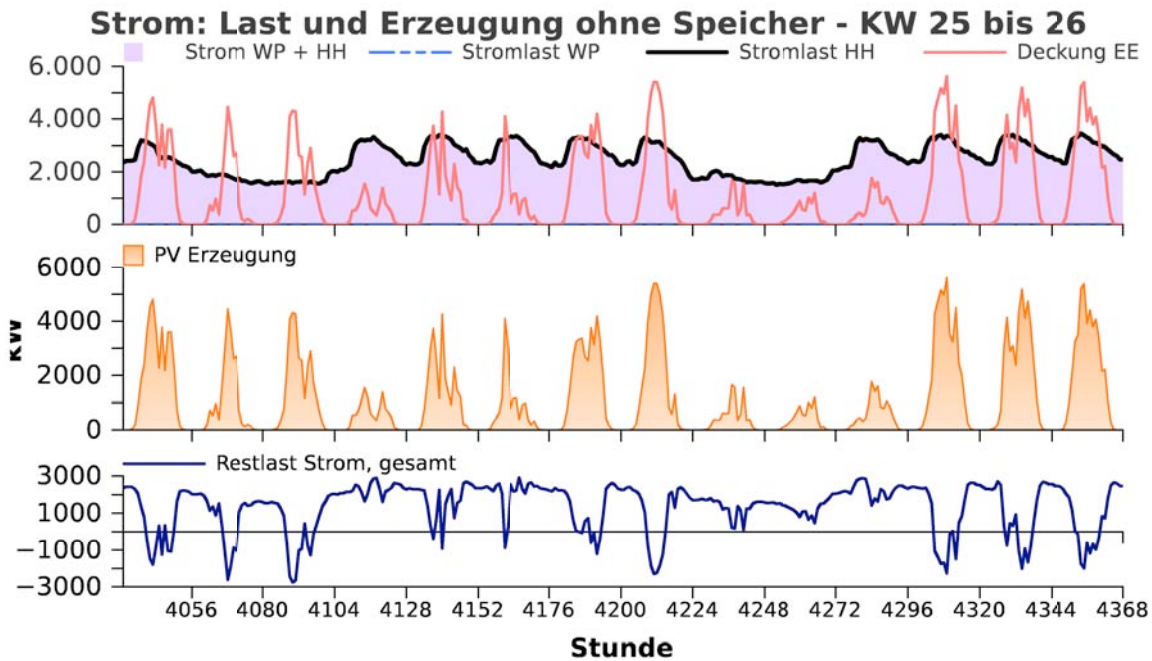


Abbildung 230: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

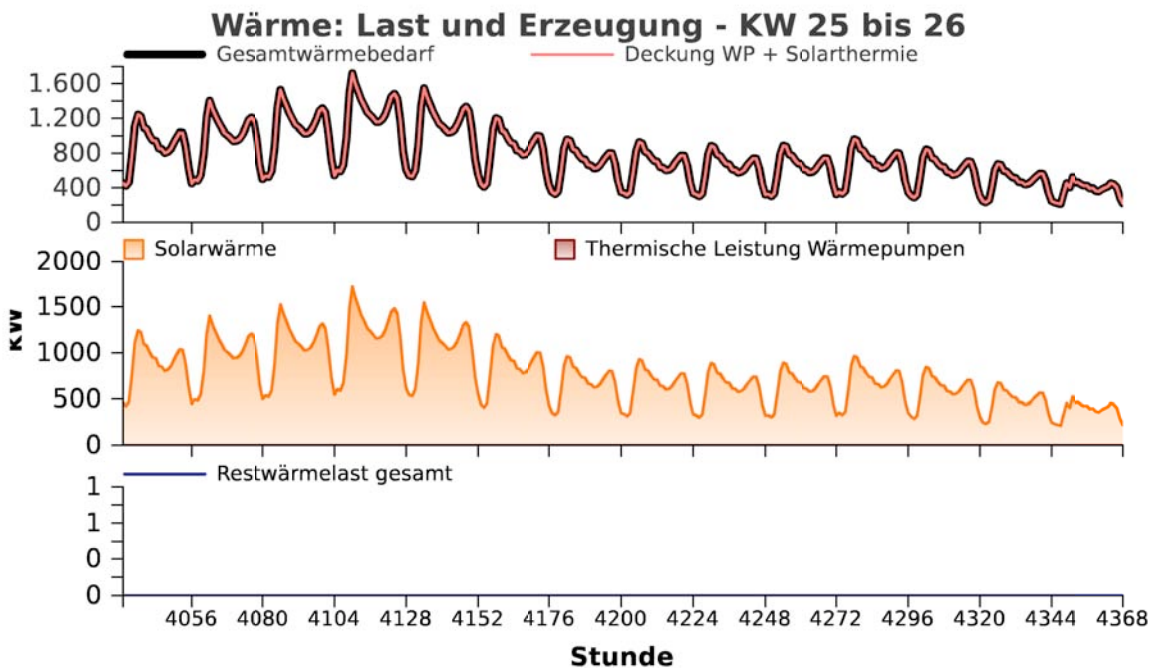


Abbildung 231: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.21 Stadtraumtyp Xc+ (SRT Xc+): Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen Passivhausstandard**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 3,8 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 0,27%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 4,84 ha (0,57% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.21.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

Der normale Stromverbrauch des Stadtraumtyps beträgt über vier Jahre hinweg etwa 4.840 MWh. Die zur Wärmebereitstellung eingesetzten Wärmepumpen erhöhen den Stromverbrauch um 1,1% (54 MWh), so dass der Gesamtstrombedarf des SRT bei 4.894 MWh liegt.

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 31% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Zusätzlicher Stromverbrauch durch den Betrieb von Wärmepumpen findet nur in geringem Umfang statt, so dass der Anteil der PV dadurch nur unmerklich absinkt.

Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	4.839.927,9	1.517.257,5	3.322.670,5	54.083,0	3.376.753,4
Anteile in %	100,0%	31,3%	68,7%	1,1%	69,0%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>31,1%</b>		<b>31,0%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 83: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann, einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Gesamtstromverbrauch (inkl. Wärmepumpenstrom) erreicht die PV hier einen Anteil von 23%. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungsüberschüsse liegen bei einem Wert 8% des Gesamtstromverbrauchs.



Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
<b>Energiemenge</b>	4.839.927,9	1.517.257,5	3.322.670,5	54.083,0
<b>Anteile in %</b>	100,0%	31,3%	68,7%	1,1%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>4.839.927,9</b>		<b>3.716.837,6</b>	<b>3.770.689,6</b>
<b>Anteile in %</b>	<b>100,0%</b>		<b>76,8%</b>	<b>77,0%</b>
<b>Überschüsse</b>			-394.167,1	-393.936,1
<b>Anteile in %</b>			-8,1%	-8,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>1.123.090,4</b>	<b>1.123.321,3</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>23,2%</b>	<b>23,0%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 84: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungüberschüsse muss elektrische Leistung aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 397 kW, was knapp dem 1,9fachen der maximalen Bezugslast von 211 kW entspricht. Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast, die durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder leicht erhöht wird (Tabelle 85).

Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	208,2	205,1	210,9
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	64,2	-396,7	-396,7

- 1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 85: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 799 MWh. Hiervon können insgesamt ca. 600 MWh (75,1%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen (rd. 144 MWh, 18%) und solarthermische Wärme (456 MWh, rd. 57%) gedeckt werden.

Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen Passivhausstandard	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
<b>Wärmelast</b>	798.536,51	71,45	2,00	100,0%
<b>Solarthermische Wärme</b>	456.038,41	63,42	0,00	57,1%
<b>Restwärmebedarf nach Solarthermie</b>	342.498,10	71,45	0,00	42,9%
<b>Wärmebeitrag aus Wärmepumpen</b>	143.860,71	15,60	0,00	18,0%
<b>Verbleibender Wärmebedarf</b>	198.637,40	55,85	0,00	24,9%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>599.899,11</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>75,1%</b>

Tabelle 86: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.21.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.21.2.1 Strom

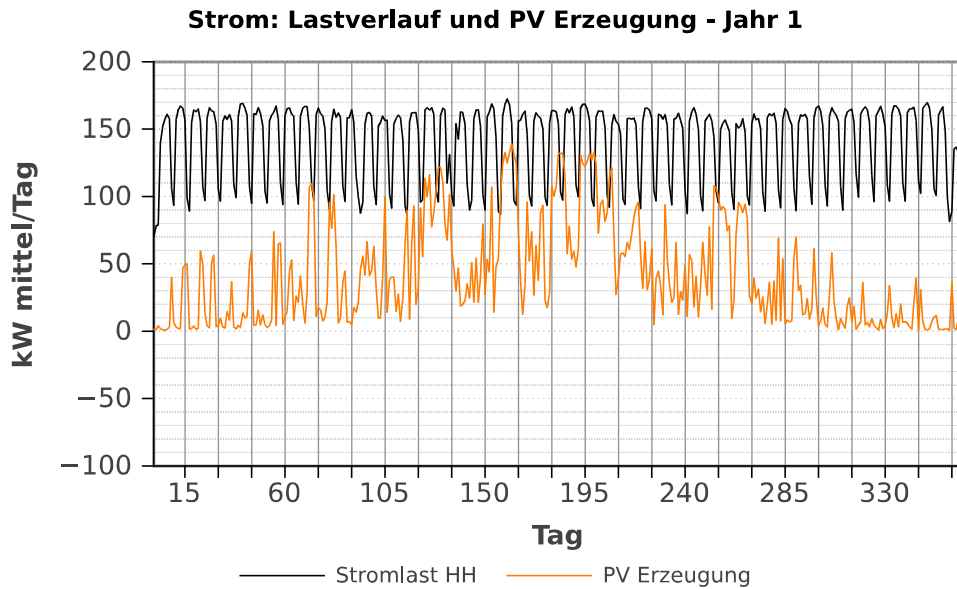


Abbildung 232: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

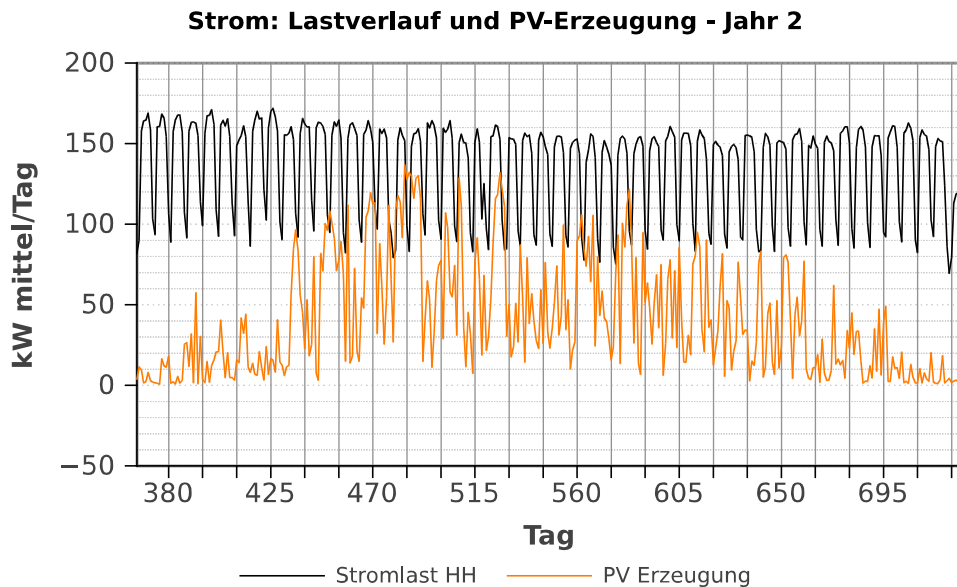


Abbildung 233: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

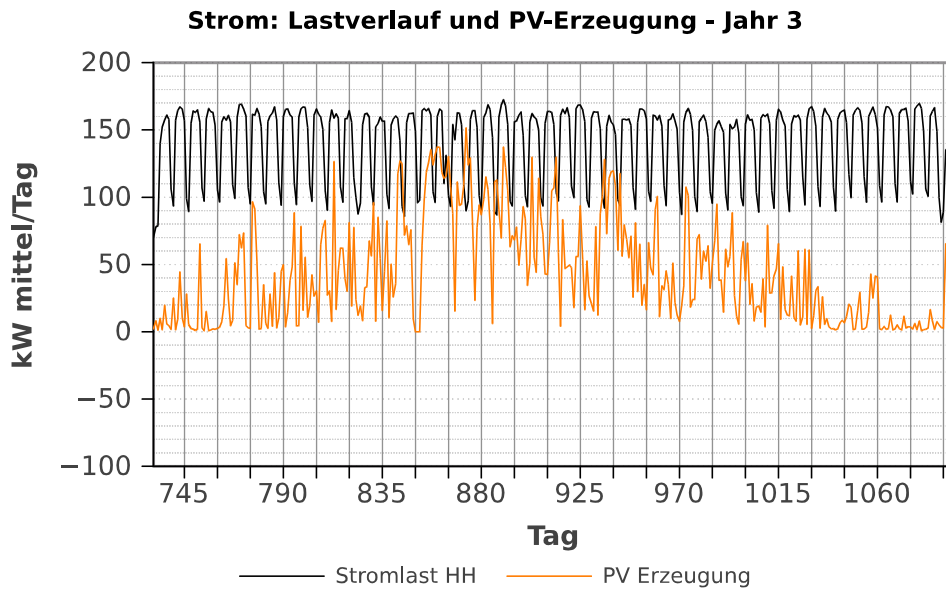


Abbildung 234: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

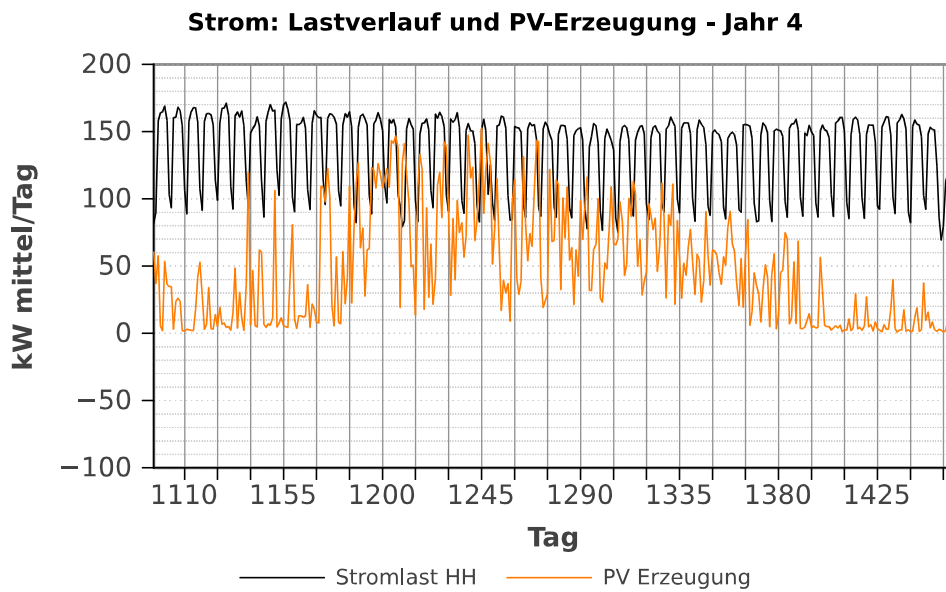
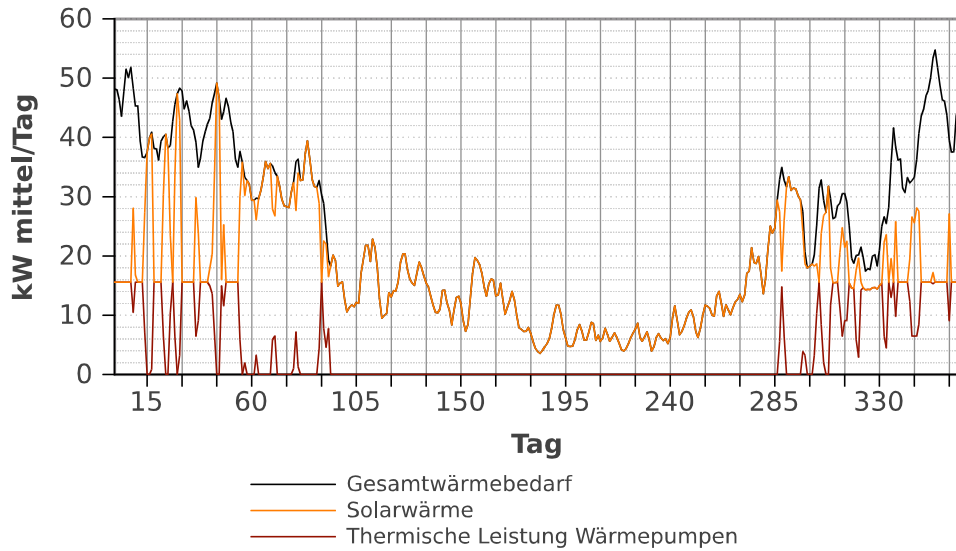


Abbildung 235: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

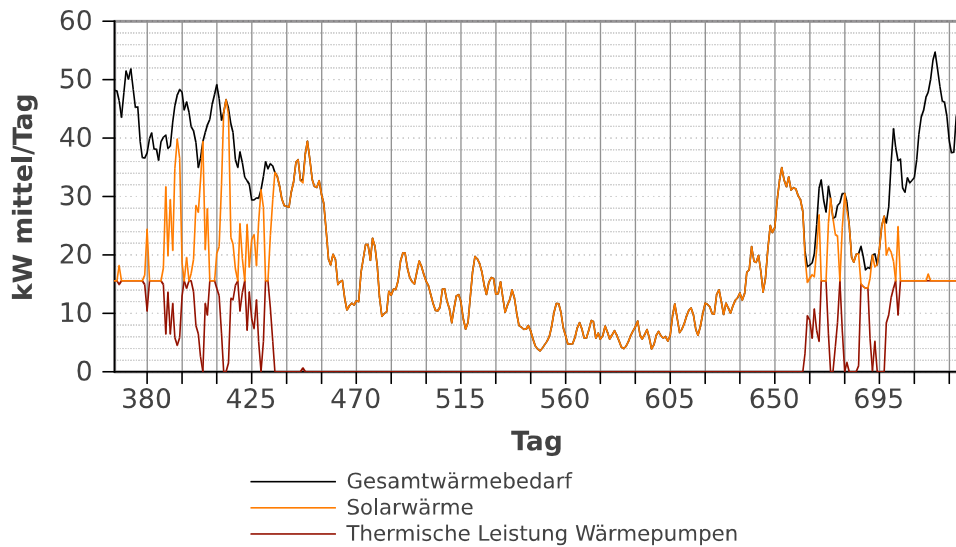
7.2.21.2.2 Wärme

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag- Jahr 1**



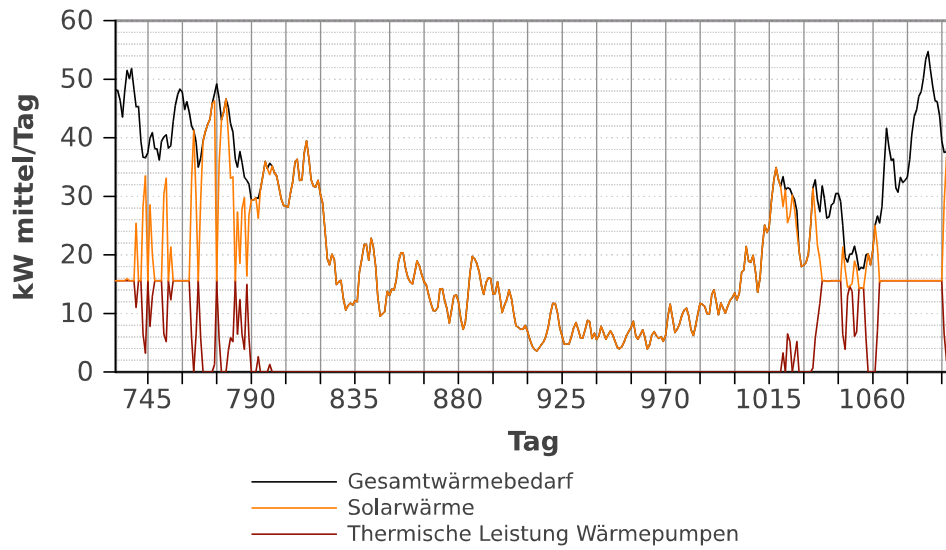
**Abbildung 236: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 2**



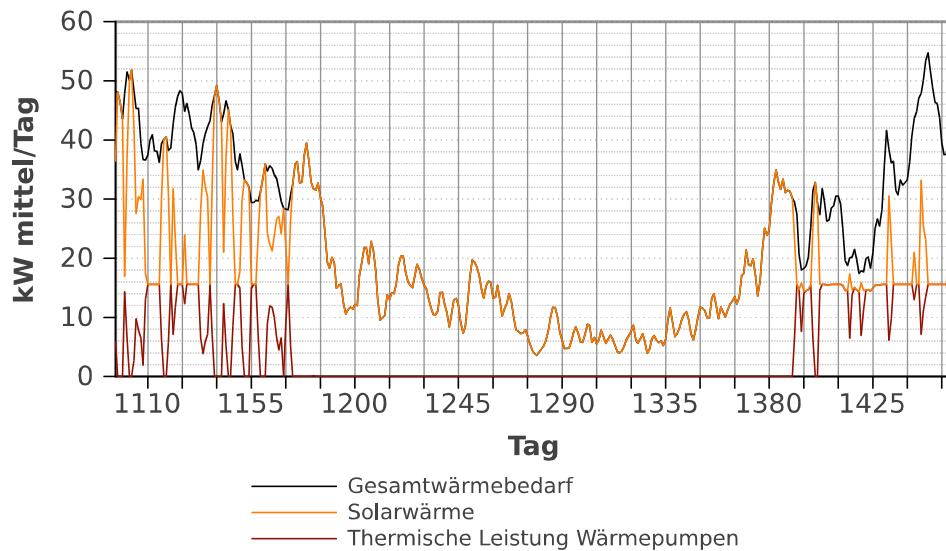
**Abbildung 237: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 3**



**Abbildung 238: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.**

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 4**



**Abbildung 239: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.**

7.2.21.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

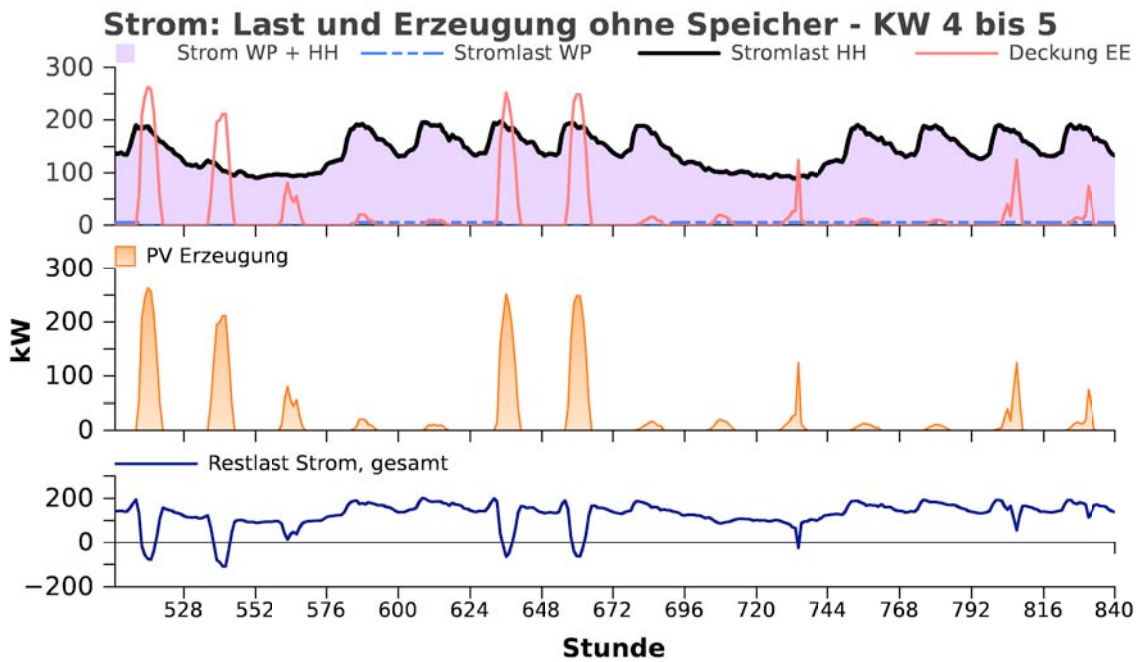


Abbildung 240: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

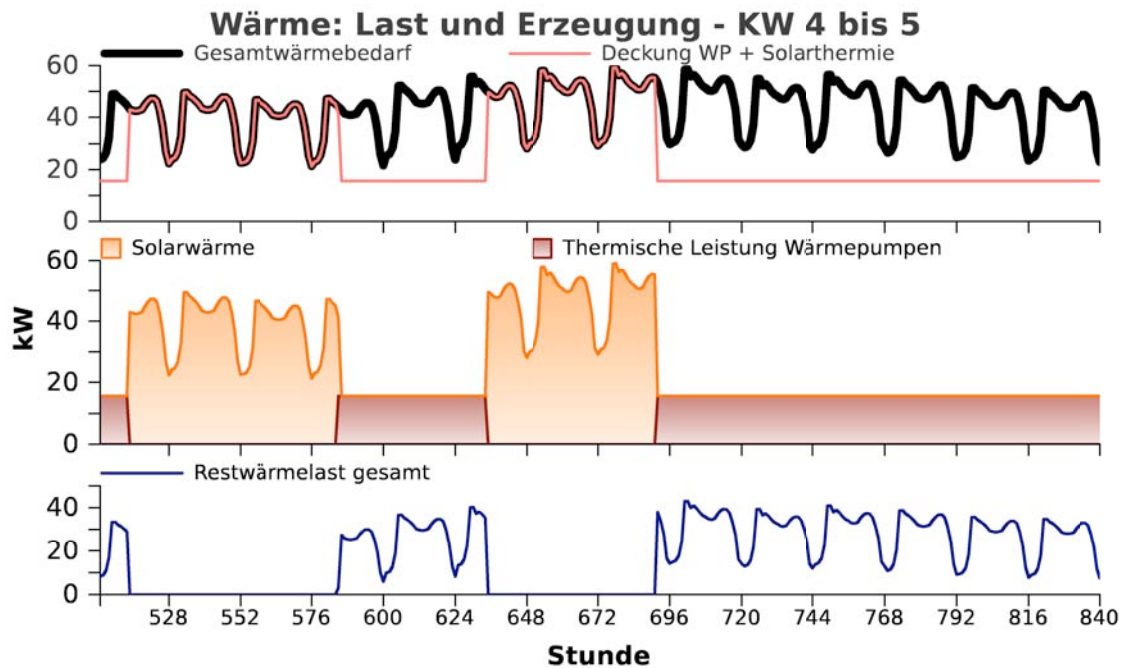


Abbildung 241: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

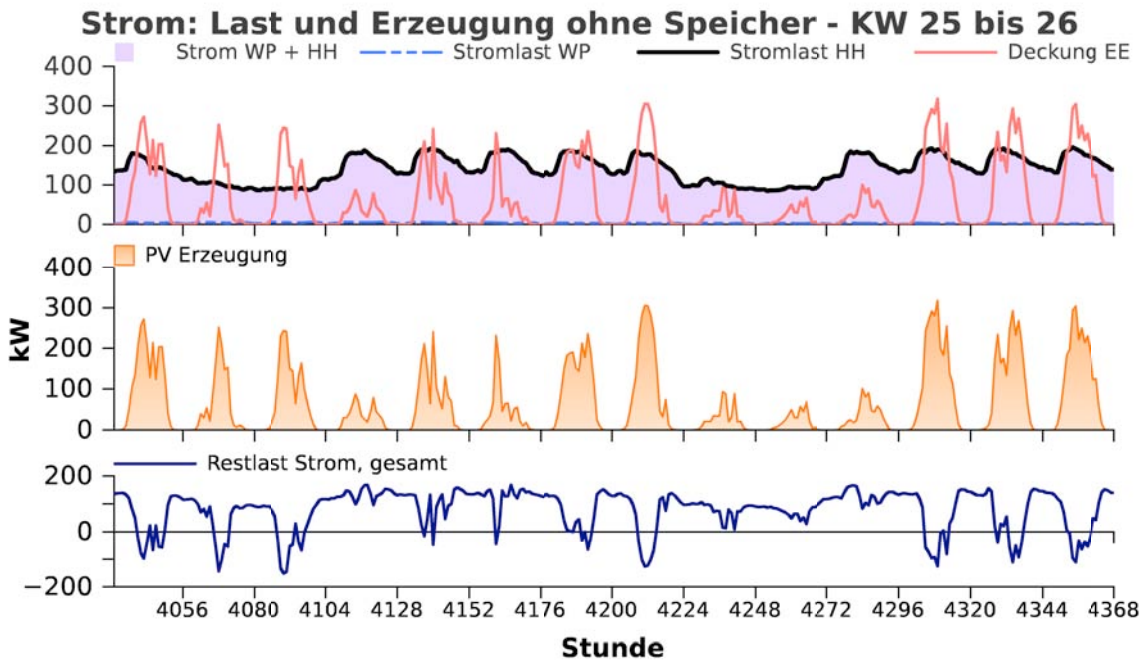


Abbildung 242: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

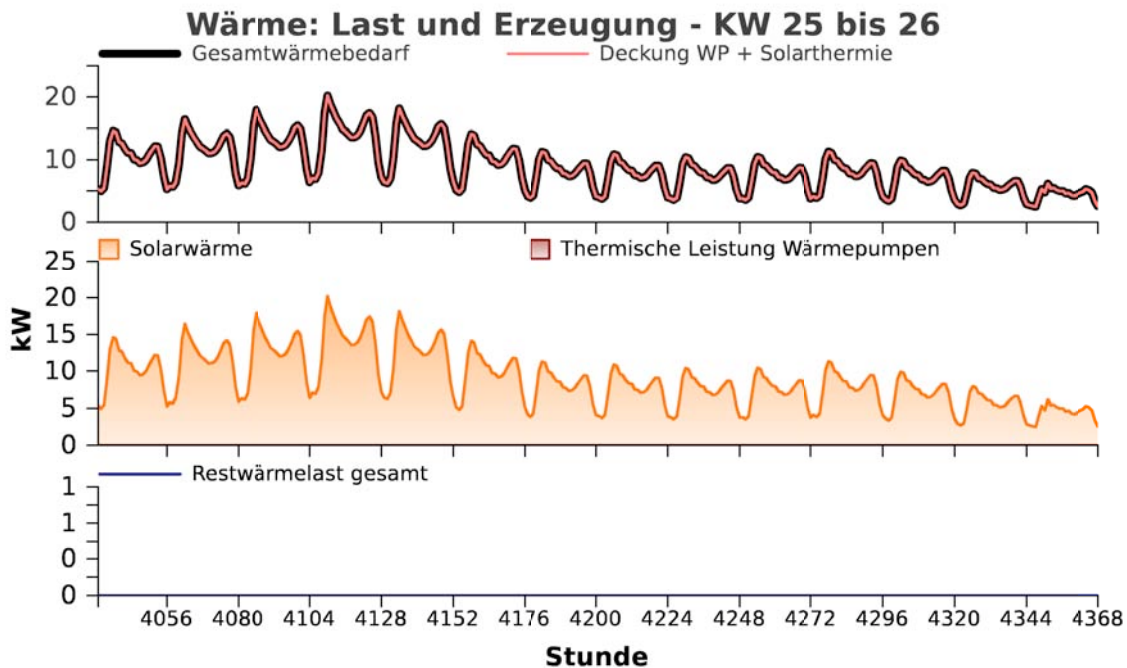


Abbildung 243: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**7.2.22 Stadtraumtyp Xd (SRT Xd): Gewerbe in Mischgebieten**

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 16,98 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 1,21%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 10,24 ha (1,21% der gesamten Energiebezugsfläche).

**7.2.22.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 13% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Zusätzlicher Strombedarf aus dem Betrieb von Wärmepumpen kommt kaum hinzu, so dass der Anteil der PV auch bei Berücksichtigung dieses Mehrverbrauch praktisch unverändert bleibt. Der zusätzliche Strombedarf der Wärmepumpen beträgt 0,7% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Gewerbe in Mischgebieten	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	16.383.756,1	2.151.593,1	14.232.163,0	122.515,7	14.354.678,7
Anteile in %	100,0%	13,1%	86,9%	0,7%	87,0%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>13,1%</b>		<b>13,0%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 87: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Der nur geringe Installationsumfang der PV wirkt sich dahingehend aus, dass der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung relativ gering ausfällt. In der dynamischen Bilanzierung über alle vier Jahre erreicht die PV einen Deckungsanteil von 12,7% des Haushaltsstroms (nur 0,4% weniger als in der statischen Bilanz), der auch unter Berücksichtigung des Wärmepumpenstroms nur leicht absinkt (12,6%). Der recht geringe Beitrag der PV führt dazu, dass auch kaum Strom in benachbarte Netze exportiert werden muss. Der Umfang notwendiger Exporte beläuft sich auf lediglich 0,4%, gemessen am gesamten Stromverbrauch.

Gewerbe in Mischgebieten	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	16.383.756,1	2.151.593,1	14.232.163,0	122.515,7
Anteile in %	100,0%	13,1%	86,9%	0,7%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>16.383.756,1</b>		<b>14.298.002,3</b>	<b>14.420.503,3</b>
Anteile in %	100,0%		87,3%	87,4%
Überschüsse			-65.839,3	-65.824,7
Anteile in %			-0,4%	-0,4%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>2.085.753,8</b>	<b>2.085.768,5</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>12,7%</b>	<b>12,6%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 88: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.



Trotzdem treten Erzeugungsüberschüsse auf, die zu einer Lastumkehr im lokalen Verteilernetz führen. Die notwendige Exportleistung beläuft sich auf ca. 382 kW, was etwas mehr als der Hälfte der maximalen Bezugslast (705 kW) entspricht. Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (705 kW ohne und 695 kW mit PV); der Einsatz der Wärmepumpen kompensiert diesen Rückgang beinahe wieder, so dass in der Summe eine maximale Bezugsspitzenlast von gut 702,5 kW auftritt (Tabelle 89).

Gewerbe in Mischgebieten	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	704,7	695,2	702,5
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	217,2	-381,9	-381,9

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 89: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

Der lokal zu deckende Wärmebedarf des Stadtraumtyps beläuft sich in der Summe der vier Jahre auf ca. 17.713 MWh. Hiervon können 5.575 MWh (31,5%) durch die Solarthermie bereitgestellt werden sowie weitere 326 MWh (1,8%) durch die vor Ort befindlichen Wärmepumpen. Insgesamt wird der lokal bestehenden Wärmebedarf damit zu einem Drittel gedeckt.

Gewerbe in Mischgebieten	Gesamtmenge	Höchstwert	Niedrigstwert	Anteile
Alle 4 Jahre	in kWh	in kW	in kW	in %
<b>Wärmelast</b>	17.713.012,14	1.584,87	44,34	100,0%
<b>Solarthermische Wärme</b>	5.575.112,28	1.225,24	0,00	31,5%
<b>Restwärmebedarf nach Solarthermie</b>	12.137.899,86	1.584,87	0,00	68,5%
<b>Wärmebeitrag aus Wärmepumpen</b>	325.891,71	19,50	0,00	1,8%
<b>Verbleibender Wärmebedarf</b>	11.812.008,15	1.565,37	0,00	66,7%
<b>Gesamtwärmedeckung</b>	<b>5.901.003,99</b>	<b>Gesamtdeckungsgrad Wärme</b>		<b>33,3%</b>

Tabelle 90: Last, Erzeugung und Bilanz von Wärme für den Stadtraumtyp.

7.2.22.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.22.2.1 Strom

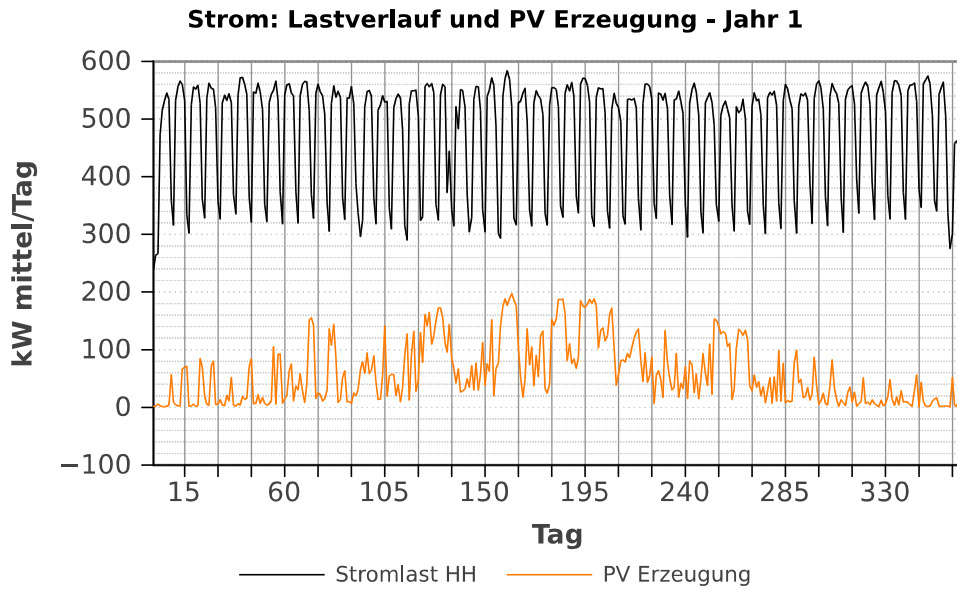


Abbildung 244: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

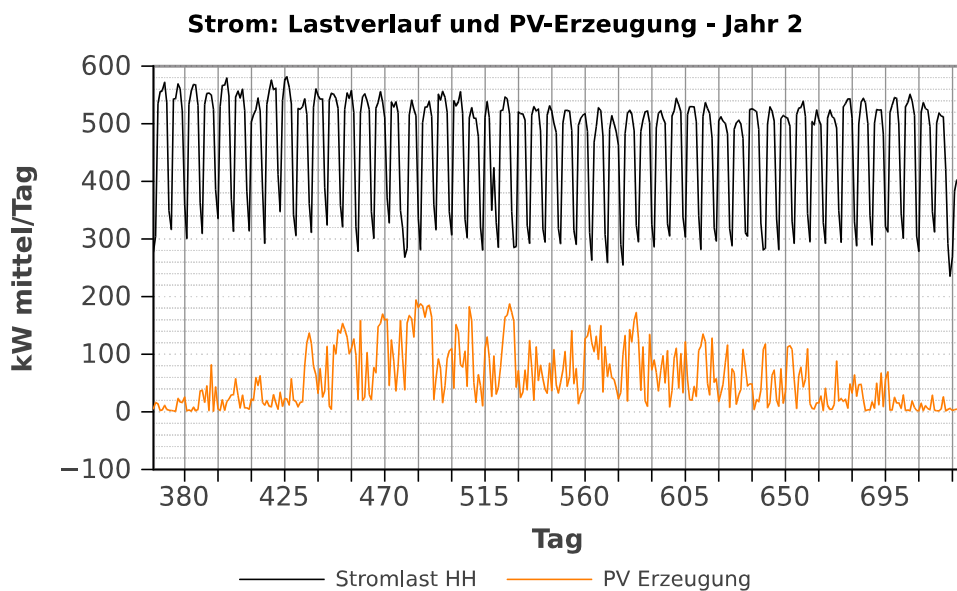
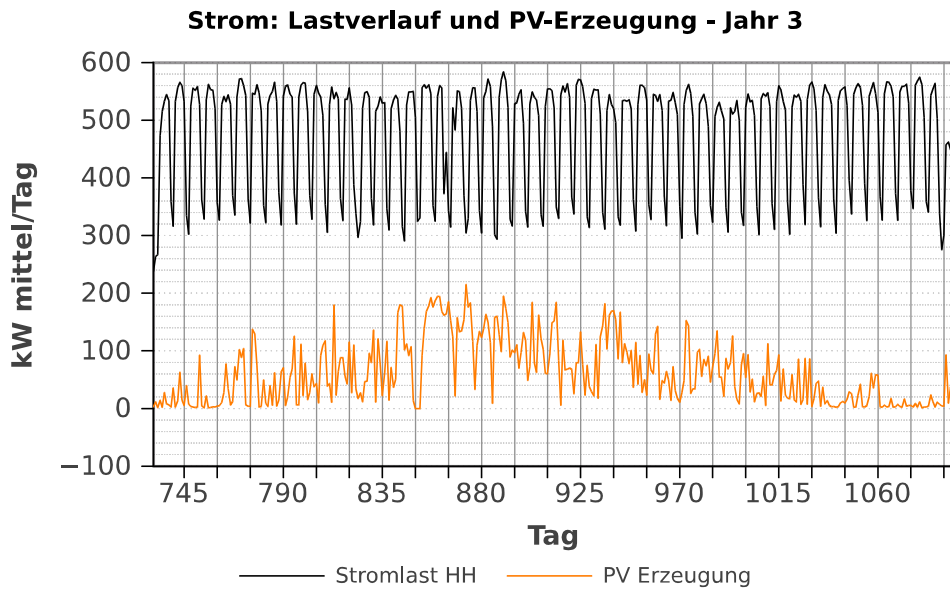
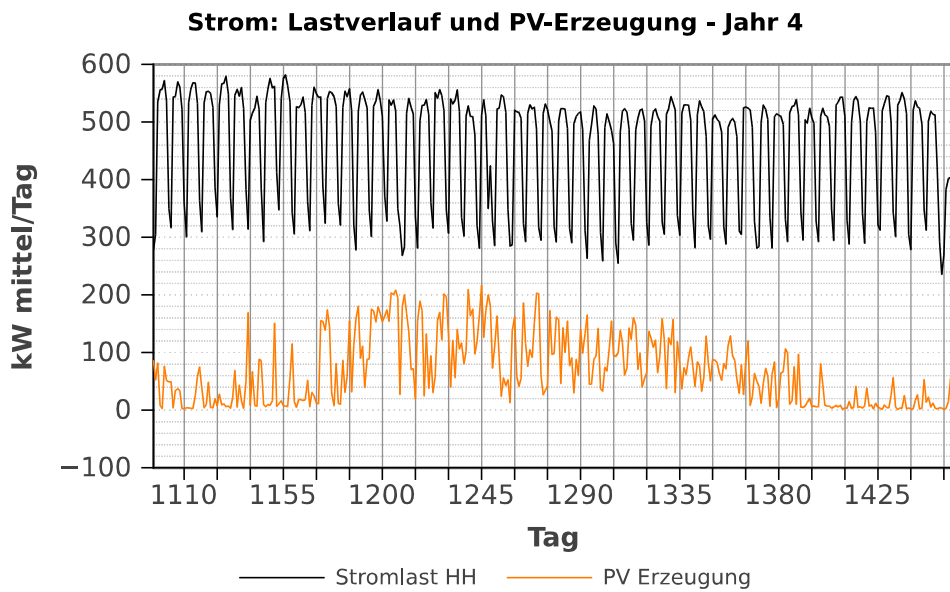


Abbildung 245: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.



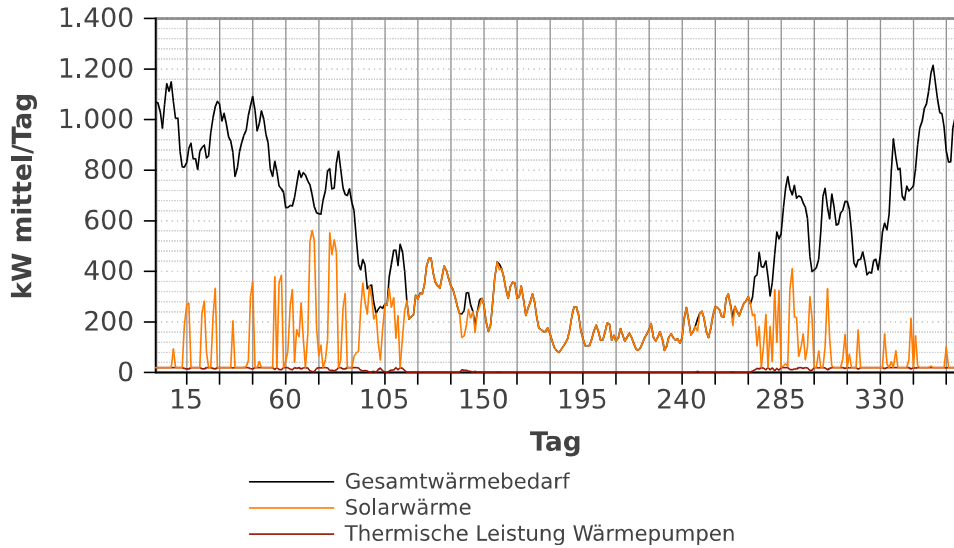
**Abbildung 246: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.**



**Abbildung 247: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.**

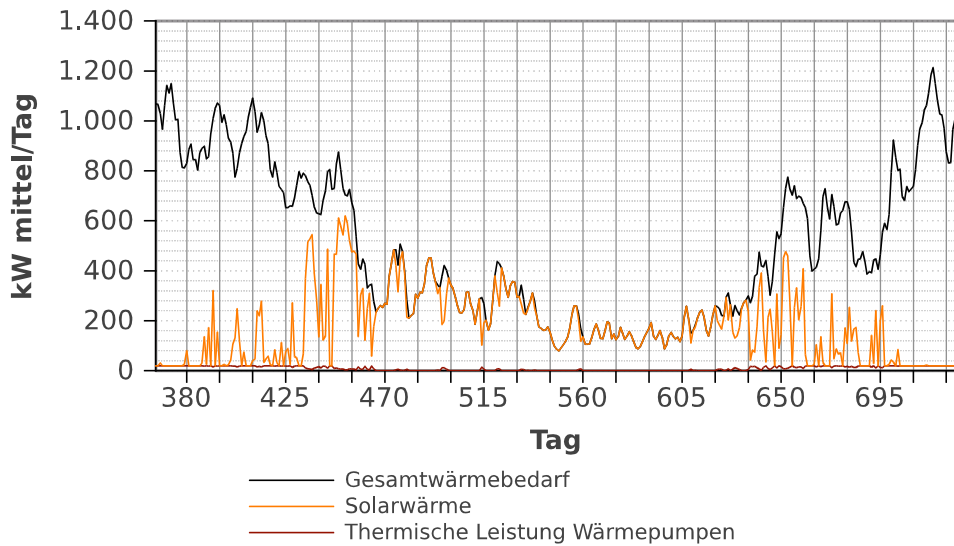
7.2.22.2.2 Wärme

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag- Jahr 1**



**Abbildung 248: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**

**Wärme: Lastverlauf, Solarwärme und Wärmepumpenbeitrag - Jahr 2**



**Abbildung 249: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**

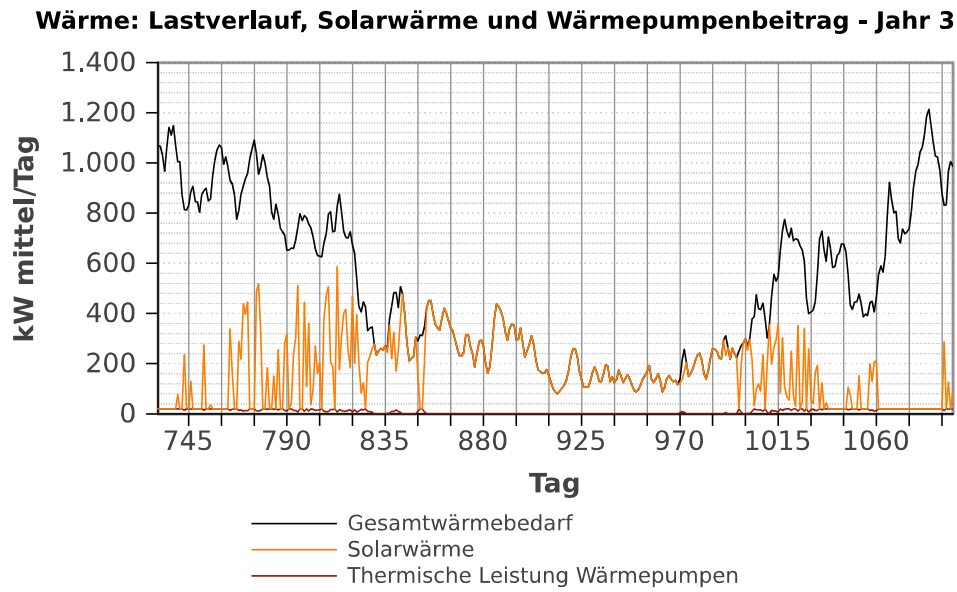


Abbildung 250: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

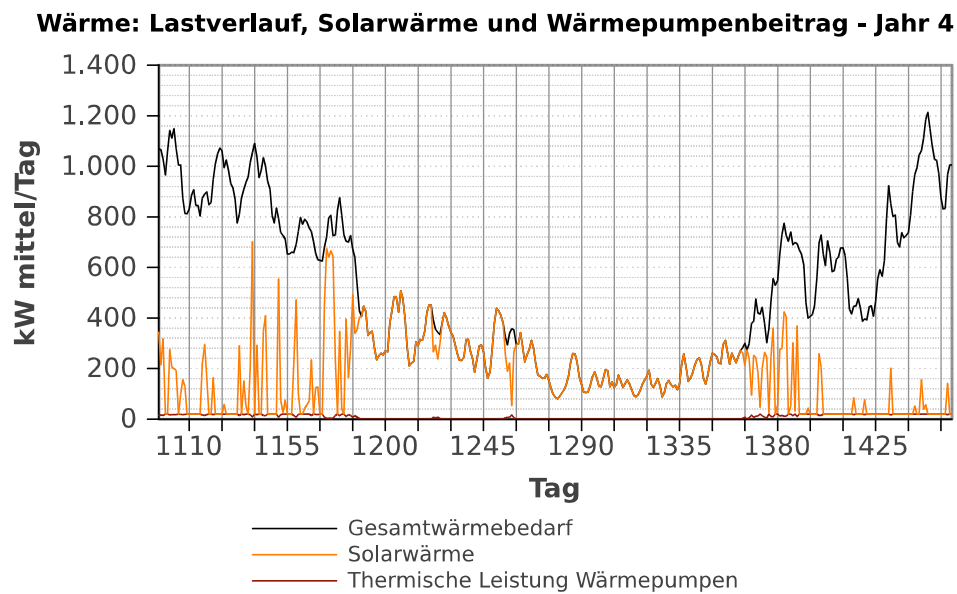


Abbildung 251: Wärme: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.22.2.3 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

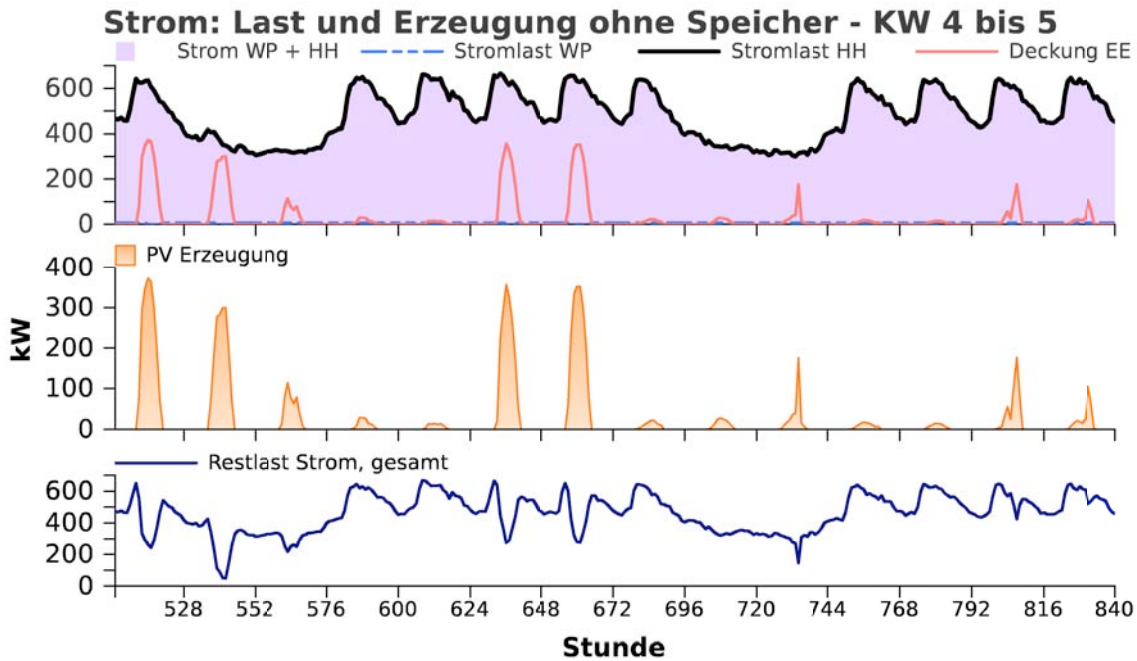


Abbildung 252: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

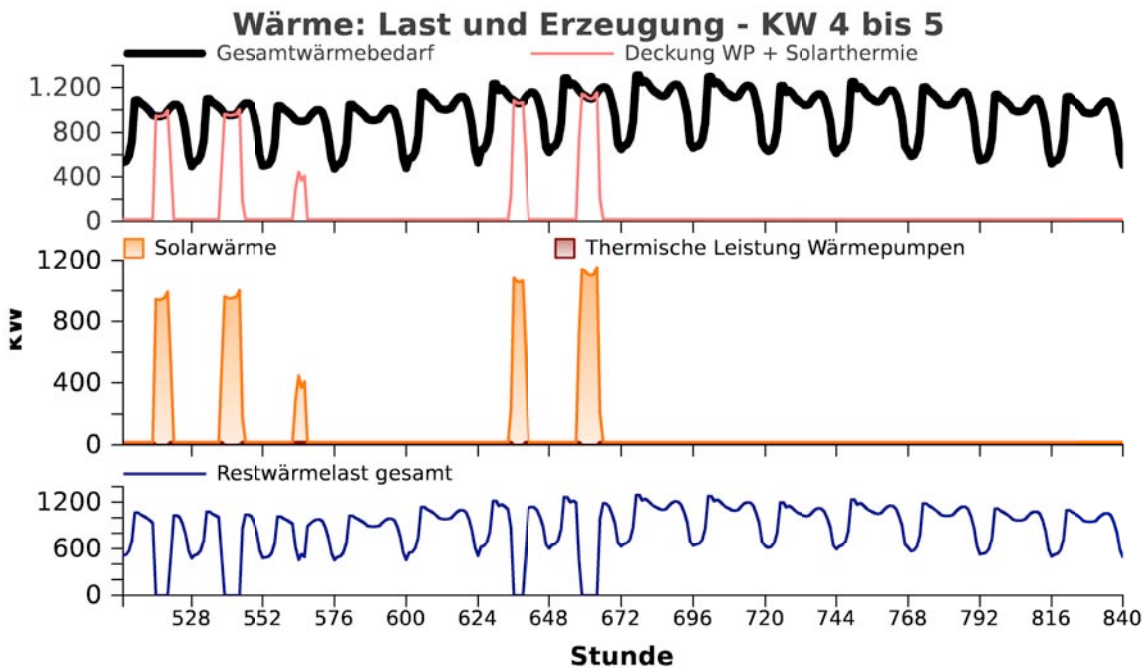


Abbildung 253: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

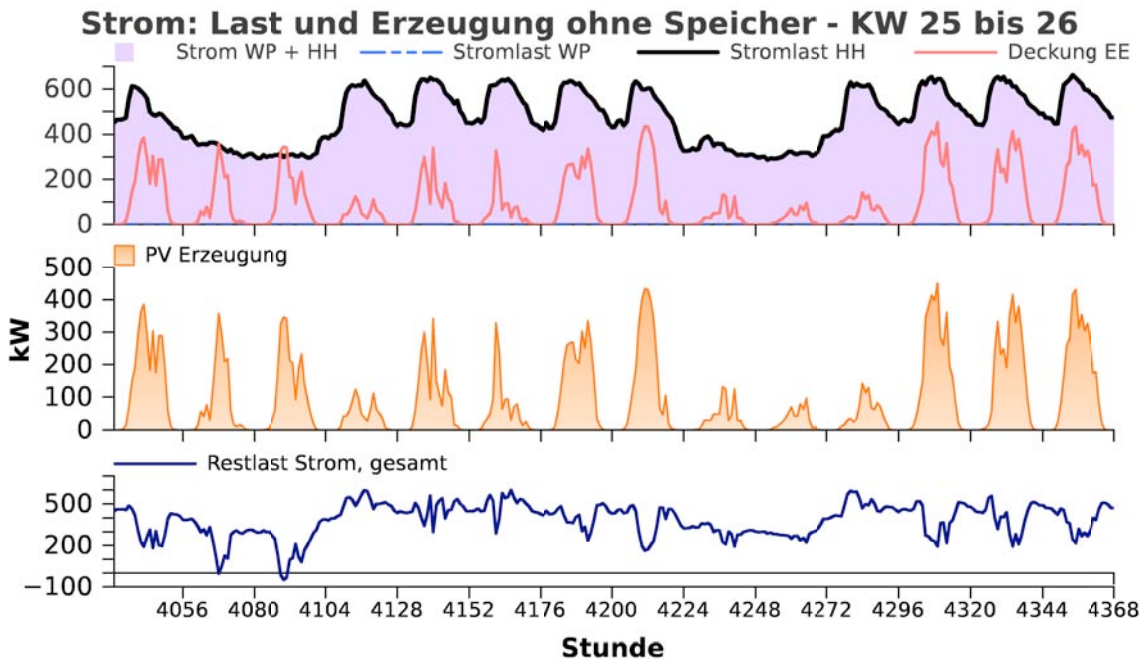


Abbildung 254: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

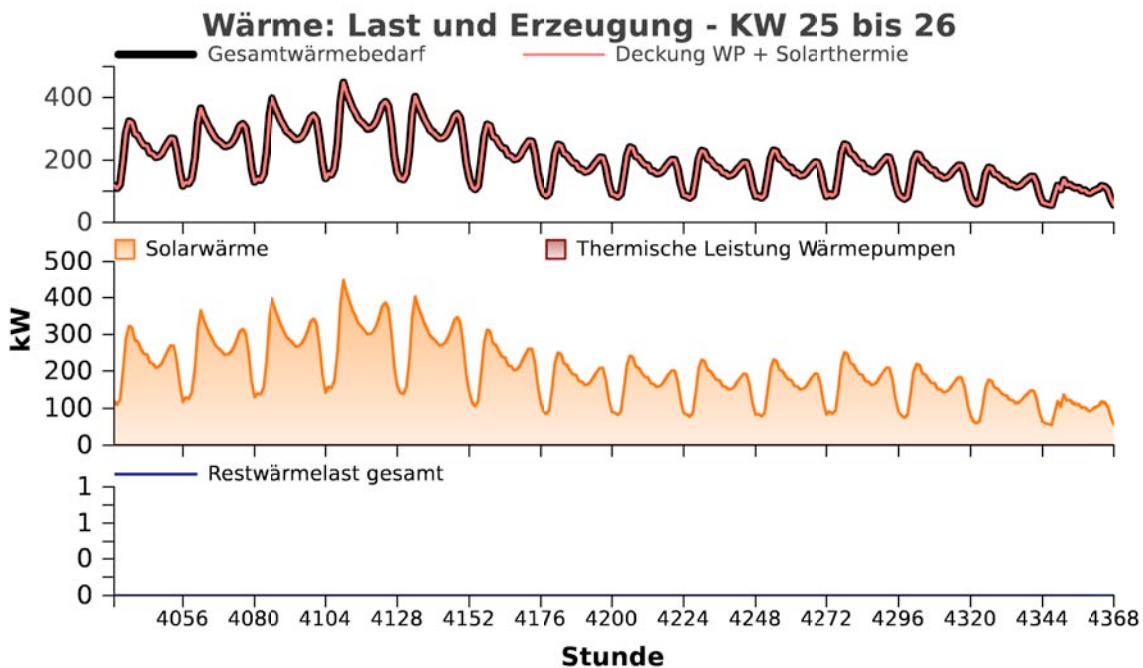


Abbildung 255: Wärme: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

### 7.2.23 Stadtraumtyp S1 (SRT S1): Schumacherbauten 1920-30er

Der Stadtraumtyp nimmt eine Fläche von 6,85 ha ein, der Anteil an der Gesamtfläche des Gebietes liegt bei 0,49%. Die Energiebezugsfläche des Stadtraumtyps beträgt 8,77 ha (1,04% der gesamten Energiebezugsfläche).

#### 7.2.23.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können 9,2% des Strombedarfs aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Wärmepumpen werden in diesem Stadtraumtyp nicht verwendet.

Schumacherbauten 1920-30er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	8.769.779,8	811.099,2	7.958.680,6	0,0	7.958.680,6
Anteile in %	100,0%	9,2%	90,8%	0,0%	90,8%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>9,2%</b>		<b>9,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 91: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Der nur geringe Installationsumfang der PV wirkt sich dahingehend aus, dass praktisch kein Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung vorhanden ist. Fast die ganze Stromerzeugung aus der Photovoltaik kann zur lokalen Deckung des Strombedarfs genutzt werden. Leistungsüberschüsse treten nur in unwesentlichem Umfang auf. Dementsprechend fällt auch die in andere Netzgebiete abzusetzende Energiemenge sehr klein aus: insgesamt müssen lediglich 2.962 kWh von angrenzenden Netzen aufgenommen werden. Bezogen auf den Strombedarf des Stadtraumtyps bedeutet dies einen Anteil von 0,3‰ (Promille).

Schumacherbauten 1920-30er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	8.769.779,8	811.099,2	7.958.680,6	0,0
Anteile in %	100,0%	9,2%	90,8%	0,0%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>8.769.779,8</b>		<b>7.961.643,1</b>	<b>7.961.643,1</b>
Anteile in %	100,0%		90,8%	90,8%
Überschüsse			-2.962,4	-2.962,4
Anteile in %			0,0%	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>808.136,8</b>	<b>808.136,8</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)</b>			<b>9,2%</b>	<b>9,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

Tabelle 92: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Trotzdem treten Erzeugungüberschüsse auf, die zeitweise zu einer Lastumkehr im lokalen Verteilernetz führen. Die notwendige Exportleistung beläuft sich auf ca. 69 kW, was weniger als einem Zehntel der maximalen Bezugslast entspricht. Insgesamt führt



die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (833 kW ohne und 830 kW mit PV, Tabelle 93).

Schumacherbauten 1920-30er	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	833,2	829,9	829,9
minimale Last <sup>1)</sup>	86,1	-68,7	-68,7

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 93: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

Der komplette Wärmebedarf des Stadtraumtyps wird durch Wärmenetze bereitgestellt. Folglich kommen in diesem Stadtraumtyp weder solarthermische Anlagen noch Wärmepumpen zum Einsatz. Die Darstellung und Bilanzierung der Wärmeversorgung erfolgt im Rahmen der Darstellung der Wärmenetze (siehe dazu: XXX).

7.2.23.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

7.2.23.2.1 Strom

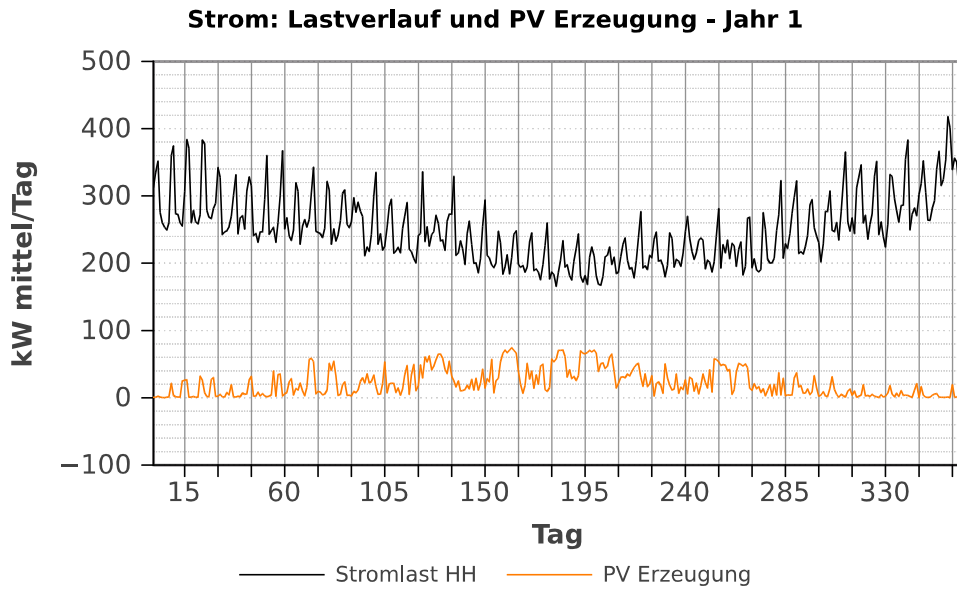


Abbildung 256: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

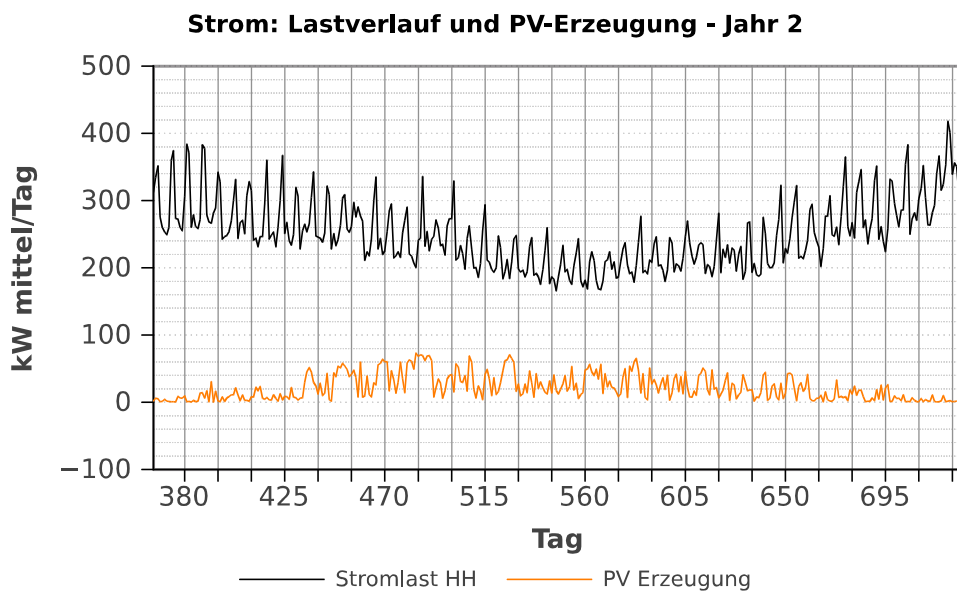


Abbildung 257: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

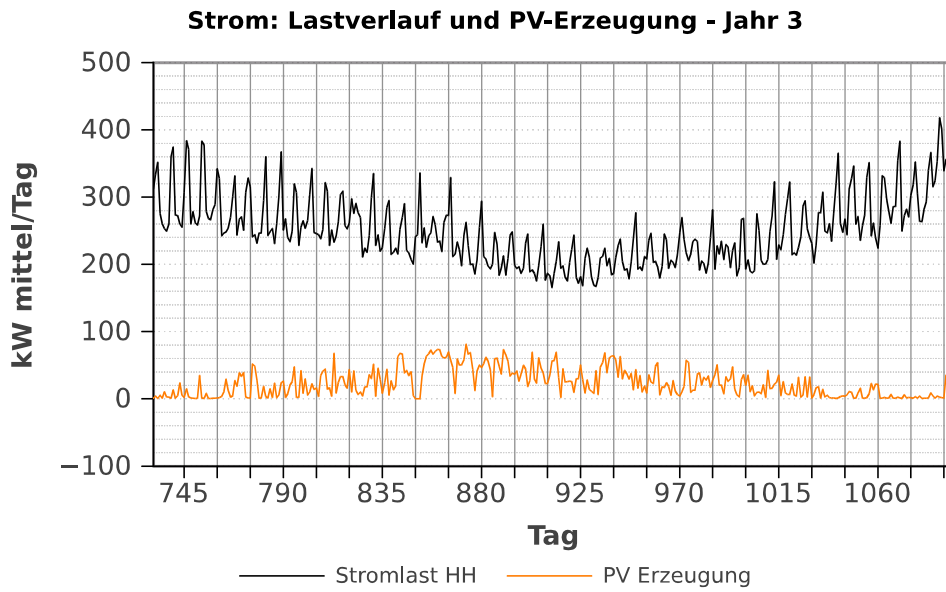


Abbildung 258: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

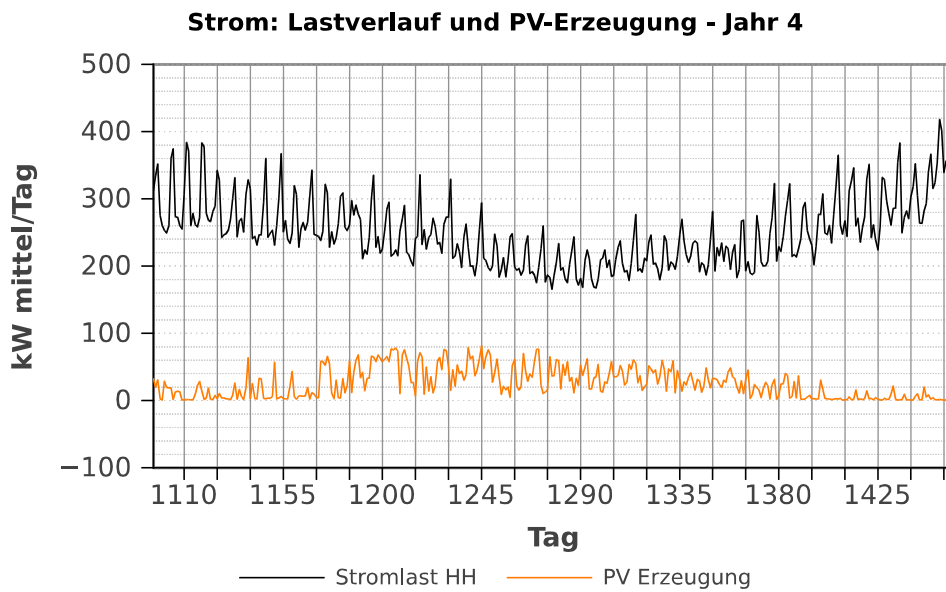


Abbildung 259: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

7.2.23.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

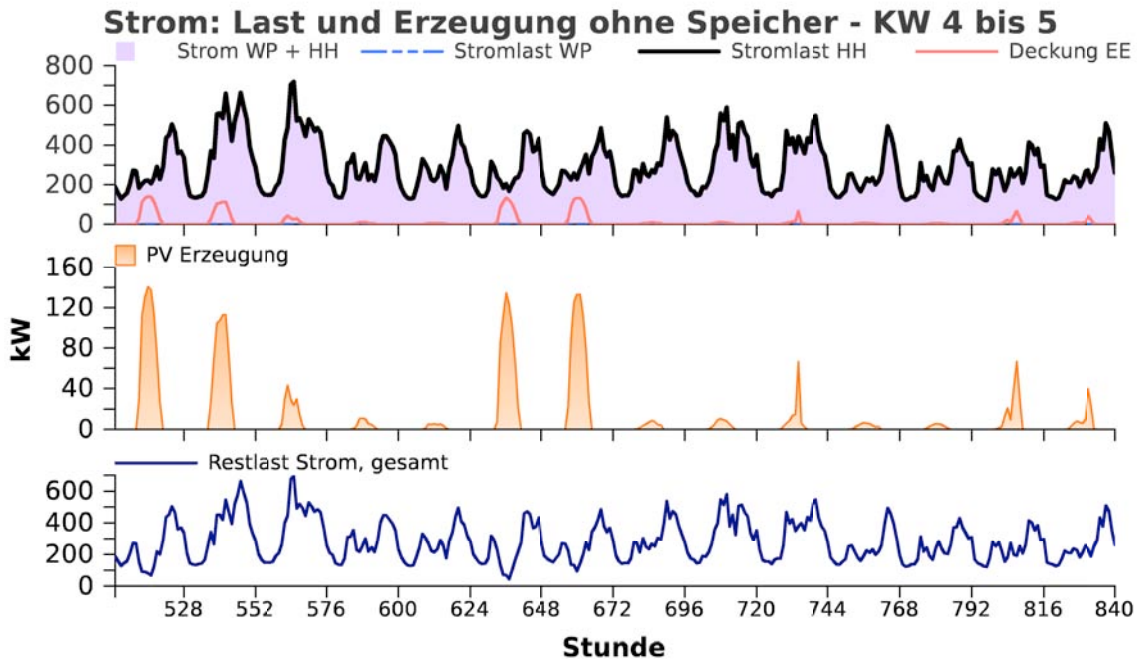


Abbildung 260: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

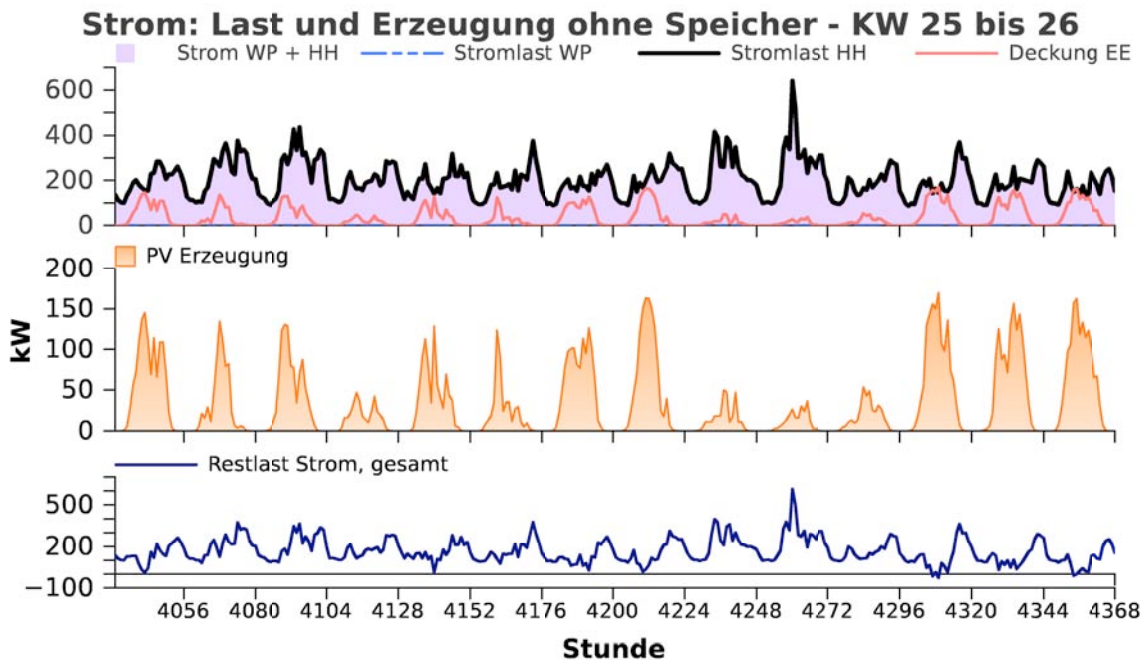


Abbildung 261: Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 8. Zusammenfassung der Gesamtergebnisse ohne dezentrale elektrische Speicher

Die unterschiedlichen Nutzungsbedingungen für Solarenergie in den verschiedenen Stadtraumtypen, die variierende Gewichtung zwischen dem jeweiligen Einsatz von Photovoltaik und Solarthermie und unterschiedliche strukturelle Gegebenheiten führen in den Stadtraumtypen zu einer großen Spreizung in Bezug auf die möglichen Deckungsbeiträge für Strom und Wärme.

Die Bandbreite der Stromerzeugung aus Photovoltaik - in einem System ohne dezentrale elektrische Speicher - reicht von weniger als 10% bis über 300% des Jahresstrombedarfs der Stadtraumtypen inklusive des Strombedarfs der Wärmepumpen

Trotz des teilweise geringen Beitrags der Photovoltaik kommt es in allen Stadtraumtypen zu Leistungsüberschüssen, d.h. es erfolgt eine Umkehr der Lastflussrichtung in den lokalen Versorgungsnetzen. Bei den Stadtraumtypen mit den höchsten PV-Beiträgen übersteigt die aus dem Stadtraum heraus zu exportierende Energiemenge den Strombedarf teilweise um das Mehrfache. Gleichzeitig kann sich keiner der Stadtraumtypen selbst versorgen; insgesamt überwiegen überall die Zeiten, in denen die eigene Erzeugung nicht zur Deckung der vorliegenden Last ausreicht, fehlende Leistung also aus dem Energieverbund Wilhelmsburg oder aus umgebenden Netzbereichen bezogen werden muss.

Trotzdem ziehen die Stadtraumtypen einen Vorteil aus der Vernetzung untereinander: Ausgleichseffekte unterhalb der Stadtraumtypen wirken sich dämpfend auf die maximalen Leistungsdefizite und -überschüsse aus, der Anteil der innerhalb Wilhelmsburg nutzbaren Eigenerzeugung aus Photovoltaik steigt gegenüber der Einzelbetrachtung der Stadtraumtypen an.

	Strombedarf		PV-Erzeugung	
	in MWh		in MWh	
	572.036,2		201.938,9	
	Strommenge		Anteil an Strombedarf	
in MWh	in %	in %	in %	
<b>Mengenbilanzierung (statisch)</b>				
Strombedarf Haushalte in SRT	569.423,8	100,0%	35,5%	100,0%
Wärmepumpenstrombedarf in SRT	2.612,4	0,5%	7.730,0%	
Gesamtstrombedarf SRT	572.036,2	100,5%	35,3%	100,0%
ungedeckter Strombedarf	370.097,3	64,7%		
gedeckter Strombedarf	201.938,9	35,3%		
<b>Versorgungsbilanzierung nur Haushaltsstrom (dynamisch)</b>				
Restlast nach PV	437.353,4	76,8%		
Gedeckt durch PV	132.070,5	23,2%	23,2%	65,4%
Überschüsse nach PV	69.868,5	12,3%		34,6%
<b>Versorgungsbilanzierung inkl. Wärmepumpen (Gesamtstrom, dynamisch)</b>				
Restlast nach Wärmepumpen	439.917,7	76,9%		
Gedeckt durch PV	132.118,5	23,1%	23,1%	65,4%
Überschüsse nach Wärmepumpen	69.820,5	12,2%		34,6%

Tabelle 1: Bilanzierung, PV-Anteile und lokale Nutzung der Photovoltaik über alle Stadtraumtypen.

Insgesamt kann der Strombedarf der Stadtraumtypen zu gut 23% aus der lokalen PV-Erzeugung gedeckt werden. Zwar macht die Gesamterzeugung der Photovoltaik in den Stadtraumtypen 35% des Gesamtstrombedarfs aus, doch die innerhalb Wilhelmsburgs nicht nutzbaren Erzeugungsüberschüsse führen zu dem o.g. Deckungsanteil. Das Verhältnis von vor Ort genutzter zu exportierter PV-Erzeugung liegt damit etwa bei zwei Drittel zu ein Drittel.

Zusammen mit der über Wilhelmsburg verteilten und auf dem Energieberg stattfindenden Erzeugung aus Windenergie, weiteren Photovoltaikanlagen auf Energieberg und Energiebunker, in Kirchdorf Süd und in über Wilhelmsburg verteilten Projekten sowie in lokale Wärmenetze eingebundene KWK-Anlagen kann in der Gesamtbeurteilung der simulierten vier Jahre deutlich mehr Strom in Wilhelmsburg erzeugt werden, als insgesamt in dieser Zeit verbraucht wird.

Dabei fallen zwar die Einzelbilanzen der Jahre recht unterschiedlich aus, doch in jedem einzelnen der vier simulierten Jahre wird in Wilhelmsburg deutlich mehr Strom erzeugt, als verbraucht wird.

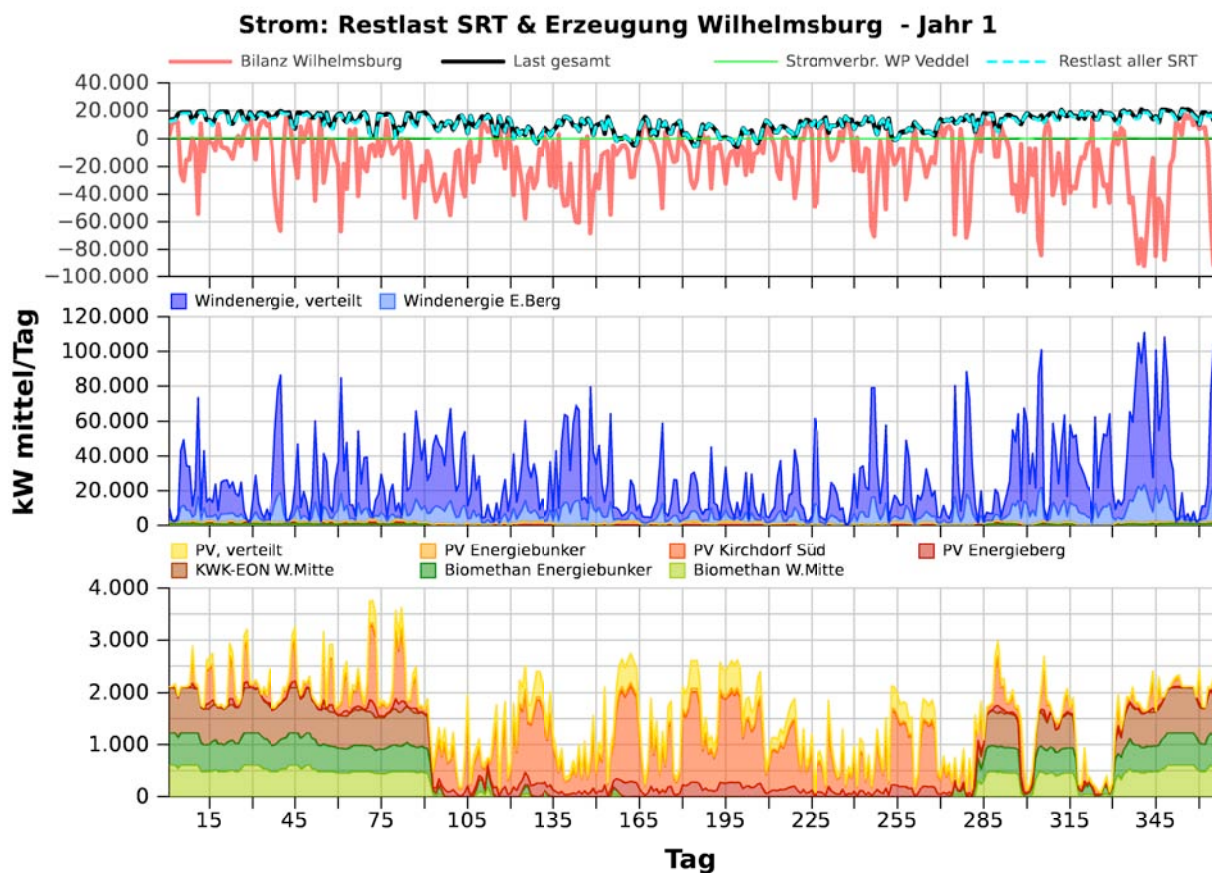


Abbildung 1: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 1.

Die aus der Restlast der Stadtraumtypen (Abbildung 1, gestrichelte, cyanfarbene Linie im oberen Diagramm) und dem Stromverbrauch der Wärmepumpen im Veddel (grüne Linie) resultierende Gesamtstromlast für Wilhelmsburg (schwarze Linie) wird nur unmaßgeblich durch den Stromverbrauch der Wärmepumpen beeinflusst. Die Gesamtstrombilanz für Wilhelmsburg (rote Linie im oberen Diagramm) weist vorwiegend Stromüberschüsse auf (negativer Wertebereich), reicht aber gelegentlich nahe an den Verlauf der Gesamtlast heran, was bedeutet, dass nur ein geringer Teil der vorliegenden Last aus eigener Erzeugung gedeckt werden kann.

Der Verlauf der Erzeugung aus KWK-Anlagen folgt dem Verlauf des Wärmebedarfs und somit weitgehend dem Verlauf der Außentemperaturen. Deutlich zeichnet sich auch der Zeitraum der „Heizsaison“ ab. Die gesamte Leistung der KWK-Anlagen ist jedoch so gering, dass deutliche Auswirkungen auf die Versorgungssituation nicht zu beobachten sind. Da der Verlauf sich in allen vier simulierten Jahren stark gleicht, wird im Weiteren nicht mehr näher auf den Beitrag der KWK eingegangen.

Die weiteren Abbildungen zeigen die Verläufe für die Jahre 2, 3 und 4. Unterschiede treten aufgrund der wetterbedingten Schwankungen der fluktuierenden Erzeugung auf, die sich auch unmittelbar auf die Strombilanz für Wilhelmsburg auswirken.

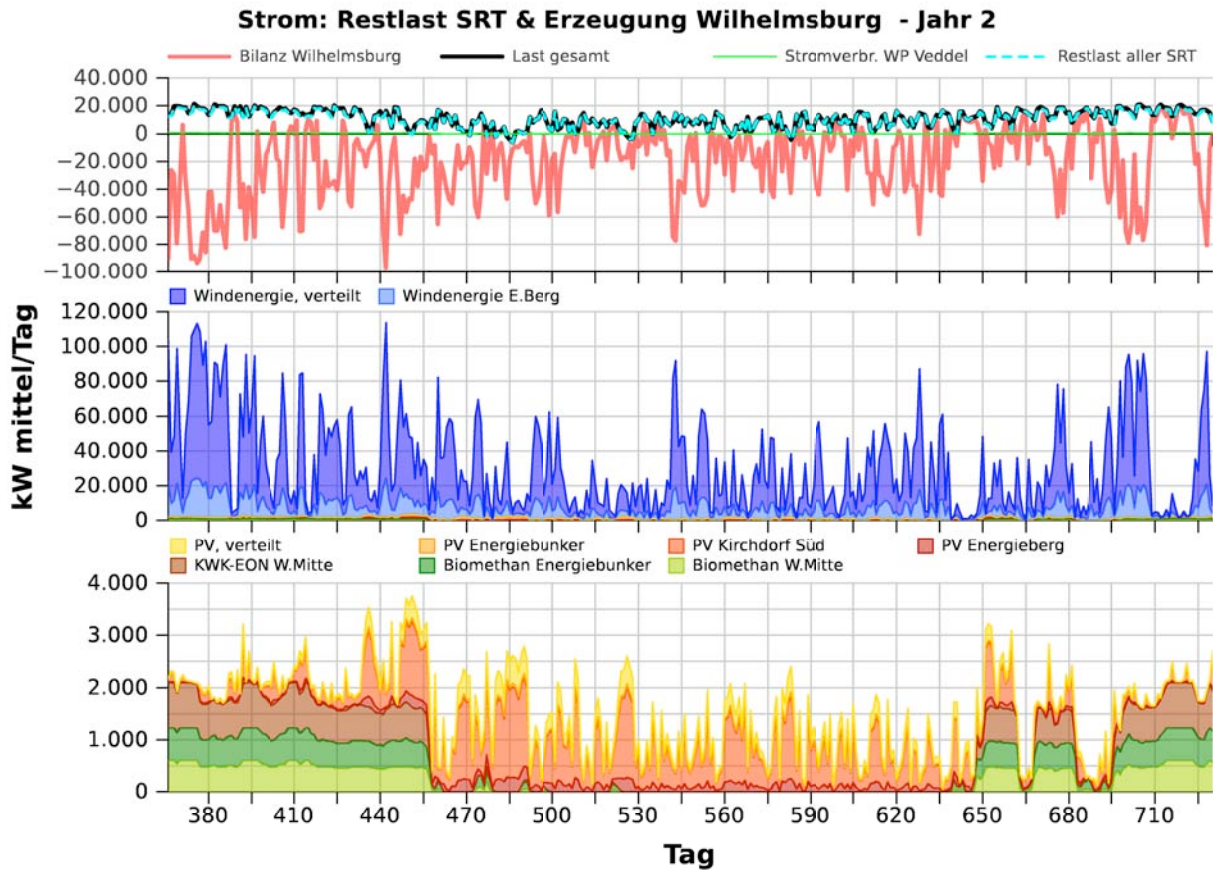


Abbildung 2: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 2.



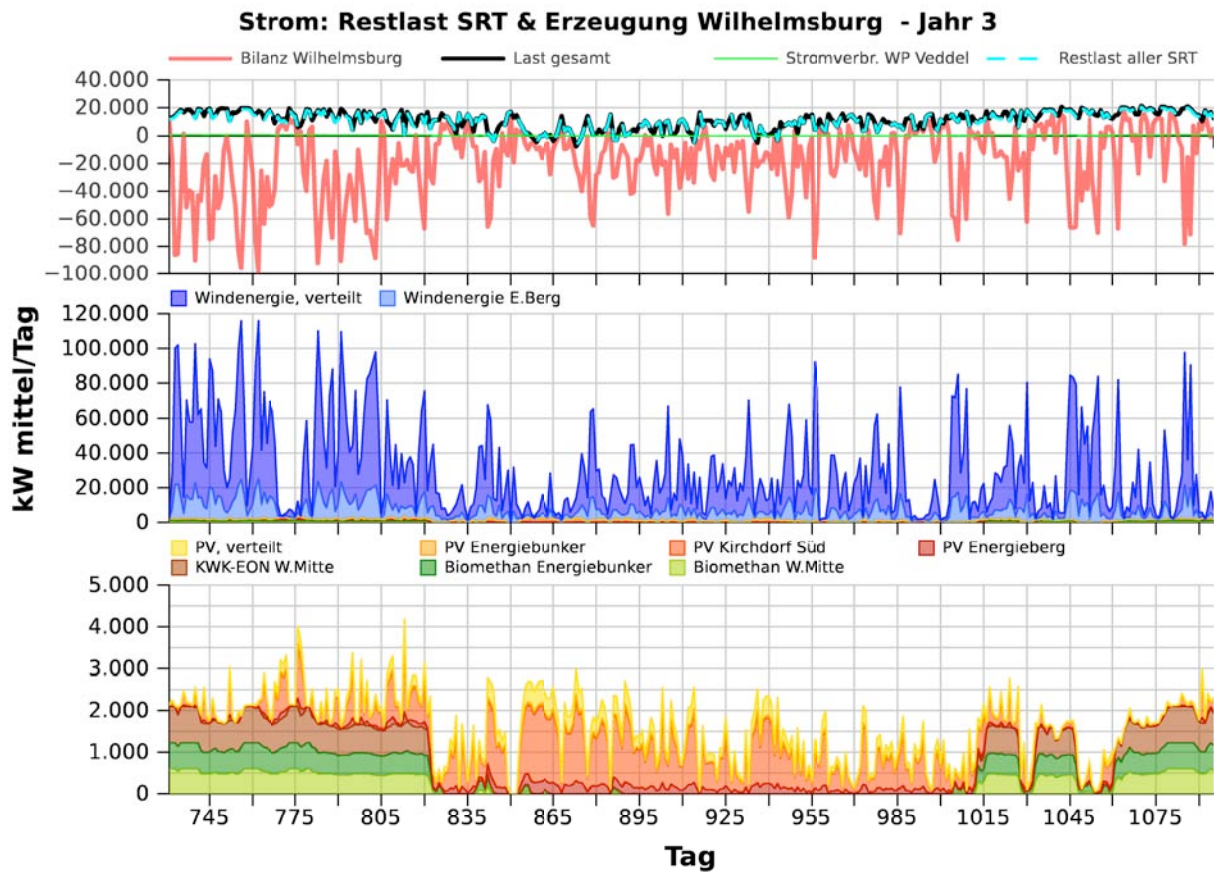


Abbildung 3: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 3.

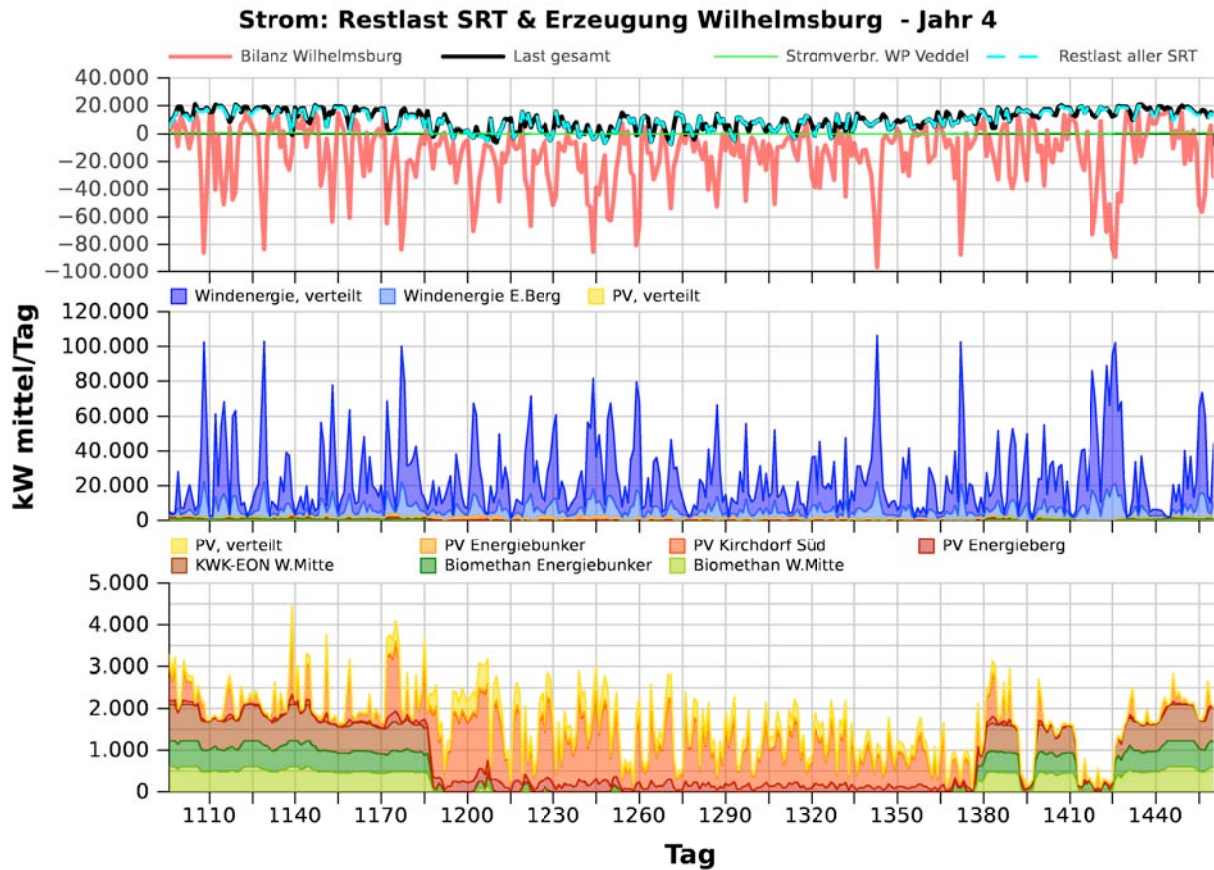


Abbildung 4: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 4.

Insgesamt kann nicht von einer autarken Vollversorgung gesprochen werden. In allen Jahren muss häufig Leistung aus vorgelagerten Netzen zur Lastdeckung bezogen werden. Auch weist die Versorgung die typischen Merkmale eines Versorgungssystems mit hohen Anteilen fluktuierender Erzeugung auf: die maximal an vorgelagerte Netze abzusetzende Leistung übersteigt den maximalen Leistungsbezug deutlich.

## 8.1 Darstellung ausgewählter Wochen in höherer Auflösung

Der folgende Abschnitt zeigt Abbildungen der Gesamtversorgung Wilhelmsburgs in einer höheren Auflösung. Dargestellt sind jeweils Abschnitte von 2 Wochen, jeweils für die 4. bis 5. und die 25. bis 26. Woche eines Jahres, entsprechend den jeweiligen Zeiträumen Ende Januar/Anfang Februar sowie Ende Juni.

### 8.1.1 Jahr 1

Geprägt ist der dargestellte Zeitraum zu Beginn des ersten Jahres durch ein mäßiges Angebot an Windenergie, gepaart mit dem nur geringen Angebot an Solarenergie zu dieser Jahreszeit (Abbildung 5). Um die Mitte des dargestellten zweiwöchigen Zeitraum kommt es zu einem länger andauernden Ausfall der Erzeugung aus Windenergie aufgrund des schwachen Windes. Während dieser Zeit verläuft die Gesamtbilanz für Wilhelmsburg sehr nahe an der Gesamtlast, da lediglich die KWK-Anlagen geringfügig zur Lastdeckung beitragen.

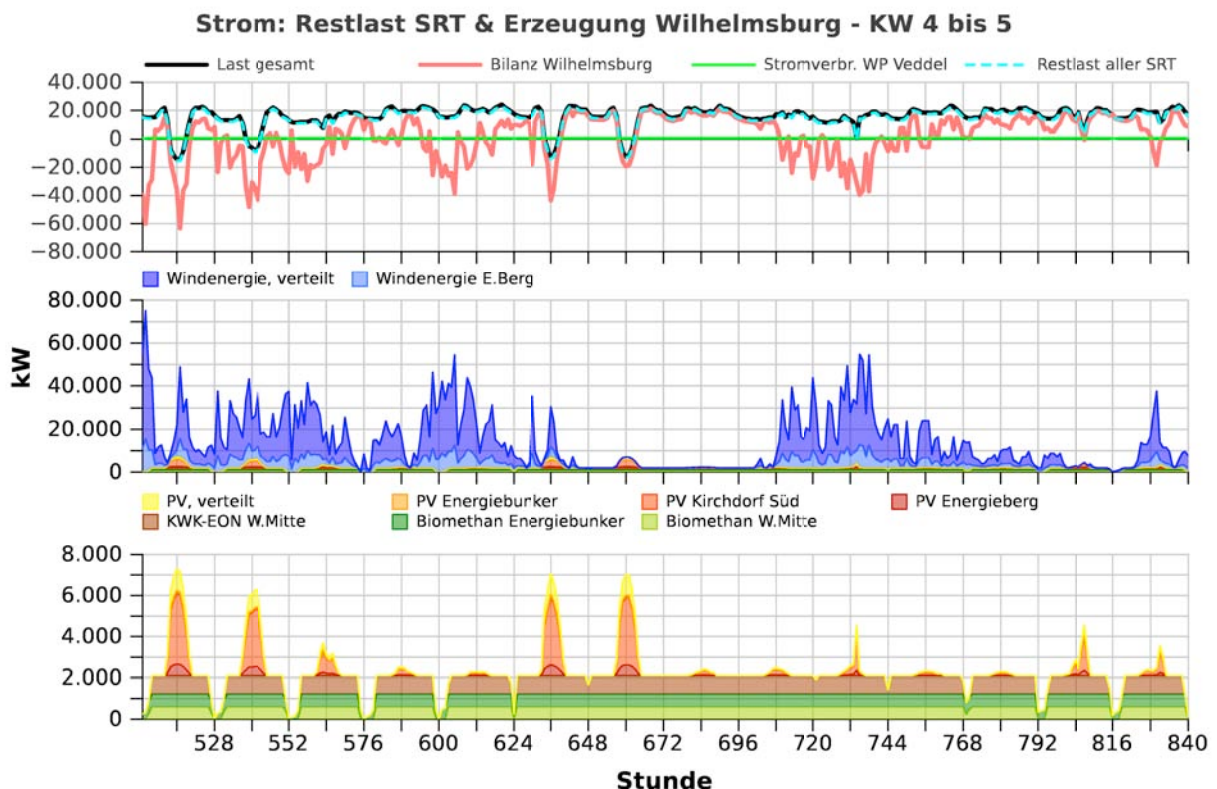


Abbildung 5: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 1, Wochen 4 und 5.

Auch während der Sommerwochen des ersten Jahres ist der Ertrag der Windenergie recht gering, jedoch deutlich wechselhafter als in den Wochen zu Beginn des Jahres (Abbildung 6). Längeren windarmen Zeiten stehen vereinzelt hohe Leistungsspitzen der Windenergie gegenüber, die jedoch selten länger als ein paar Stunden andauern.

Die Photovoltaik liefert größtenteils hohe Erträge, jedoch fallen die Leistungsspitzen größtenteils in eine Zeit, in der schon die Photovoltaik innerhalb der Stadtraumtypen mehr Strom erzeugt, als zeitgleich dort verbraucht wird. Hieraus resultieren dann vor allem höhere Stromexporte aus Wilhelmsburg heraus.

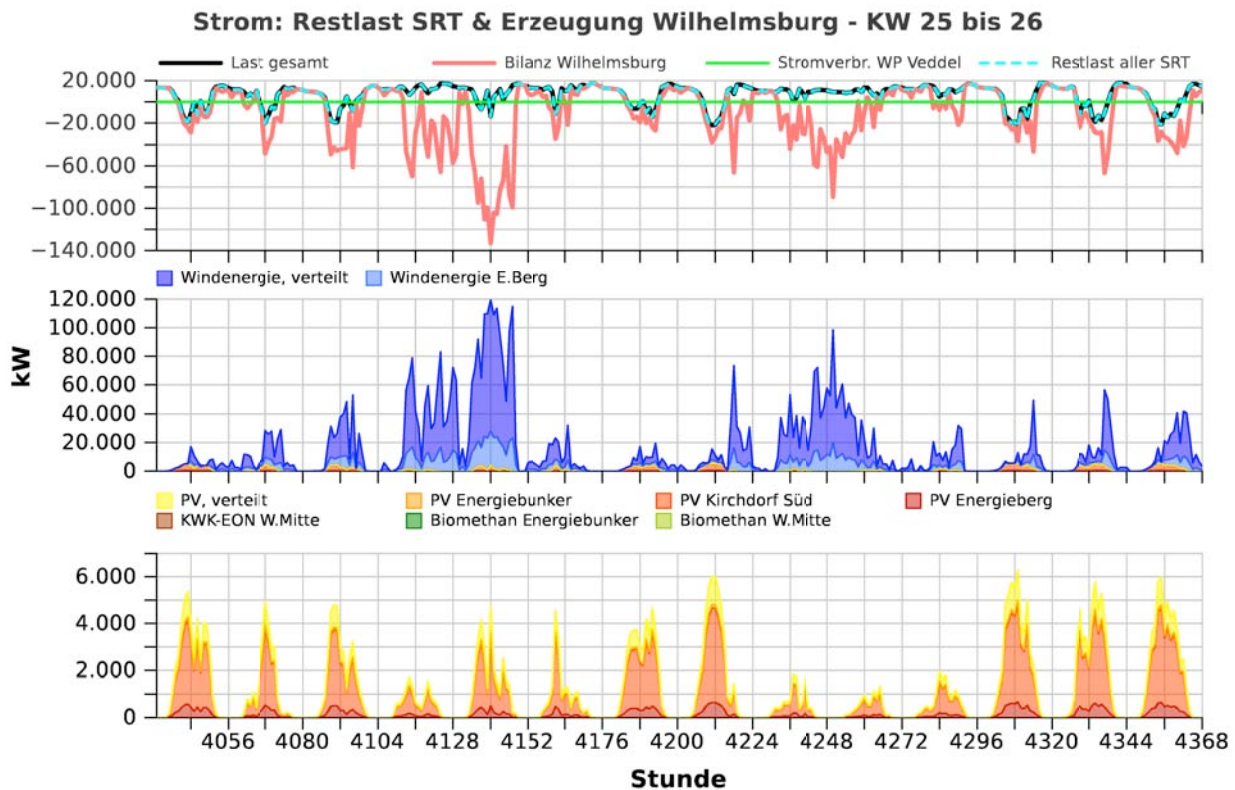


Abbildung 6: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 1, Wochen 25 und 26.

### 8.1.2 Jahr 2

Bis auf eine etwa drei Tage andauernde Flaute während der ersten Woche weist die Windenergie zu Beginn des zweiten Jahres (4. und 5. KW) gute Erträge mit hohen Spitzenleistungen auf, die öfter auch über längere Zeiten andauern (Abbildung 7). Die Photovoltaik steuert gelegentlich kurz andauernde Leistungsspitzen bei. Auch hier ist die Versorgungsbilanz hauptsächlich durch den Ertrag der Windenergie geprägt: fällt diese aus, so verläuft die Bilanz nahe der Gesamtlast, liefert die Windenergie hohe Erträge, resultieren daraus recht schnell hohe Stromexporte.

In den zwei Sommerwochen des zweiten Jahres kommt es bis in die zweite Woche hinein zu einem beinahe Totalausfall der Windenergie (Abbildung 8). Während dieser Zeit treten nur kurzfristig höhere Erzeugungsleistungen der Windenergie auf. Für die Photovoltaik zeigt sich ein durchwachsendes Bild, in dem gelegentlich höhere Erzeugungsleistungen auftreten, die jedoch von großen Schwankungen begleitet werden. In der Regel fallen die Erzeugungsspitzen von Windenergie und Photovoltaik zusammen; dementsprechend hoch fallen die notwendigen Stromexporte zu diesen Zeiten aus.

Etwa zu Beginn des zweiten Drittels der zweiten Woche zieht die Erzeugung der Windenergie deutlich an und verläuft ab dann auch wesentlich konstanter, als dies in den vorangegangenen Tagen zu beobachten war. In der Folge ist der restliche Zeitraum des dargestellten Abschnitts stark durch kontinuierliche Erzeugungsüberschüsse geprägt (Stromexport). Nur noch gelegentlich fällt die fluktuierende Erzeugung auf Werte nahe Null ab. Zu diesen Zeiten muss die Stromversorgung dann weitgehend durch den Strombezug aus angrenzenden Netzgebieten gesichert werden.

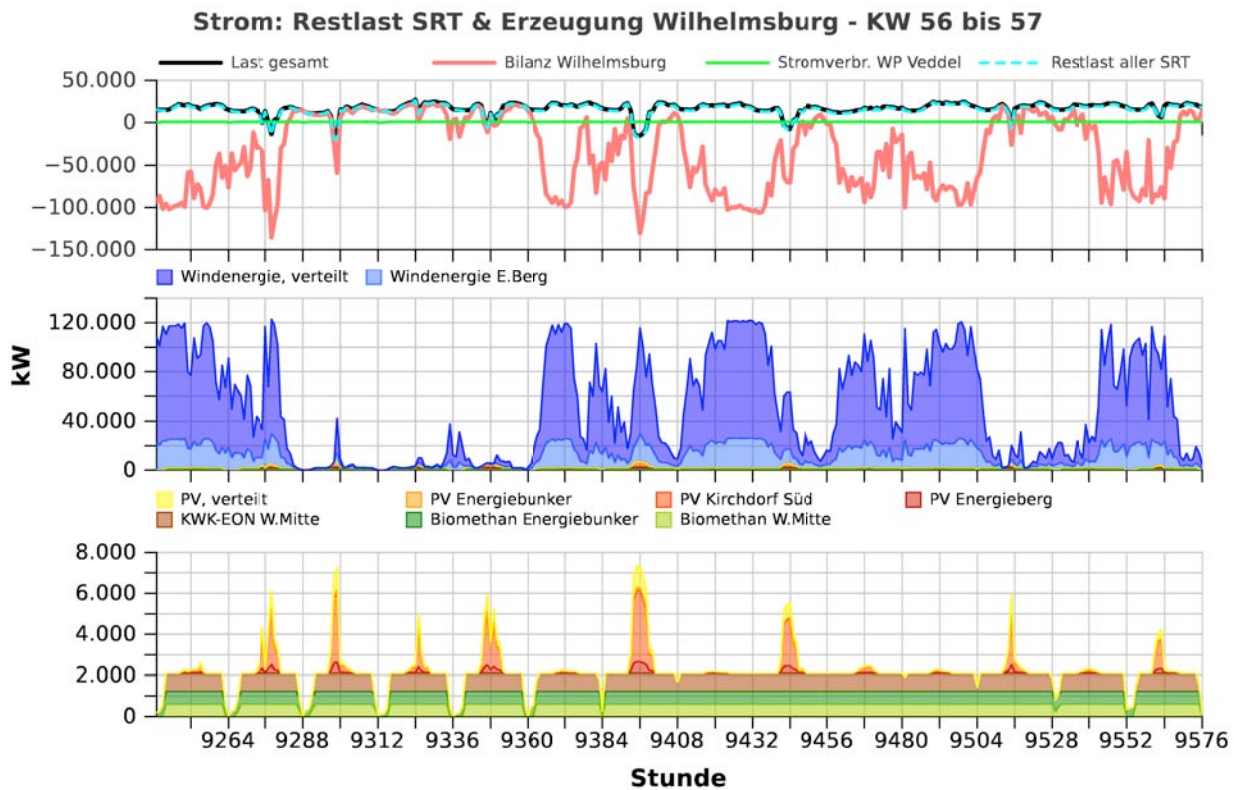


Abbildung 7: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 2, Wochen 4 und 5.

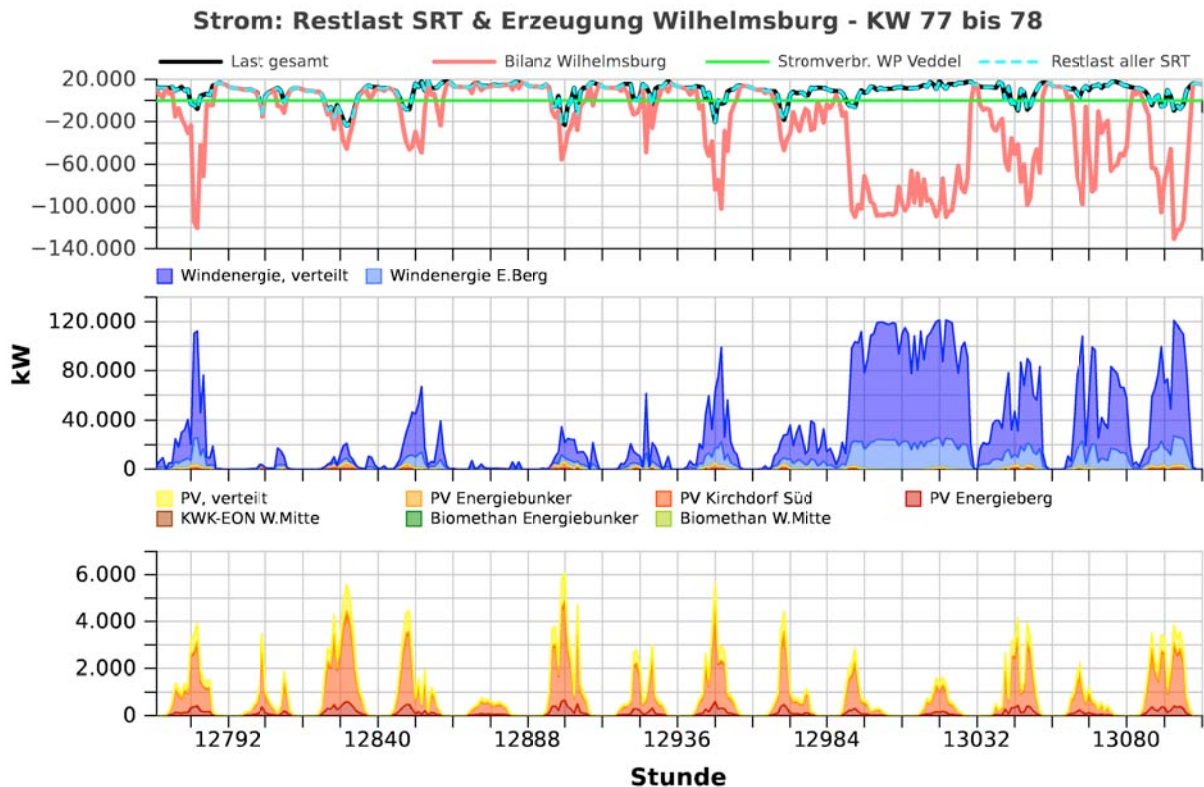


Abbildung 8: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 2, Wochen 25 und 26.

### 8.1.3 Jahr 3

Am Beginn des dritten Jahres (wiederum die 4. und 5. KW) zeigt sich die Windenergie wechselhaft: zwei jeweils längeren Zeitabschnitten mit konstant hohen Erzeugungsleistungen stehen auch zwei längere Zeitabschnitte mit geringer Erzeugung gegenüber, in denen nur gelegentlich höhere Erzeugungsspitzen auftreten (Abbildung 9). Bis auf eine Erzeugungsspitze zur Mittagszeit des dritten Tages, muss die Photovoltaik im dargestellten Zeitraum im wesentlichen als „abwesend“ bezeichnet werden.

Durch die im Vergleich zur maximal auftretenden Last hohe installierte Leistung der Windenergie ist der dargestellte zweiwöchige Zeitraum dennoch maßgeblich durch Erzeugungsüberschüsse geprägt.

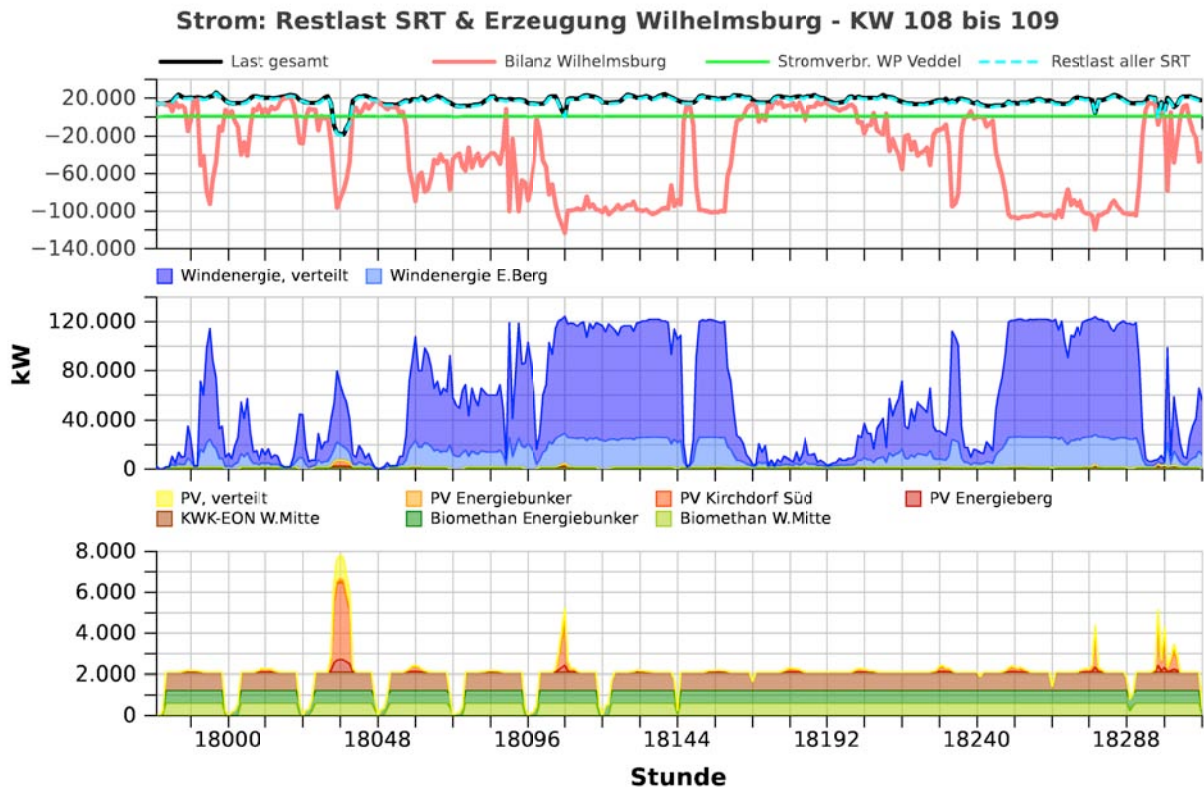


Abbildung 9: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 3, Wochen 4 und 5.

Die zwei Sommerwochen des dritten Jahres (Abbildung 10) sind vor allem durch eine gute Erzeugungssituation der Photovoltaik gekennzeichnet. Es werden bis auf wenige Ausnahmen hohe Leistungen erreicht, die oftmals auch recht konstant anliegen (konstant im Sinne des mit dem Lauf der Sonne variierenden Angebots). Die Erträge der Windenergie schwanken häufig zwischen niedrigen und moderaten bis hohen Leistungen und korrelieren auffällig stark mit der Sonneneinstrahlung. Dementsprechend präsentiert sich auch der Verlauf der Strombilanz für Wilhelmsburg, die häufig und regelmäßig zwischen Erzeugungsüberschüssen und Erzeugungsdefiziten wechselt.

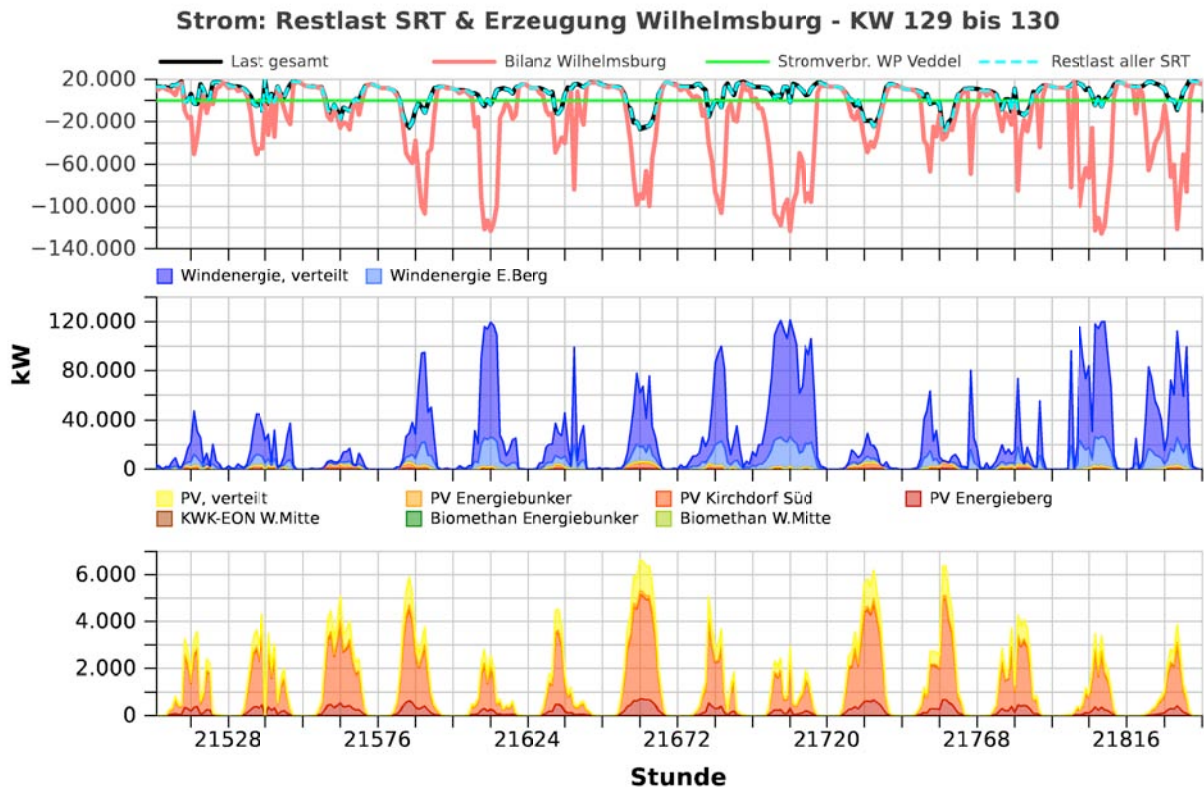


Abbildung 10: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 3, Wochen 25 und 26.

### 8.1.4 Jahr 4

Nur in der ersten der 4. und 5. Kalenderwoche des vierten Jahres treten längere Zeiten mit guter Windenergieerzeugung auf (Abbildung 11). Vom Ende der 4. KW bis zum Ende des dargestellten Zeitraumes können durchgängig nur geringe Leistungsbeiträge aus der Windenergie erzielt werden. Typisch für diese Jahreszeit zeigt sich der Verlauf der Photovoltaik: gelegentlich treten um die Mittagszeit deutliche Leistungsbeiträge hervor, die überwiegende Zeit aber bleibt der PV-Ertrag aus.

Die Erzeugungssituation spiegelt sich unmittelbar im Verlauf der Strombilanz für das Gesamtgebiet von Wilhelmsburg.



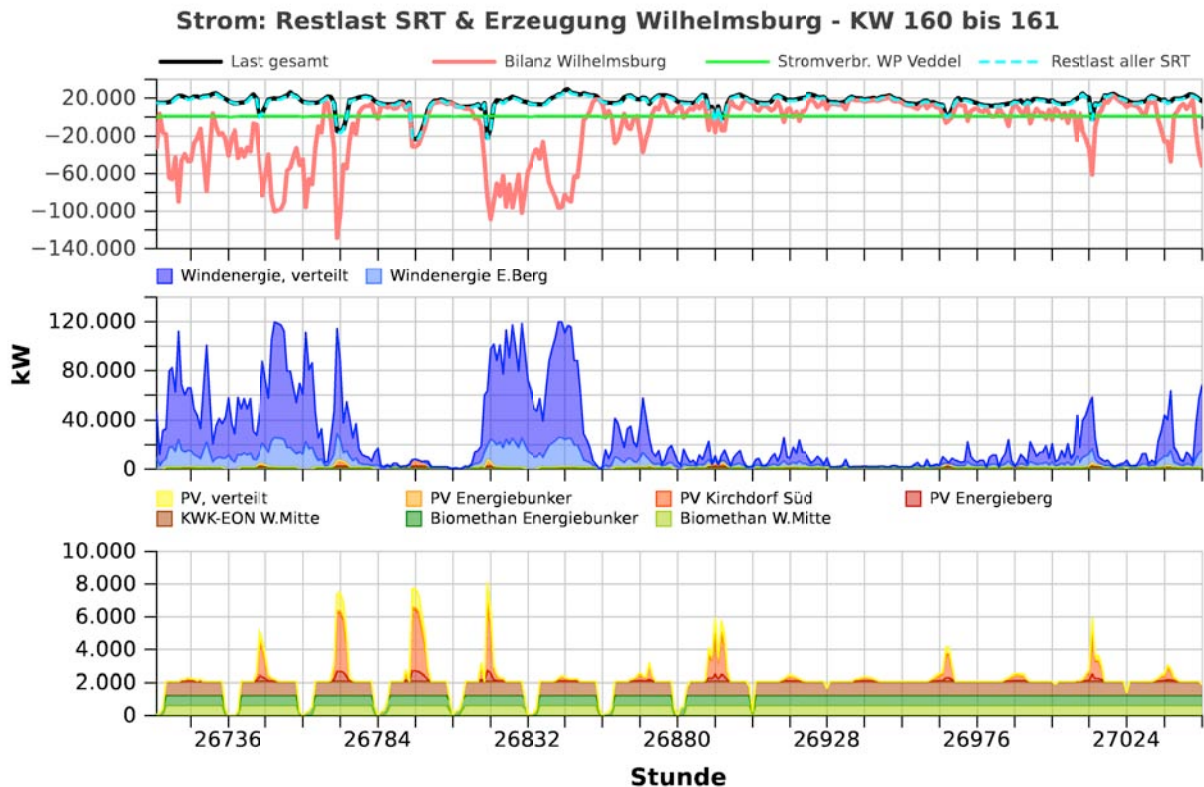


Abbildung 11: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 4, Wochen 4 und 5.

In den zwei Sommerwochen zur Mitte des vierten Jahres zeigt sich ein schon bekanntes Bild: die Bedingungen für die photovoltaische Stromerzeugung sind überwiegend gut, einige Tage weisen jedoch nur geringe PV-Leistungen auf (Abbildung 12). Die Windenergie zeigt sich wechselhaft und korreliert stark mit dem Solarstrahlungsangebot. Sowohl der Verlauf der Photovoltaik, als auch der Windenergie spiegeln sich deutlich im Verlauf der Strombilanz wieder: bei schwachem Solar- und Windangebot muss vorwiegend Leistung aus benachbarten Netzen bezogen werden, ein gutes Angebot an Solarstrahlung und/oder Wind wird von Stromexporten begleitet.

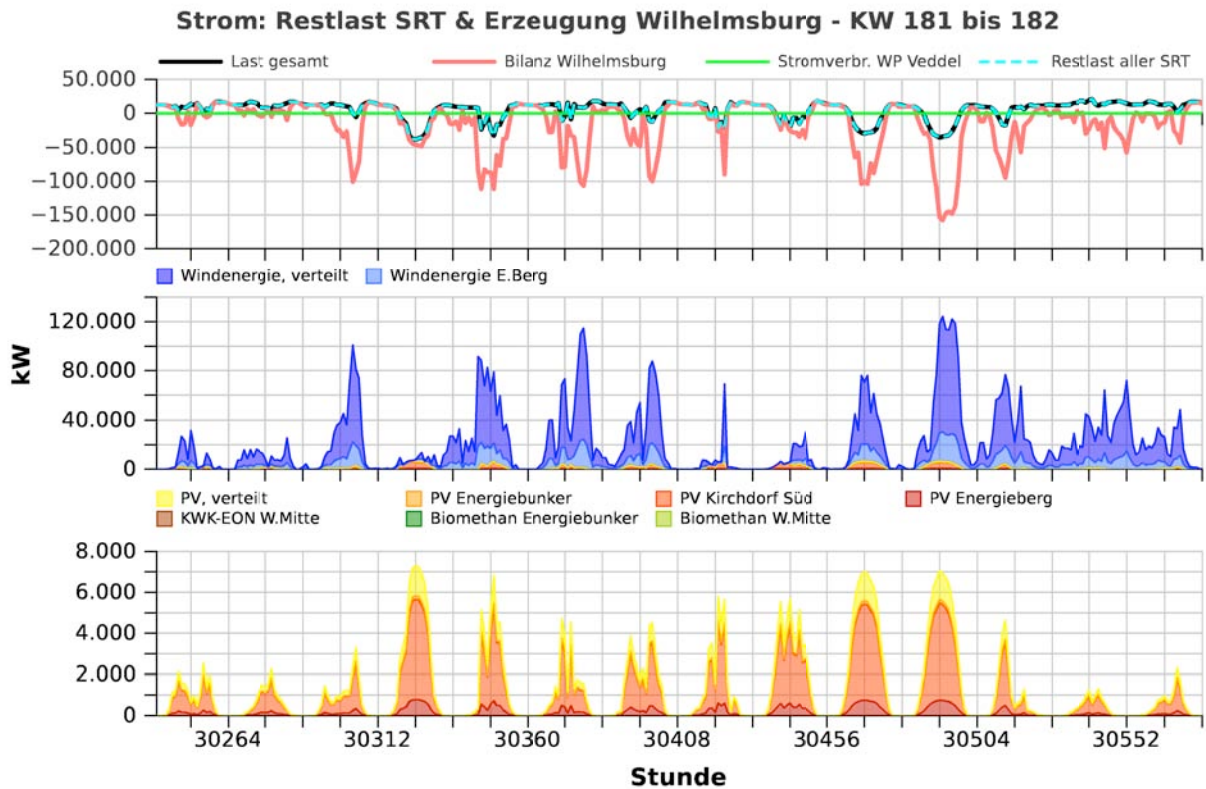


Abbildung 12: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 4, Wochen 25 und 26.

## 9. Ergebnisse - Simulation mit dezentralen elektrischen Speichern

In diesem Kapitel werden die zentralen Ergebnisse der Simulation mit dezentralen elektrischen Speichern dargestellt. Die Darstellung der Ergebnisse erfolgt in Bezug auf die Ergebnisse der Simulationen ohne dezentrale elektrische Speicher, so dass hier im Wesentlichen auf die Unterschiede, die aus dem Einsatz dezentraler elektrischer Speicher resultieren, eingegangen wird. Die Darstellung umfasst die Ergebnisse für den Gesamtzeitraum von vier Jahren.

Da in der statischen Bilanzierung keine Unterschiede zwischen den Simulationen mit und ohne elektrische Speicher auftreten, sei an dieser Stelle auf die entsprechende Darstellung in Kapitel 8 verwiesen.

Unter Einbeziehung der Einzelbilanzen für jede Stunde der Simulation, also unter Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens von Verbrauch und Erzeugung, ergeben sich durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher erkennbar Verbesserungen in Bezug auf den vor Ort zur Lastdeckung verwendbaren Solarstrom. Deutlicher erkennbar sind die Verbesserungen hinsichtlich der verbleibenden Stromüberschüsse, da die Verwendung elektrischer Speicher in vielen der Stadtraumtypen das Auftreten von zu exportierenden Erzeugungsüberschüssen vermeiden. Auch bei den Stadtraumtypen mit intensiver Photovoltaiknutzung ist eine sehr starke Reduktion der nicht lokal nutzbaren Überschüsse zu verzeichnen (Tabelle 1).

Insgesamt tragen die elektrischen Speicher in der Bilanz über alle Stadtraumtypen hinweg zu einem Rückgang der Restlast von vormals rd. 440.000 MWh auf einen Wert von etwa 395.600 MWh bei. Dies entspricht einem Rückgang um etwa 10%, was auch bedeutet, dass die übrige Stromerzeugung in Wilhelmsburg insgesamt um etwa 44.600 MWh, oder gut 11.000 MWh pro Jahr entlastet wird.

Gleichzeitig kommt es auch zu einer verringerten Auslastung des Stromnetzes: musste ohne elektrische Speicher Strom in einem Umfang von ca. 69.800 MWh (durchschnittlich etwas weniger als 17.500 MWh pro Jahr) aus den Stadtraumtypen exportiert werden, reduziert der Einsatz der elektrischen Speicher diese Strommenge auf insgesamt ca. 6.400 MWh, oder durchschnittlich 1.600 MWh pro Jahr.

Die Diskrepanz zwischen Reduktion der Erzeugungsüberschüsse und der Verringerung der Restlast (ca. 19.000 MWh) beziffert die bei der Speicherung auftretenden Verluste.

An dieser Stelle kann noch keine quantitative Aussage über die Auswirkungen auf an Wilhelmsburg angrenzende Netzbereiche getroffen werden, da Ausgleichseffekte unter den Stadtraumtypen in der hier dargestellten Bilanzierung nicht berücksichtigt werden.

SRT	Restlast nach	Überschüsse	Restlast nach	Überschüsse
	Wärmepumpen	nach	Speicher	nach Speicher
in MWh				
Vorindustriell/Altstadt < 1840	181,8	-3,9	179,1	0,0
Baublöcke Gründerzeit < 1938	9.781,0	-860,9	9.178,6	0,0
Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	2.390,0	-281,7	2.192,9	0,0
Villen der Gründerzeit < 1938	246,8	-334,7	135,8	-175,8
Wiederaufbau 1950er	5.819,3	-3.515,6	4.007,9	-923,3
Dörflich-kleinteilig	3.702,1	-54,7	3.663,8	0,0
Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	11.798,6	-1.038,7	11.071,9	0,0
WS Soz. Wohnungsbau 1950er	2.216,6	-2.295,7	1.355,4	-1.062,9
HH WS 70er Platte NBL 1970er	14.655,0	-7.583,0	10.446,8	-1.561,2
Geschosswohnungsbau 1960-80er	10.249,8	-5.716,0	7.183,9	-1.328,6
Geschosswohnungsbau 1990er	435,6	-274,0	296,5	-74,9
Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	314,0	-1.419,6	122,2	-1.144,8
Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	29.508,6	-1.312,5	28.590,2	0,0
Einfamilienhäuser > 1950	24.217,4	-1.670,6	23.048,5	0,0
Einfamilienhäuser Niedrigenergie	898,0	-328,7	702,1	-48,3
Einfamilienhäuser Passivhausstandard	6.990,4	-1.967,7	5.683,9	-99,1
Gewerbe	219.671,5	-33.735,3	196.073,7	0,0
Gewerbe Passivhausstandard	4.478,8	-10,3	4.471,5	0,0
Industrie	192,1	0,0	192,1	0,0
Zweckbauten u. öff. Einrichtungen	65.922,0	-6.972,8	61.044,0	0,0
Zweckbauten u. öff. Einrichtungen Passivhausstandard	3.886,2	-375,1	3.603,8	0,0
Gewerbe in Mischgebieten	14.420,5	-65,8	14.374,4	0,0
Schumacherbauten 1920-30er	7.961,6	-3,0	7.959,6	0,0
<b>Summe</b>	<b>439.938</b>	<b>-69.820</b>	<b>395.579</b>	<b>-6.419</b>

Tabelle 1: Verbleibende Defizite (Restlast) und Überschüsse in der Stromversorgung der Stadtraumtypen an den Bilanzstellen nach nach Wärmepumpenverwendung, unter Berücksichtigung dezentraler elektrischer Speicher.

Beachtet man in der Bilanzierung auch die aktuelle Versorgungslage, d.h. Erzeugungsüberschuss, ausgeglichen Bilanz oder Erzeugungsdefizit (dynamische Bilanz), steht einem insgesamt nicht gedeckten Strombedarf von etwa 394.000 MWh ein Gesamtüberschuss von ca. 4.850 MWh gegenüber (in Tabelle 2 als „negativer Bedarf“ mit einem vorangestellten Minus gekennzeichnet). Hierbei müsste der nicht gedeckte Bedarf aus dem vorgelagerten Netz der allgemeinen Stromversorgung bezogen und die Überschüsse dorthin exportiert werden.

Diese Werte weichen von den in Tabelle 1 angegebenen Bilanzsummen über alle Stadtraumtypen ab (395.579 MWh Restlast und 6.419 MWh Überschüsse, jeweils nach elektrischen Speichern). Dies liegt daran, dass die Summenbildung aus den Gesamtbilanzen der Stadtraumtypen keine Ausgleichseffekte im Verbund der Stadtraumtypen erfassen kann. Die korrekten Werte ergeben sich erst aus der Summierung der einzelnen Stundenwerte, da dann auch zeitgleich auftretende Erzeugungsüberschüsse und -defizite miteinander bilanziert werden. Die Unterschiede zwischen den Werten stellen den Vorteil dar, der aus dem Netzverbund der Stadtraumtypen resultiert.

Konkret beziffern lässt sich dieser Vorteil wie folgt: die verbleibenden Erzeugungsüberschüsse verringern sich um ca. 1.570 MWh - das heißt, diese

Strommenge weniger muss in zu Wilhelmsburg benachbarte Netzbereiche exportiert werden. Zugleich findet eine Verringerung der Restlast um eben diesen Betrag statt.

In der Betrachtung der einzelnen Jahre für den Gesamtverbund der Stadtraumtypen variieren sowohl der ungedeckte Bedarf, als auch die Überschüsse in einem Bereich von etwa 9,5% beim ungedeckten Bedarf und etwa 45% bei den Erzeugungsüberschüssen (Tabelle 2). Die Schwankungsbreite, sowohl bei den Erzeugungsüberschüssen als auch bei den Defiziten, fällt damit bei Einsatz dezentraler elektrischer Speicher höher aus, als dies ohne Speicher der Fall war.

	Energiemengen, kWh	Leistungen, kW	Zeiten, Std.
	<b>Restbilanz über alle SRT</b>		<b>Ausgeglichene Bilanz</b>
<b>Gesamtzeit</b>	389.159.658		0
<b>Jahr 1</b>	101.155.835		0
<b>Jahr 2</b>	97.824.130		0
<b>Jahr 3</b>	98.968.036		0
<b>Jahr 4</b>	91.211.657		0
	<b>dabei Erzeugungsüberschüsse</b>	<b>maximaler Überschuss</b>	<b>Erzeugungsüberschüsse</b>
<b>Gesamtzeit</b>	-4.849.552	-8.372	2.404
<b>Jahr 1</b>	-1.270.564	-7.375	578
<b>Jahr 2</b>	-846.911	-7.739	486
<b>Jahr 3</b>	-1.203.670	-7.348	576
<b>Jahr 4</b>	-1.528.407	-8.372	764
	<b>dabei ungedeckte Last</b>	<b>maximales Defizit</b>	<b>Erzeugungsdefizite</b>
<b>Gesamtzeit</b>	394.009.210	30.626	32.635
<b>Jahr 1</b>	102.426.399	30.131	8.182
<b>Jahr 2</b>	98.671.041	29.805	8.274
<b>Jahr 3</b>	100.171.707	30.585	8.184
<b>Jahr 4</b>	92.740.063	30.626	7.995

Tabelle 2: Strombilanzierung: resultierende Bilanz über alle Stadtraumtypen (SRT), unter Berücksichtigung der PV-Erzeugung innerhalb der SRT.

Während sich die maximalen Leistungsdefizite gegenüber dem Versorgungssystem ohne elektrische Speicher unverändert zeigen, kommt es auf Seiten der Erzeugungsüberschüsse zu einem sehr stark ausgeprägten Rückgang. Das System ohne Speicher wies Erzeugungsüberschüsse in einem Bereich von ca. 33 bis 50 MW elektrische Leistung auf, durch den Einsatz der elektrischen Speicher verringert sich die Leistung der Erzeugungsüberschüsse auf einen Bereich von ca. 7,3 bis 8,4 MW. Da diese überschüssige Leistung in an Wilhelmsburg angrenzende Netzbereiche exportiert werden muss, führt der Einsatz elektrischer Speicher hier zu einer deutlichen Reduktion der Netzbelastung. Darüber hinaus verbleibt die zu exportierende Leistung stets deutlich unterhalb der maximalen Restlast der Stadtraumtypen. Ohne elektrische Speicher erreichte der notwendige Leistungsexport Werte, die etwa beim 1,6fachen der maximalen Restlast lagen. Zwar findet nach wie vor eine Umkehr der Lastflussrichtung im Verteilernetz statt (aus Sicht der umgebenden Netzbereiche erscheint Wilhelmsburg als Stromerzeuger), doch kann das hier auftretende Ausmaß als für das Netz unkritisch angesehen werden.

Die Betrachtung der Anzahl der Stunden zu denen entweder eine defizitäre Versorgungssituation vorliegt, der Strombedarf gerade gedeckt wird oder aber die Erzeugungsleistung den aktuellen Bedarf übersteigt, zeigt ein Bild, welches deutlich von der Simulation ohne elektrische Speicher abweicht. Während die Stunden mit Leistungsüberschüssen deutlich zurückgehen (von insgesamt 4.899 Stunden auf

2.404 Stunden), kommt es trotz der Speicher zu einem Anstieg der Anzahl der Stunden mit Versorgungsdefiziten (von insgesamt 30.140 Stunden ohne Speicher auf insgesamt 32.635 Stunden mit Speichern). Eine ausgeglichene Bilanz kommt auch bei Einsatz elektrischer Speicher für die Summe aller Stadtraumtypen nicht vor.

Bis hierhin lassen sich folgende maßgebliche Unterschiede zwischen den Versorgungssystemen mit und ohne dezentrale elektrische Speicher feststellen:

- der Grad der Selbstversorgung steigt, über alle Stadtraumtypen hinweg bilanziert, durch den Einsatz elektrischer Speicher von 23,9 % auf 30,8% an,
- der notwendige Stromexport aus Wilhelmsburg heraus verringert sich in der Menge um ca. 92% (von 63.259 MWh auf 4.850 MWh, über vier Jahre),
- die maximal zu exportierende Leistung sinkt um etwa 83,5% (von maximal 50,8 MW auf maximal 8,4 MW) ab,
- die Zeiten mit Erzeugungsüberschuss verringern sich um etwa 51% (von insgesamt 4.899 Stunden auf insgesamt 2.404 Stunden),
- die Zeiträume mit Versorgungsdefiziten steigen um rd. 8% (von insgesamt 30.140 Stunden ohne, auf insgesamt 32.635 Stunden mit Speichern).

Der Grund für den Anstieg der Anzahl an Stunden mit defizitärer Versorgungssituation ist, dass innerhalb der Stadtraumtypen potenziell anfallende Erzeugungsüberschüsse möglichst gespeichert werden, um später für die Versorgung des jeweiligen Stadtraum-typs verwendet zu werden. Es besteht keine „intelligente“ Verknüpfung der elektrischen Speicher über die unterschiedlichen Stadtraumtypen hinweg, so dass jeder Stadtraumtyp ausschließlich für seine eigene Versorgung Sorge trägt. So entfallende (eingespeicherte) Erzeugungsüberschüsse stehen nun nicht mehr für den Ausgleich von Versorgungsdefiziten in anderen Stadtraumtypen zu Verfügung; in der Summe steigt dadurch der Zeitanteil mit defizitärer Versorgung, auch wenn parallel dazu die insgesamt fehlende Energiemenge abnimmt.

Die außerhalb der Stadtraumtypen, über das Gebiet von Wilhelmsburg verteilt, stattfindende Erzeugung ist in beiden Simulation (mit - und ohne dezentrale elektrische Speicher) identisch. Dies liegt darin begründet, dass diese Versorgung sich aus fluktuierender Erzeugung - einerseits - und Stromerzeugung in wärmegeführten Anlagen - andererseits - zusammensetzt.

In der Energiebilanz für das gesamte Gebiet von Wilhelmsburg treten demnach die Unterschiede zu Tage, die sich aus dem Einsatz der elektrischen Speicher innerhalb der Stadtraumtypen ergeben.

Die statische Bilanzierung von Stromerzeugung und Stromverbrauch für Wilhelmsburg insgesamt zeigt durchweg Erzeugungsüberschüsse, über den gesamten Zeitraum betrachtet übersteigt die lokal erzeugte Strommenge den gesamten Strombedarf um etwa 593.528 MWh (612.590 MWh ohne Speicher); d.h. in der Summe wird Wilhelmsburg zum Stromexporteur. Betrachtet man die einzelnen Jahre, stechen vor allem das zweite und dritte Jahr der Simulation hervor: die überdurchschnittliche Erzeugung der Windenergie führt in diesen Jahren zu besonders hohen Erzeugungsüberschüssen. Im

ersten und im vierten Jahr liegen die Erzeugungsüberschüsse in etwa auf dem gleichen Niveau, setzen sich jedoch unterschiedlich zusammen. Während im ersten Jahr sowohl Windenergie als auch Photovoltaik mittlere Jahreserträge liefern, trifft im vierten Jahr ein deutlich unterdurchschnittlicher Ertrag der Windenergie auf eine deutlich überdurchschnittliche Erzeugung der Photovoltaik.

	Gesamtzeitraum	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4
	in kWh				
Windenergie Energieberg	187.883.774	44.429.867	51.639.856	50.214.151	41.599.900
Windenergie Wilhelmsburg, verteilt	751.535.095	177.719.468	206.559.423	200.856.603	166.399.599
<b>Windenergie gesamt</b>	<b>939.418.869</b>	<b>222.149.335</b>	<b>258.199.279</b>	<b>251.070.754</b>	<b>207.999.499</b>
Photovoltaik Energieberg	3.201.674	760.598	756.373	800.942	883.760
Photovoltaik Energiebunker	774.031	183.881	182.859	193.634	213.656
PV Kirchdorf Süd	19.991.109	4.749.140	4.722.759	5.001.048	5.518.162
PV Wilhelmsburg, sonstige, verteilt	5.941.040	1.411.369	1.403.529	1.486.232	1.639.910
<b>PV Wilhelmsburg, gesamt</b>	<b>29.907.854</b>	<b>7.104.988</b>	<b>7.065.520</b>	<b>7.481.856</b>	<b>8.255.488</b>
Biomethan Wilhelmsburg Mitte	7.532.504	1.883.126	1.883.126	1.883.126	1.883.126
Biomethan Energiebunker	8.539.905	2.143.113	2.131.534	2.131.394	2.133.863
KWK-E.ON Wilhelmsburg Mitte	10.461.392	2.615.348	2.615.348	2.615.348	2.615.348
<b>Fluktuierende EE gesamt</b>	<b>969.326.723</b>	<b>229.254.323</b>	<b>265.264.799</b>	<b>258.552.610</b>	<b>216.254.987</b>
<b>Regelbare EE gesamt</b>	<b>26.533.801</b>	<b>6.641.587</b>	<b>6.630.008</b>	<b>6.629.868</b>	<b>6.632.337</b>
<b>Strombilanz</b>	<b>-593.527.856</b>	<b>-131.446.655</b>	<b>-170.777.259</b>	<b>-162.921.024</b>	<b>-128.382.917</b>

Tabelle 3: Über Wilhelmsburg verteilte erneuerbare Erzeugung und resultierende statische Gesamtstrombilanz für Wilhelmsburg

Obwohl Wilhelmsburg insgesamt als Stromexporteur erscheint, zeigt ein Blick auf die die Dynamik des Systems (Tabelle 4), dass während etwa 44% der Zeit trotzdem Stromimporte zur Deckung der Last notwendig sind. Insgesamt erreicht oder übersteigt die Stromerzeugung in Wilhelmsburg binnen 19.670 Stunden den jeweils zeitgleich vorliegenden Strombedarf. Die während dieser Zeit anfallenden Überschüsse sind sowohl in der Menge, als auch in der Leistung beträchtlich: insgesamt müssen etwa 746.931 MWh Strom mit einer maximalen Leistung von fast 132 MW in das Stromnetz außerhalb Wilhelmsburgs exportiert werden.

Demgegenüber stehen insgesamt 15.369 Stunden, in denen Strom von außerhalb importiert werden muss. Die dabei zu importierende Energiemenge beträgt insgesamt ca. 153.403 MWh, die maximale Leistung des Stromimports liegt dabei, mit gut 25 MW, deutlich unter der maximal für den Export benötigten Leistung.

Stellt man diese Werte dem Reststrombedarf gegenüber, 389.160 MWh Reststrombedarf aus den Stadtraumtypen plus 13.173 MWh Strombedarf für die Wärmepumpen in der Veddel, muss insgesamt eine Strommenge exportiert werden, die gut das 1,8fache des zu deckenden Stromverbrauchs beträgt. Auch in Bezug auf die Leistung liegen die Werte für den Export (max. 132 kW) deutlich über den Werten der maximal zur Versorgung zu beziehenden Leistung (ca. 31 kW ohne, bzw. 25 kW mit eigener Erzeugung in Wilhelmsburg). Insgesamt muss für die hier simulierte Versorgungsvariante eine deutlich asymmetrische Netzbelastung festgestellt werden, auch wenn diese durch den Einsatz der dezentralen elektrischen Speicher in den Stadtraumtypen deutlich verringert wird (Verringerung um ca. 27 MW).

	<b>Energiemengen, kWh</b>	<b>Leistungen, kW</b>	<b>Zeiten, Std.</b>
	<b>Gesamtbilanz über Wilhelmsburg</b>		<b>Ausgeglichene Bilanz</b>
<b>Gesamtzeit</b>	-593.527.856 (-612.590.218)		0 (0)
<b>Jahr 1</b>	-131.446.655 (-135.708.112)		0 (0)
<b>Jahr 2</b>	-170.777.259 (-175.146.588)		0 (0)
<b>Jahr 3</b>	-162.921.024 (-167.558.783)		0 (0)
<b>Jahr 4</b>	-128.382.917 (-134.176.735)		0 (0)
	<b>dabei Erzeugungüberschüsse</b>	<b>maximaler Überschuss</b>	<b>Erzeugungüberschüsse</b>
<b>Gesamtzeit</b>	-746.931.068 (-790.620.844)	-131.678 (-158.438)	19.670 (18.793)
<b>Jahr 1</b>	-171.719.702 (-181.469.609)	-128.590 (-143.924)	4.774 (4.580)
<b>Jahr 2</b>	-206.848.576 (-216.594.315)	-127.204 (-151.387)	5.076 (4.890)
<b>Jahr 3</b>	-200.602.956 (-210.895.292)	-126.680 (-145.008)	5.056 (4.853)
<b>Jahr 4</b>	-167.759.835 (-181.661.627)	-131.678 (-158.438)	4.764 (4.470)
	<b>dabei Versorgungsdefizite</b>	<b>maximales Defizit</b>	<b>Versorgungsdefizite</b>
<b>Gesamtzeit</b>	153.403.212 (178.030.626)	25.274 (25.274)	15.369 (16.246)
<b>Jahr 1</b>	40.273.046 (45.761.498)	24.533 (24.533)	3.986 (4.180)
<b>Jahr 2</b>	36.071.316 (41.447.727)	25.273 (25.274)	3.684 (3.870)
<b>Jahr 3</b>	37.681.932 (43.336.509)	24.295 (24.295)	3.704 (3.907)
<b>Jahr 4</b>	39.376.917 (47.484.893)	24.513 (24.513)	3.995 (4.289)

\* Werte in Klammern: Simulation ohne dezentrale elektrische Speicher in den Stadtraumtypen.

Tabelle 4: Strombilanzierung: resultierende dynamische Bilanz für Wilhelmsburg insgesamt, unter Berücksichtigung der im Stadtgebiet verteilten EE-Erzeugung.

Schließt man die in Wilhelmsburg außerhalb der Stadtraumtypen stattfindende Stromerzeugung mit in die Betrachtung ein, zeigt sich, gegenüber der Simulation ohne elektrische Speicher, insgesamt eine Verbesserung der Versorgungssituation. Zwar führten die dezentralen elektrischen Speicher, bei alleiniger Betrachtung der Bilanz über die Stadtraumtypen, zunächst zu einem Anstieg des Zeitanteils mit defizitärer Versorgungslage. In der Bilanz für das gesamte Gebiet von Wilhelmsburg kommt es jedoch durch die elektrischen Speicher zu einem Rückgang dieses Zeitanteils. Diese, zunächst widersprüchlich erscheinende Aussage erklärt sich dadurch, dass die Leistungsdefizite bei defizitärer Versorgungslage der Stadtraumtypen im Mittel durch den Einsatz der Speicher geringer ausfallen, als dies ohne Speicher der Fall ist. Dadurch treten insgesamt häufiger Situationen auf, in denen die über Wilhelmsburg verteilt stattfindende Stromerzeugung mindestens zur Deckung des restlichen Strombedarfs ausreicht.



## 10. Die Stadtraumtypen im Detail mit elektrischen Speichern

Die Eingangsdaten für die Simulation sind identisch mit den bereits in Kapitel 7 dargestellten Werten, auch die Daten der Stadtraumtypen sind demgegenüber unverändert. Ebenso verändert sich auf Seiten der Wärmeversorgung nichts im Vergleich zur Simulation ohne dezentrale elektrische Speicher. Dementsprechend wird die Wärmeversorgung in diesem Kapitel nicht erneut dargestellt (siehe auch: Kapitel 7).

### 10.1 Stadtraumtyp I (SRT I): Vorindustriell/Altstadt < 1840

#### 10.1.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können 21% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Berücksichtigt man zusätzlich den Stromverbrauch der zur Wärmebereitstellung genutzten Wärmepumpen, so reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Stromverbrauchs auf 12,4%.

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch beträgt ca. 69% des Stromverbrauchs der Haushalte für die allgemeine Elektrizitätsversorgung.

Vorindustriell Altstadt	Stromverbrauch SRT	PV- Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	119.997,0	25.156,1	94.840,9	83.050,5	177.891,4
Anteile in %	100,0%	21,0%	79,0%	69,2%	87,6%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>21,0%</b>		<b>12,4%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 1: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Geht man über die statische Betrachtung der verbrauchten und erzeugten Strommengen hinaus und beachtet auch den dynamischen Verlauf der Stromversorgung, mit verbleibenden Erzeugungsdefiziten und nicht lokal nutzbaren Erzeugungsüberschüssen, reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Strombedarfs auf 17,7% des Bedarf der Haushalte, bzw. auf 10,5%, wenn zusätzlich der Strombedarf der Wärmepumpen berücksichtigt wird. Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV nur geringfügig auf 11,2% angehoben werden. Leistungsexporte sind durch den Einsatz der elektrischen Speicher nicht mehr notwendig, jedoch fielen diese auch ohne Speicher nur in geringem Umfang an. Auch auf Seiten der Versorgungsdefizite kann durch die elektrischen Speicher nur eine leichte Verringerung der Defizite auf dann 88,2% (89,5% ohne Speicher) erreicht werden.

Vorindustriell Altstadt	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
<b>Energiemenge</b>	119.997,0	25.156,1	94.840,9	-1.169,0
<b>Anteile in %</b>	100,0%	21,0%	79,0%	-0,6%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>119.997,0</b>		<b>98.752,0</b>	<b>179.060,3</b>
<b>Anteile in %<sup>4)</sup></b>	<b>100,0%</b>		<b>82,3% (89,5%)</b>	<b>88,2%</b>
<b>Überschüsse</b>			-3.911,2	0,0
<b>Anteile in %<sup>4)</sup></b>			-3,3% (-1,9%)	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>21.245,0</b>	<b>23.987,2</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>17,7% (10,5%)</b>	<b>11,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit.

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 2: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses, das heißt, elektrische Leistung muss aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei 4,9 kW. Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung zu beziehenden Leistung findet nicht in nennenswertem Umfang statt (Tabelle 3). Jedoch steigt die maximale Bezugslast durch den Betrieb der Wärmepumpen gegenüber dem ausschließlichen Bedarf der Haushalte von 11,4 kW auf 17,2 kW an.

Durch die elektrischen Speicher kann die Minimallast auf Null gesenkt werden, das heißt, zeitweise liegt eine ausgeglichene Bilanz zwischen Stromverbrauch und SRT-interner Erzeugung vor. Bei dem hier relativ geringen Anteil der PV verbleiben die zu exportierenden Leistungen jedoch auch ohne Speicher auf einem Niveau, welches keine zusätzliche Belastung für die vorhandenen Netze bedeutet. Der Aufwand für den Einsatz elektrischer Speicher scheint hier angesichts des geringen Nutzens nicht gerechtfertigt.

Vorindustriell Altstadt	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	11,4	11,3	17,2	17,2
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	1,2	-4,9	-4,9	0,0

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 3: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

## 10.1.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

Die folgenden Abbildungen zeigen den Verlauf von Stromverbrauch und Stromerzeugung mittels Photovoltaik für den Stadtraumtyp. Dargestellt sind jeweils die Tagesmittelwerte der Leistung, die hier im Sinne einer äquivalenten Konstantleistung zu verstehen sind. Dies bedeutet, dass z.B. die Tagessumme des Stromverbrauchs durch 24 Stunden geteilt wird. Das Ergebnis ist die konstante Leistung, die innerhalb von 24 Stunden in der Summe die am jeweiligen Tag verbrauchte bzw. erzeugte Strommenge ausmacht. Bei einem Tagesverbrauch von 24 kWh ergibt sich beispielsweise eine äquivalente Konstantleistung von 1 kW über 24 Stunden hinweg, dieser Wert (1 kW) entspricht dem in der Abbildung dargestellten. Die Darstellung erfolgt in dieser Art und Weise, da eine Darstellung aller Stundenwerte für den gesamten Jahresverlauf schlicht nicht lesbar ist.

Im Weiteren wird der Verlauf der Strom- und Wärmeversorgung auch in Form von Stundenwerten dargestellt, diese Darstellungen umfassen jedoch jeweils nur einen Zeitraum von je 2 Wochen, da dies sich als guter Kompromiss zwischen dargestelltem Zeitraum und Lesbarkeit der Abbildung erwiesen hat.

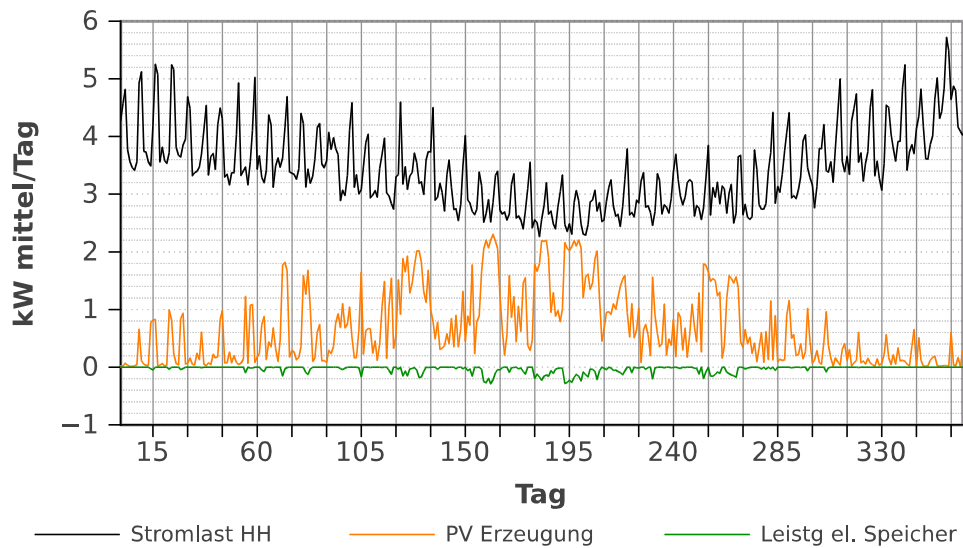
### 10.1.2.1 Strom

In der Abbildung 1 (1. Jahr) ist der jahresgängige Verlauf des Stromverbrauchs, mit höherem Verbrauch in den kalten, dunkleren, und niedrigerem Verbrauch in den wärmeren, hellen Jahreszeiten, gut zu erkennen (schwarze Linie). Die PV Erzeugung (orange Linie) zeigt den typischen, gegenläufigen Charakter. In den Sommermonaten reicht die Tageserzeugung der PV stellenweise fast an die Kurve des Lastverlaufs heran. Wahrnehmbare Beiträge der dezentralen elektrischen Speicher (grüne Linie) sind in dieser Auflösung vorwiegend um die Jahresmitte herum zu erkennen.

Im zweiten Jahr (Abbildung 2) weist der Verlauf der PV Erzeugung deutliche Unterschiede gegenüber den 1. Jahr auf: während die Erzeugung in der Jahresmitte gegenüber dem 1. Jahr abfällt, ist im zweiten Viertel des Jahres eine deutliche höhere Erzeugung zu erkennen. Dies spiegelt sich auch im Beitrag der elektrischen Speicher wieder.

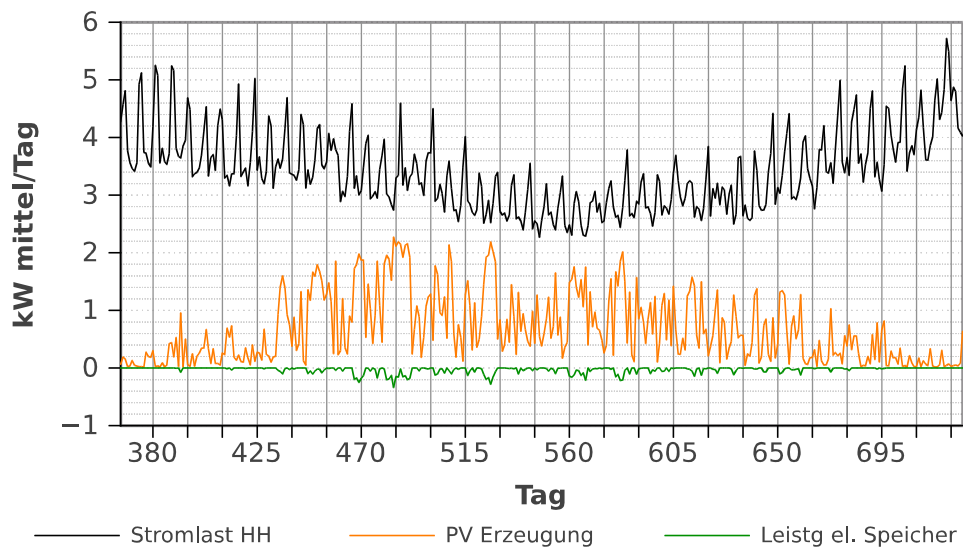
Der Verlauf der PV Erzeugung im dritten Jahr (Abbildung 3) kann als Mischform der Verläufe des ersten und zweiten Jahres angesehen werden, mit hoher Erzeugung insbesondere in der zweiten Hälfte des zweiten Vierteljahres und diskontinuierlicherer Erzeugung um die Jahreshälfte herum, als dies im ersten Jahr der Fall war. Im Bezug auf die elektrischen Speicher erscheint die Phase erkennbarer ,deutlicher Beiträge um die Jahresmitte herum verbreitert.

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 1: SRT 1 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 2: SRT 1, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*

Das vierte Jahr zeigt gerade im zweiten Vierteljahr die höchste und kontinuierlichste PV Erzeugung aller vier simulierten Jahre. Ab der Jahresmitte geht die Erzeugung deutlich zurück. Die Beiträge der elektrischen Speicher fallen deutlicher aus, als dies in den übrigen 3 Jahren der Fall war. Deutlich erkennbare Speicherbeiträge treten hier etwa ab Beginn des 2. Quartals auf und dauern bis deutlich nach der Jahresmitte an.

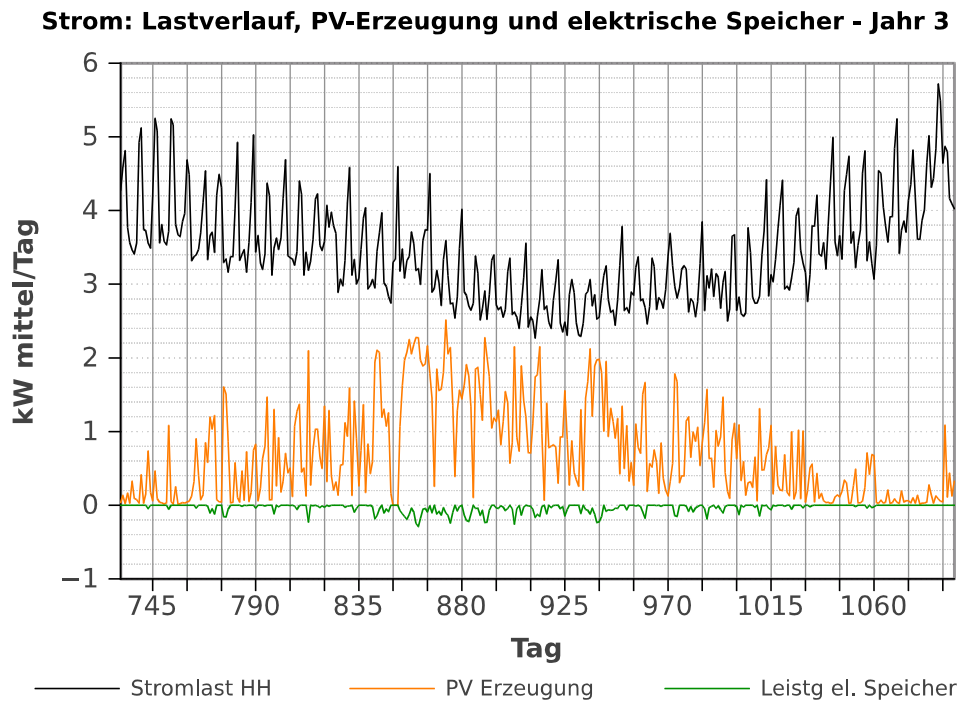


Abbildung 3: SRT 1, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

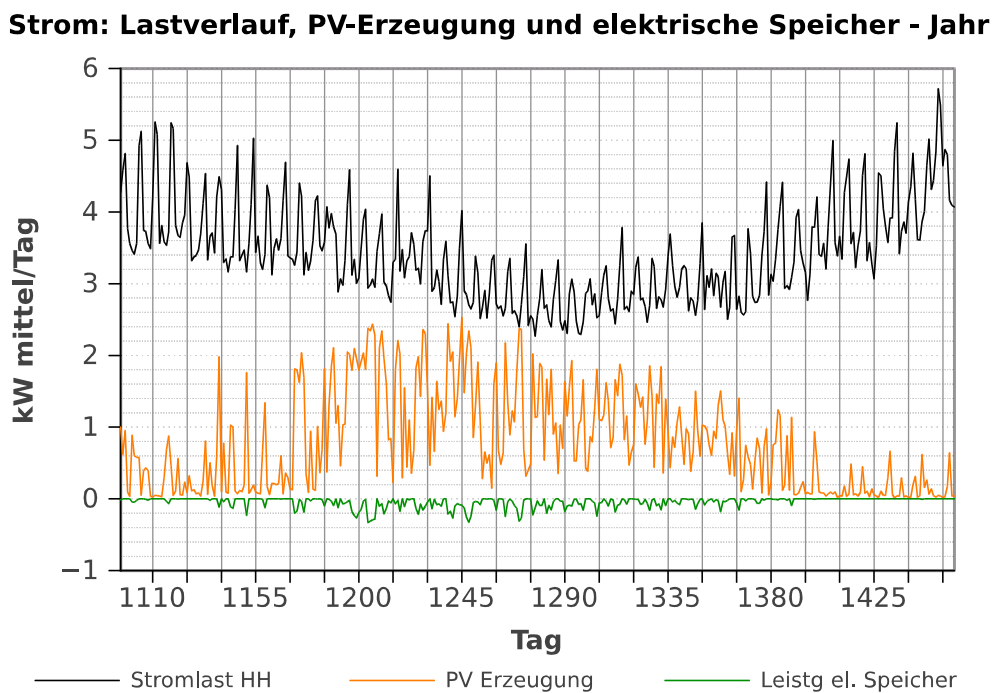


Abbildung 4: SRT 1, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.1.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

Die Abbildung 5 zeigt den Verlauf von Stromlast (schwarze Linie), Wärmepumpenstrombedarf (blaue, gestrichelte Linie), daraus resultierender Gesamtstromlast (lila Fläche) und den Deckungsbeitrag der Stadtraumtyp internen Stromerzeugung (rote Linie) im oberen Diagramm der Darstellung. Die orange Fläche im mittleren Diagramm zeigt den Verlauf der Stromerzeugung der Photovoltaik, die blaue Linie im unteren Diagramm den Verlauf der Restlast an Strom, die sich aus dem stundenweisen Gesamtstrombedarf abzüglich der PV Erzeugung berechnet.

Während der Lastverlauf des Stromverbrauchs der Haushalte (schwarze Linie) den typischen, variablen Tagesgang wiedergibt, werden die Wärmepumpen (gestrichelte blaue Linie) über weite Teile des dargestellten Zeitraums kontinuierlich an ihrem Leistungsmaximum betrieben. Der Deckungsbeitrag der Photovoltaik (rote Linie) übersteigt aber bereits hier punktuell sowohl den Leistungsbedarf der Haushalte als auch den gesamten Leistungsbedarf inklusive des Wärmepumpenstroms; dies zeigt sich auch im Verlauf der Restlast (blaue Linie im unteren Diagramm), die zu diesen Zeiten eine negative Stromlast aufweist. Der zu beobachtende Einbruch der Gesamtstromlast fällt mit den Zeiten guter PV Erzeugung zusammen: zu diesen Zeiten herrschen auch gute Bedingungen für die solarthermische Wärmeerzeugung, so dass in der Folge ein geringerer oder gar kein Beitrag der Wärmepumpen zur Deckung des Wärmebedarf benötigt wird. Dies zeigt sich auch in der Darstellung der Wärmeversorgung (Abbildung 6).

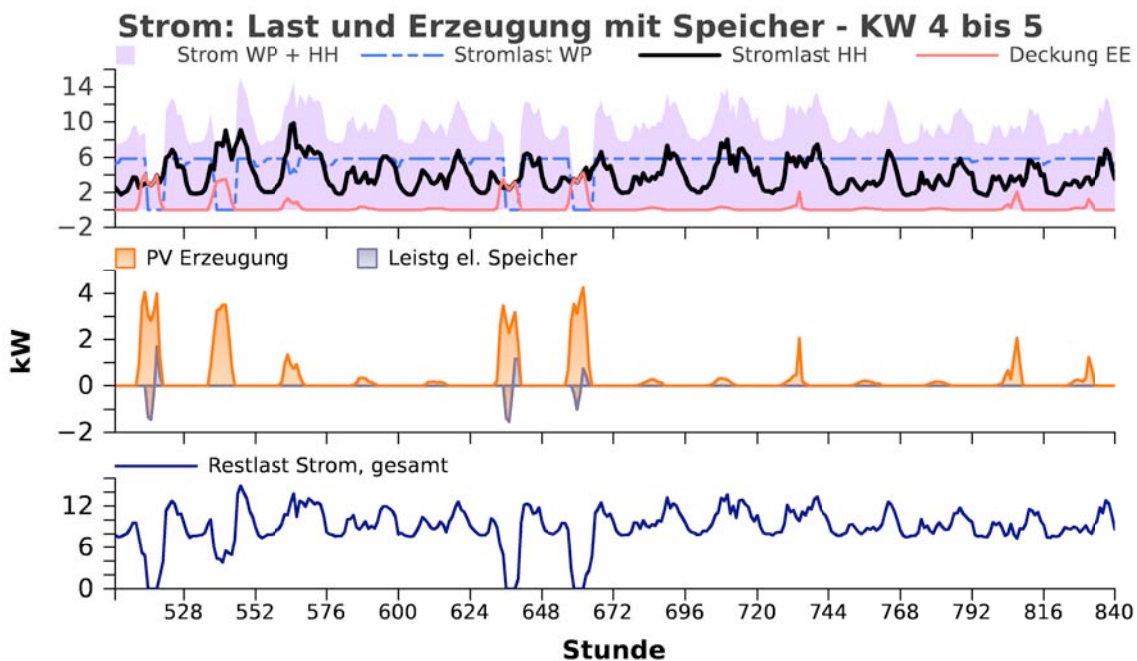


Abbildung 5: SRT 1, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

Zur Jahresmitte liegen oftmals gute Bedingungen für die Solarenergie vor. In der Folge reicht der Leistungsbeitrag der Photovoltaik oftmals an die Stromlast der Haushalte

Insel-Stromstudie Hamburg-Wilhelmsburg 10. Die Stadtraumtypen im Detail mit elekt. Speichern heran oder übersteigt diese. Die Gesamtlast ist gleich der Stromlast der Haushalte, da Wärmepumpen nicht zur Wärmedeckung benötigt werden.

Dies spiegelt sich auch in der Darstellung der Wärmeversorgung wider: der komplette Wärmebedarf kann aus dem Betrieb der Solarthermie gedeckt werden.

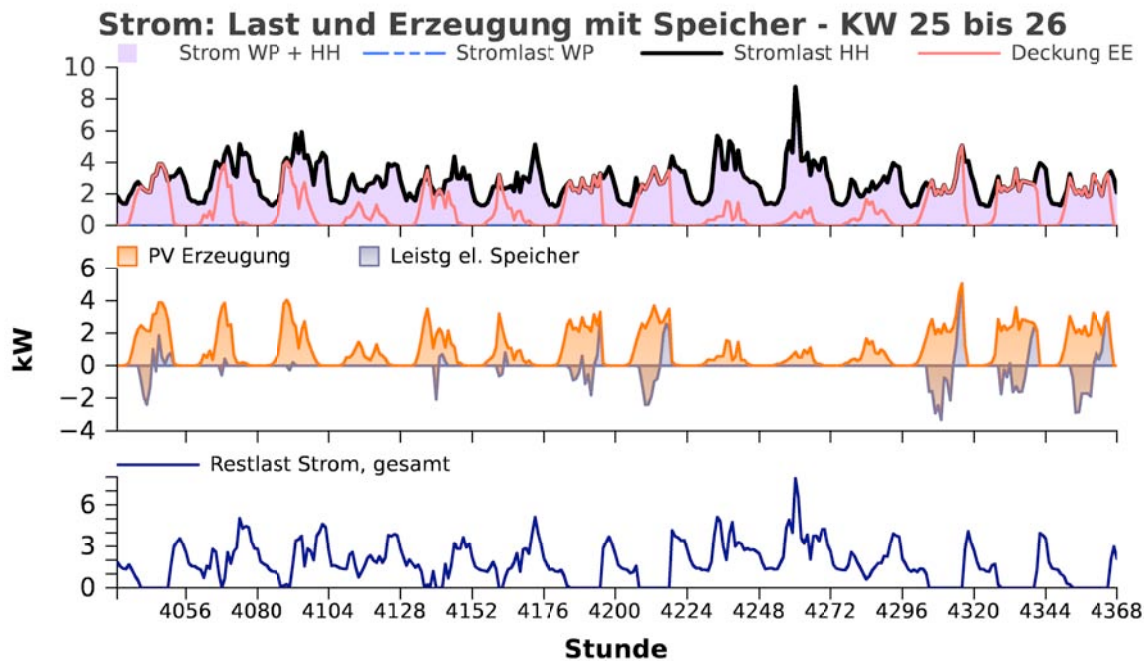


Abbildung 6: SRT 1, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 10.2 Stadtraumtyp Ila (SRT Ila): Baublöcke/Gründerzeit < 1938

### 10.2.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können knapp 28% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Berücksichtigt man zusätzlich den Stromverbrauch der zur Wärmebereitstellung genutzten Wärmepumpen, so reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Stromverbrauchs auf 27,2%.

Baublöcke Gründerzeit < 1938	Stromverbrauch SRT	PV- Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	12.019.698,3	3.337.604,1	8.682.094,1	237.987,2	8.920.081,3
Anteile in %	100,0%	27,8%	72,2%	2,0%	72,8%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>27,8%</b>		<b>27,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 4: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch beträgt 2% des Stromverbrauchs der Haushalte für die allgemeine Elektrizitätsversorgung.

Geht man über die statische Betrachtung der verbrauchten und erzeugten Strommengen hinaus und beachtet auch den dynamischen Verlauf der Stromversorgung mit verbleibenden Erzeugungsdefiziten und nicht lokal nutzbaren Erzeugungsüberschüssen reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Strombedarfs auf 20,6% des Bedarf der Haushalte, bzw. auf 20,2%, wenn zusätzlich der Strombedarf der Wärmepumpen berücksichtigt wird.

Baublöcke Gründerzeit < 1938	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	12.019.698,3	3.337.604,1	8.682.094,1	-258.554,0
Anteile in %	100,0%	27,8%	72,2%	-2,1%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>12.019.698,3</b>		<b>9.544.175,9</b>	<b>9.178.635,3</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	<b>100,0%</b>		<b>79,4% (79,8%)</b>	<b>74,9%</b>
Überschüsse			-862.081,8	0,0
Anteile in % <sup>4)</sup>			-7,2% (-7,0%)	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>2.475.522,4</b>	<b>3.079.050,2</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>20,6% (20,2%)</b>	<b>25,1%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 5: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf gut 25% angehoben werden (Verbesserung um 4,9%) und kommt damit nahe an



Insel-Stromstudie Hamburg-Wilhelmsburg 10. Die Stadtraumtypen im Detail mit elekt. Speichern den Wert der statischen Bilanzierung heran. Stromexporte können durch die Speicher komplett vermieden werden.

Aufgrund der auftretenden Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses, d.h. elektrische Leistung muss aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei 742 kW. Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung zu beziehenden Leistung findet nicht in nennenswertem Umfang statt (Tabelle 6). Jedoch steigt auch die maximale Bezugslast durch den Betrieb der Wärmepumpen gegenüber dem ausschließlichen Bedarf der Haushalte nur geringfügig von 1.142 kW auf 1.143 kW an. Dies liegt daran, dass der größte Teil des Wärmebedarfs des SRT durch Wärmenetze gedeckt wird, so dass nur ein geringer Teil des Gesamtwärmebedarf mit anderen Maßnahmen bereitgestellt werden muss.

Durch die elektrischen Speicher kann die Minimallast auf Null gesenkt werden, zeitweise liegt eine ausgeglichene Bilanz zwischen Stromverbrauch und SRT-interner Erzeugung vor. Auch ohne Speicher verbleiben die zu exportierenden Leistungen jedoch im unkritischen Bereich, so dass hier keine Vorteile aus dem Einsatz der elektrischen Speicher resultieren. Die Sinnhaftigkeit der Verwendung elektrischer Speicher entscheidet sich in diesem Fall demnach anhand des Zugewinns im Deckungsbeitrag sowohl im Hinblick auf die Versorgungssituation vor Ort, als auch im Gesamtkontext der Versorgung von Wilhelmsburg.

Baublöcke Gründerzeit < 1938	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	1.142,0	1.128,2	1.143,3	1.143,3
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	118,0	-742,0	-742,0	0,0

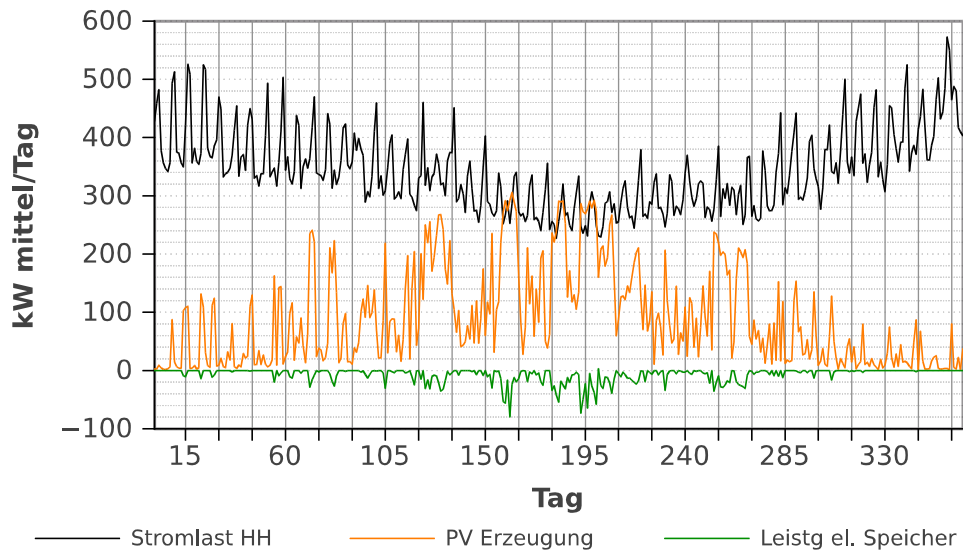
1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 6: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

## 10.2.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

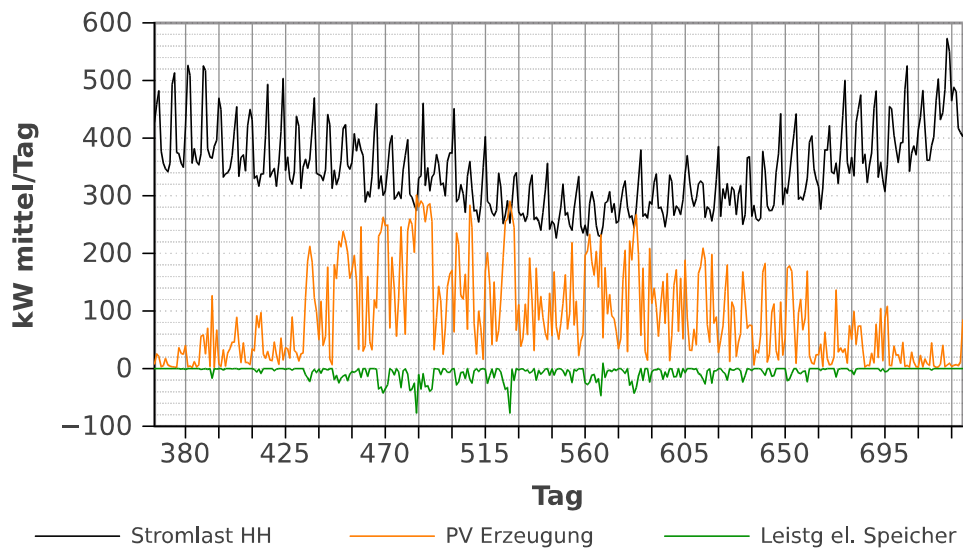
### 10.2.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 7: SRT 2 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 8: SRT 2, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*

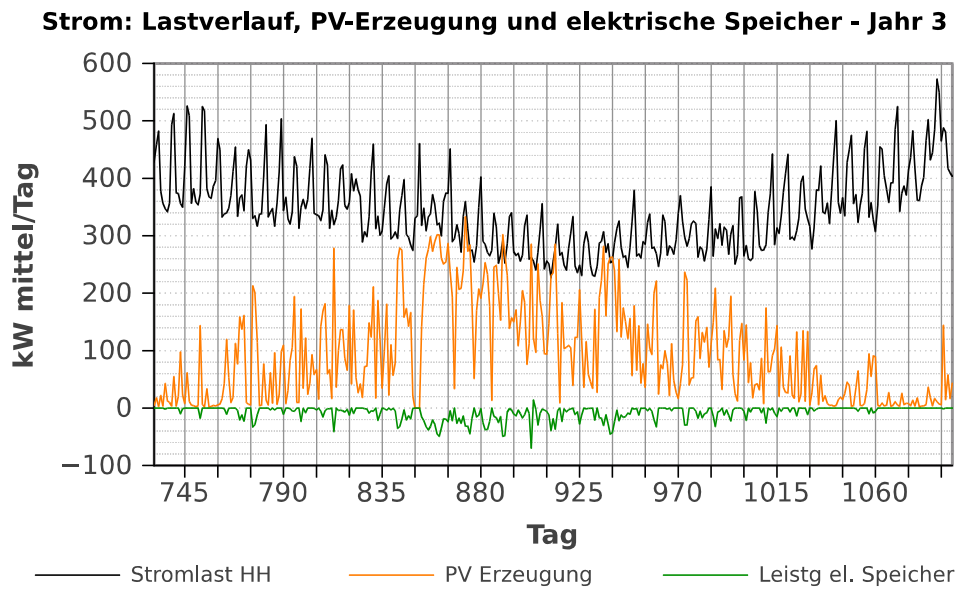


Abbildung 9: SRT 2, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

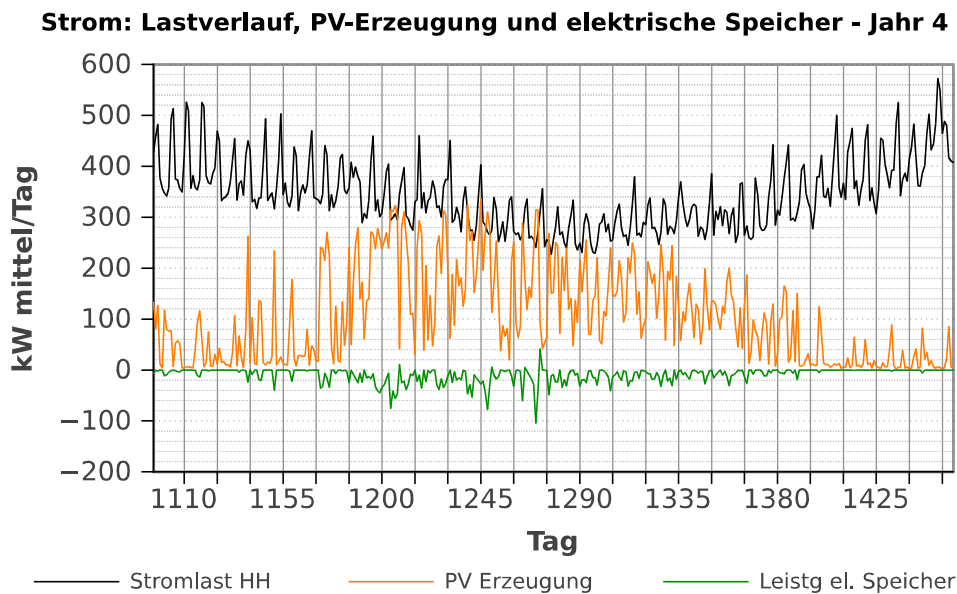


Abbildung 10: SRT 2, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.2.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

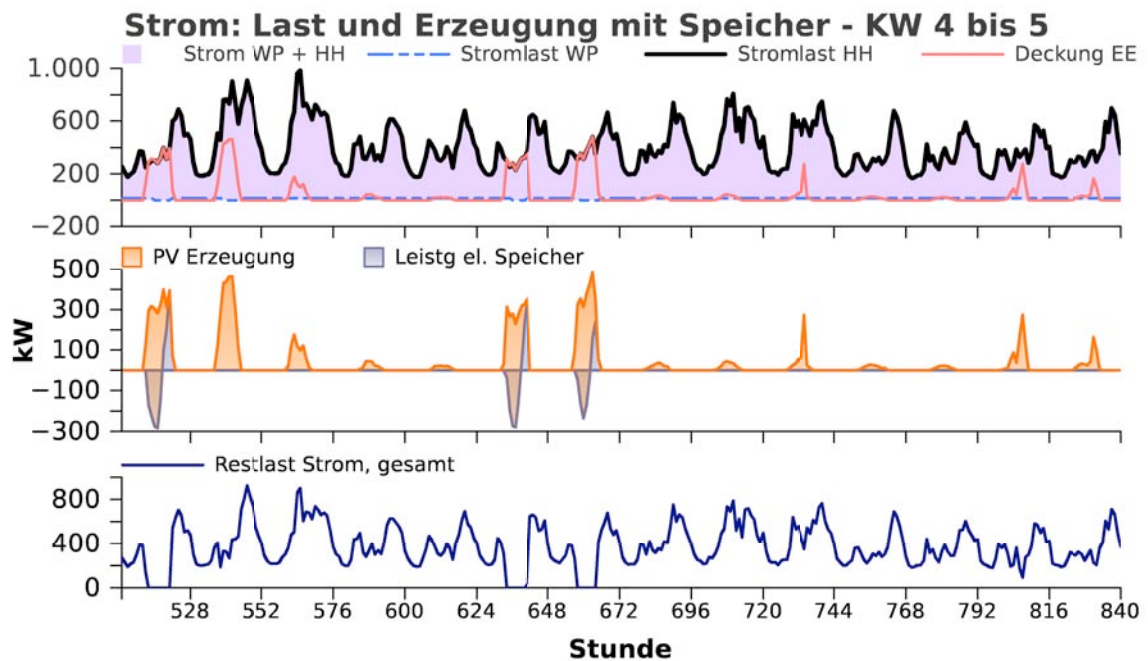


Abbildung 11: SRT 2, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

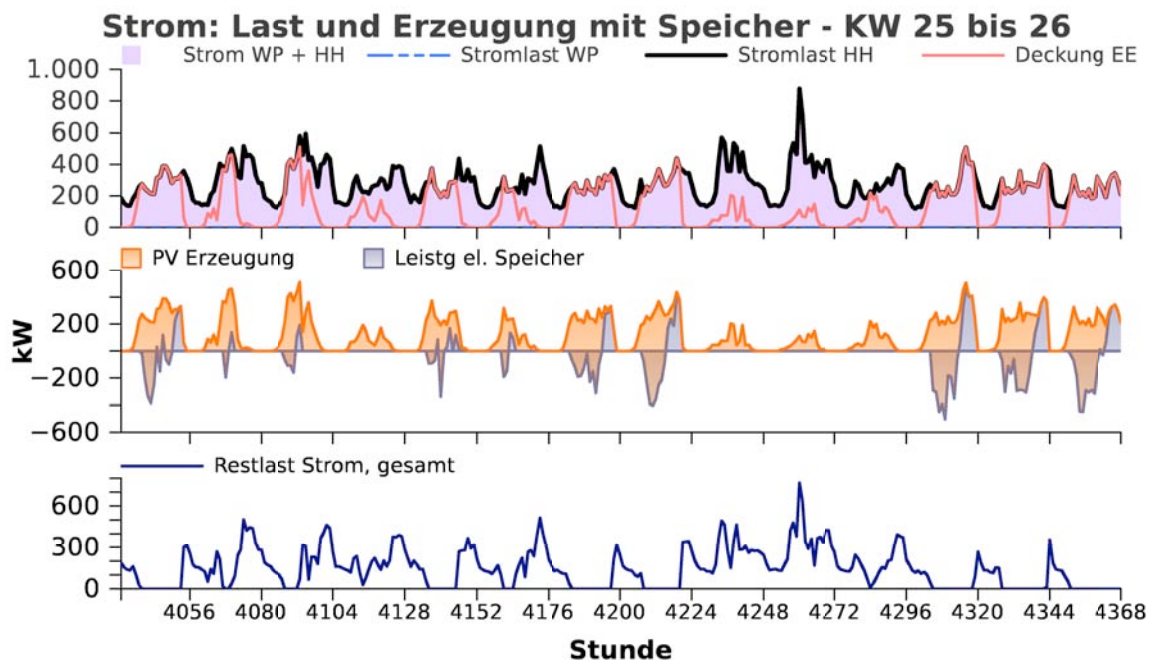


Abbildung 12: SRT 2, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

### 10.3 Stadtraumtyp IIb (SRT IIb): Nachahmerbauten Stil IIa > 1990

#### 10.3.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können 31% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Berücksichtigt man zusätzlich den Stromverbrauch der zur Wärmebereitstellung genutzten Wärmepumpen, so reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Stromverbrauchs lediglich geringfügig auf 30,6%.

Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	2.989.924,9	931.063,8	2.058.861,2	49.432,2	2.108.293,4
Anteile in %	100,0%	31,1%	68,9%	1,7%	69,4%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>31,1%</b>		<b>30,6%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 7: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch beträgt nur 1,7% des Stromverbrauchs der Haushalte für die allgemeine Elektrizitätsversorgung, da der überwiegende Teil des Wärmebedarfs durch Wärmenetze gedeckt wird.

Geht man über die statische Betrachtung der verbrauchten und erzeugten Strommengen hinaus und beachtet auch den dynamischen Verlauf der Stromversorgung, mit verbleibenden Erzeugungsdefiziten und nicht lokal nutzbaren Erzeugungüberschüssen, reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Strombedarfs auf 21,7% des Bedarf der Haushalte, bzw. auf 21,4%, wenn zusätzlich der Strombedarf der Wärmepumpen berücksichtigt wird.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf knapp 28% angehoben werden (plus 6,4%), was nicht allzu deutlich unter dem Wert der statischen Bilanzierung liegt. Vorher notwendige Stromexporte entfallen bei Einsatz der elektrischen Speicher.

Aufgrund der auftretenden Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses, d.h. elektrische Leistung muss aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei 216 kW. Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung zu beziehenden Leistung findet zwar in geringem Umfang statt (von 284 kW auf 280 kW, Tabelle 9), wird jedoch durch den Betrieb der Wärmepumpen fast wieder kompensiert.

Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
<b>Energiemenge</b>	2.989.924,9	931.063,8	2.058.861,2	-84.621,6
<b>Anteile in %</b>	100,0%	31,1%	68,9%	-2,8%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>2.989.924,9</b>		<b>2.340.892,5</b>	<b>2.192.915,0</b>
<b>Anteile in %<sup>4)</sup></b>	<b>100,0%</b>		<b>78,3% (78,6%)</b>	<b>72,2%</b>
<b>Überschüsse</b>			-282.031,3	0,0
<b>Anteile in %<sup>4)</sup></b>			-9,4% (-9,3%)	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>649.032,5</b>	<b>846.442,1</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>21,7% (21,4%)</b>	<b>27,8%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste
- 4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 8: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Durch die elektrischen Speicher kann die Minimallast auf Null gesenkt werden, zeitweise liegt eine ausgeglichene Bilanz zwischen Stromverbrauch und SRT-interner Erzeugung vor. Auch ohne Speicher reicht die maximal in andere Netzbereiche abzugebende Leistung nicht an den maximalen Leistungsbezug heran, so dass auch ohne Speicher keine kritischen Belastungen für das vorhandene Stromnetz zu erwarten sind. Die Sinnhaftigkeit der Verwendung elektrischer Speicher entscheidet sich in diesem Fall demnach anhand des Zugewinns im Deckungsbeitrag sowohl im Hinblick auf die Versorgungssituation vor Ort, als auch im Gesamtkontext der Versorgung von Wilhelmsburg.

Nachahmerbauten Stil IIa > 1990	Stromverbrauch SRT	nach PV- Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	284,1	280,2	283,0	283,0
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	29,3	-215,9	-215,9	0,0

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 9: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

### 10.3.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

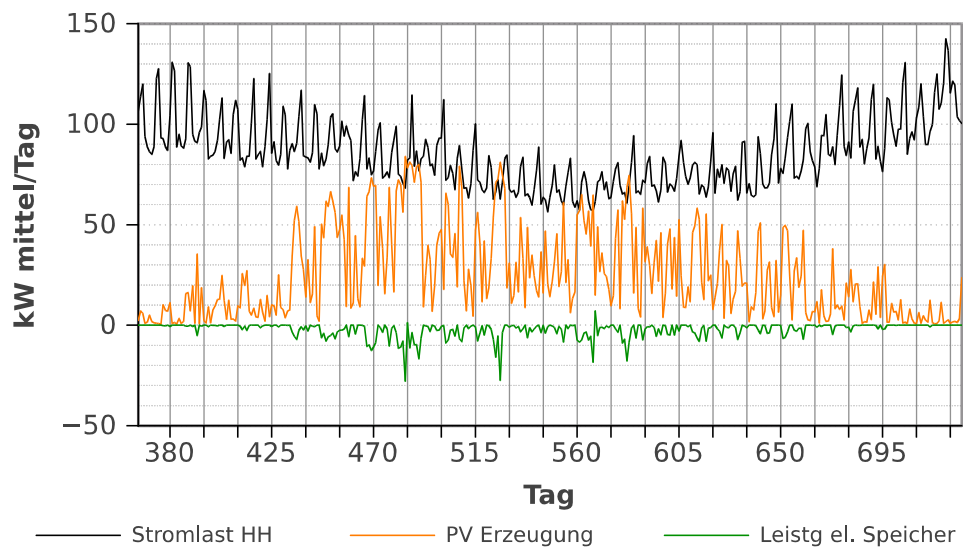
#### 10.3.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 13: SRT I Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 14: SRT I, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*

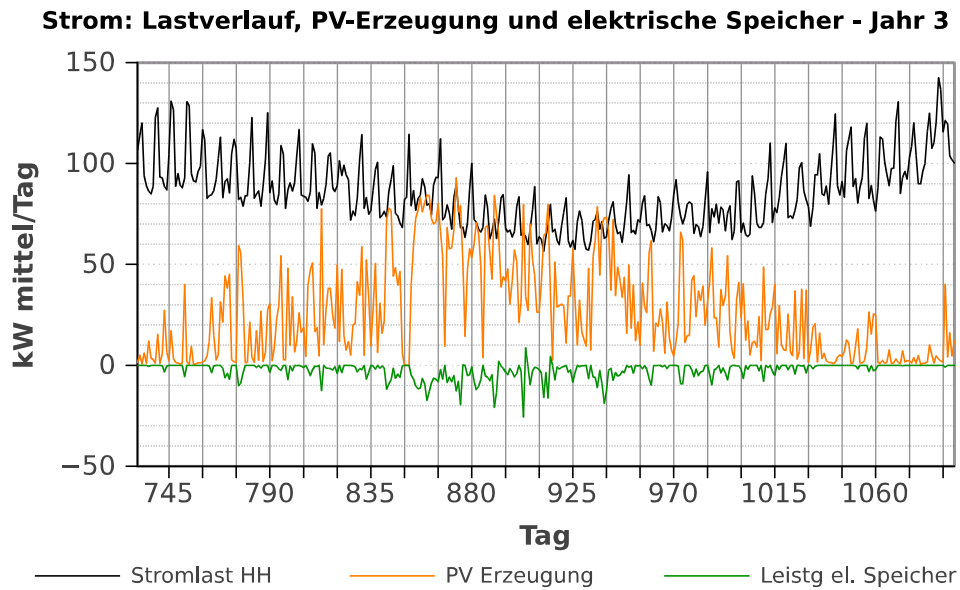


Abbildung 15: SRT 3, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

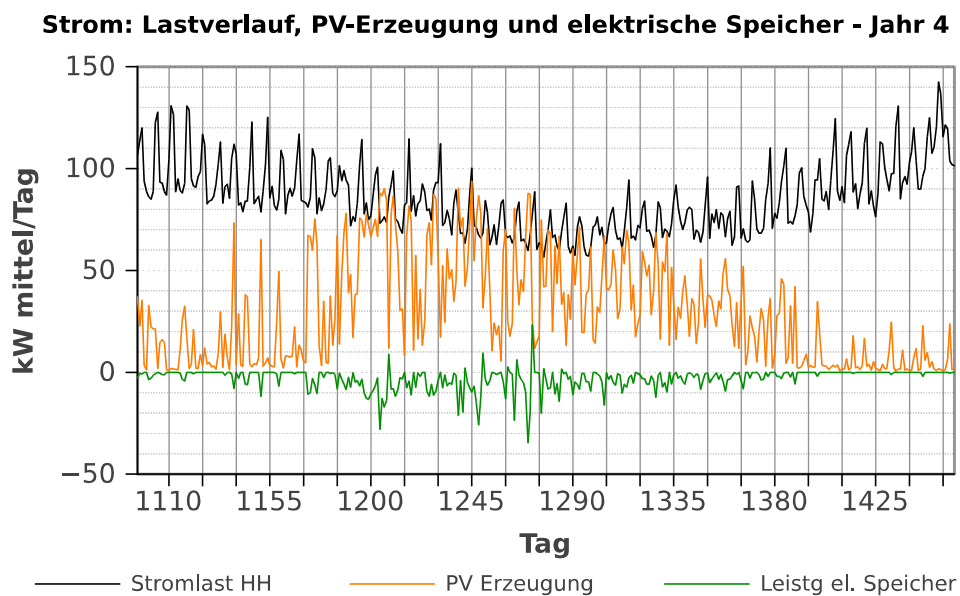


Abbildung 16: SRT 3, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.



10.3.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

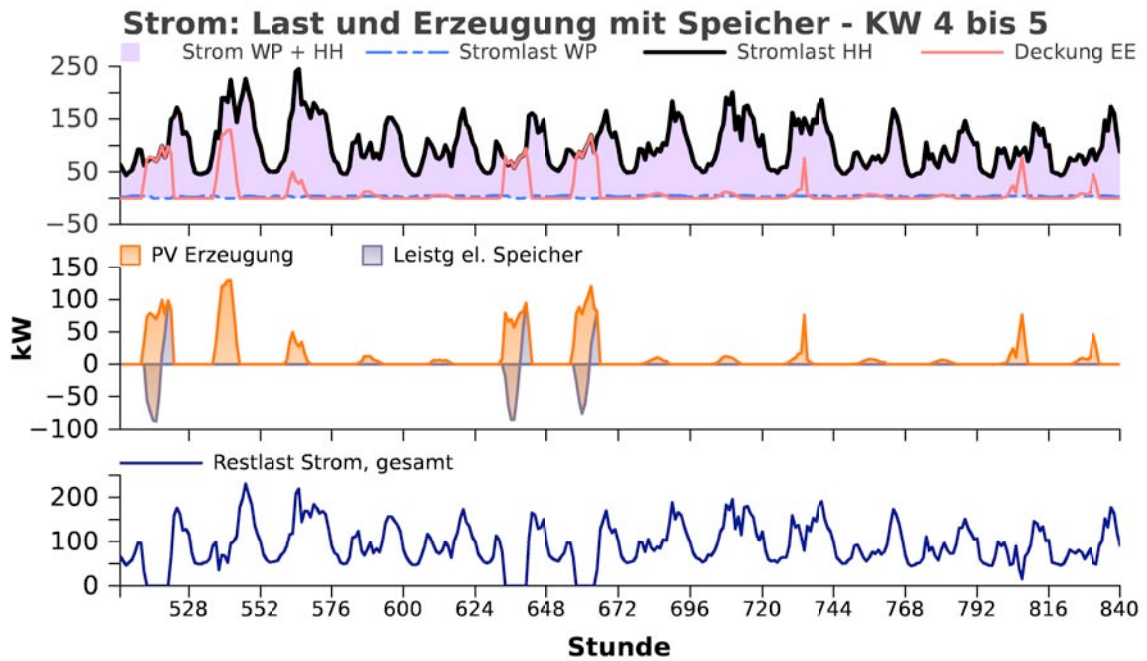


Abbildung 17: SRT 3, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

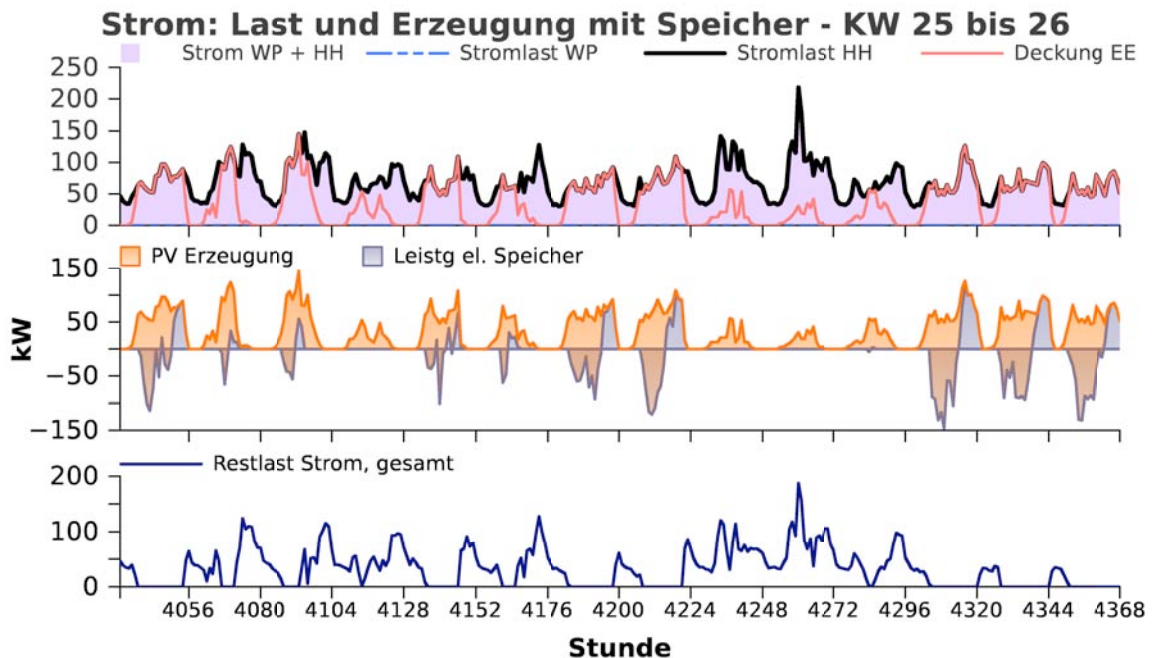


Abbildung 18: SRT 3, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 10.4 Stadtraumtyp IIc (SRT IIc): Villen der Gründerzeit < 1938

### 10.4.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg kann mehr als der komplette Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden (knapp 125%). Auch unter Berücksichtigung des zusätzlichen Stromverbrauchs der zur Wärmebereitstellung genutzten Wärmepumpen verbleibt der Anteil des PV-Stroms fast unverändert bei knapp 124%.

Villen der Gründerzeit < 1938	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	367.990,8	459.149,1	-91.158,3	3.199,0	-87.959,3
Anteile in %	100,0%	124,8%	-24,8%	0,9%	-23,7%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>124,8%</b>		<b>123,7%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 10: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch beträgt weniger als 1% des Stromverbrauchs der Haushalte für die allgemeine Elektrizitätsversorgung, da der überwiegende Teil des Wärmebedarfs durch Wärmenetze gedeckt wird.

Durch den im Vergleich zum Stromverbrauch des Stadtraumtyps enormen Umfang der installierten Photovoltaik fällt der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung hier besonders stark aus. Durch die zeitlichen Unterschiede von benötigter und erzeugter Leistung fällt der innerhalb des SRT direkt nutzbare Anteil der PV-Erzeugung sehr stark ab und erreicht nur noch einen Wert von knapp 34%, gemessen am reinen Haushaltsstrombedarf. Dadurch dass der überwiegende Anteil des Wärmebedarfs durch Wärmenetze bereitgestellt wird, findet eine Wärmepumpennutzung nur in geringem Umfang statt. In der Folge trägt der Strombedarf zum Betrieb der Wärmepumpen nur zu einer geringen weiteren Erhöhung des Stromverbrauchs bei, sodass auch der Anteil der Photovoltaik bezogen auf den Gesamtstromverbrauch nur geringfügig abfällt (33,5%). Als weitere Konsequenz fallen hohe, lokal nicht nutzbare Erzeugungüberschüsse an, die in ihrer Größenordnung beinahe mit dem Gesamtstrombedarf des SRT gleichauf liegen.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf über 63% angehoben werden, was etwas weniger als eine Verdoppelung des Deckungsbeitrages gegenüber der Simulation ohne elektrische Speicher ist. Parallel dazu kann auch eine starke Verringerung der notwendigen Stromexporte in andere Netzbereiche beobachtet werden (von gut 90% des Stromverbrauchs des SRT auf gut 47% mit elektrischen Speichern).

Villen der Gründerzeit < 1938	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	367.990,8	459.149,1	-91.158,3	-47.907,5
Anteile in %	100,0%	124,8%	-24,8%	-12,9%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>367.990,8</b>		<b>243.731,1</b>	<b>135.784,3</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	<b>100,0%</b>		<b>66,2% (66,5%)</b>	<b>36,6%</b>
Überschüsse			-334.889,4	-175.836,1
Anteile in % <sup>4)</sup>			-91,0% (-90,2%)	-47,4%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>124.259,7</b>	<b>235.405,4</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>33,8% (33,5%)</b>	<b>63,4%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste
- 4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 11: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der massiven Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses, d.h. elektrische Leistung muss aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei fast 134kW und somit etwa beim Vierfachen der maximal benötigten Leistung des Stadtraumtyps. Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung benötigten Bezugsleistung findet trotz der hohen PV-Leistung nur in geringem Umfang statt (von 35 kW auf 33,5 kW, bzw. 33,8 kW inklusive Wärmepumpenstrom; Tabelle 12).

Durch die elektrischen Speicher kann die Minimallast nur unwesentlich gesenkt werden, was bedeutet, dass die maximale Exportleistung des SRT leicht absinkt. Die hier gewählte Dimensionierung der elektrischen Speicher reicht nur zur Aufnahme von Teilen der Erzeugungüberschüsse aus. Insgesamt muss die zu exportierende Leistung hier kritisch betrachtet werden, da sie ein Vielfaches des maximalen Leistungsbezugs beträgt und so eine Kontrolle der Leistungsfähigkeit des heute verbauten Verteilernetzes anzuraten ist, um potenzielle Netzüberlastungen durch die PV-Erzeugung zu vermeiden. Die maximale Bezugslast kann durch die elektrischen Speicher nicht weiter verringert werden. Der Grund hierfür ist darin zu suchen, dass - trotz des enormen Installationsumfangs der PV - in Zeiten geringer Einstrahlung keine substanziellen Erzeugungüberschüsse für die Einspeicherung und spätere Lastdeckung aus den (Kurzzeit)Speichern vorliegen.

Villen der Gründerzeit < 1938	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	35,0	33,5	33,8	33,8
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	3,6	-133,7	-133,7	-114,7

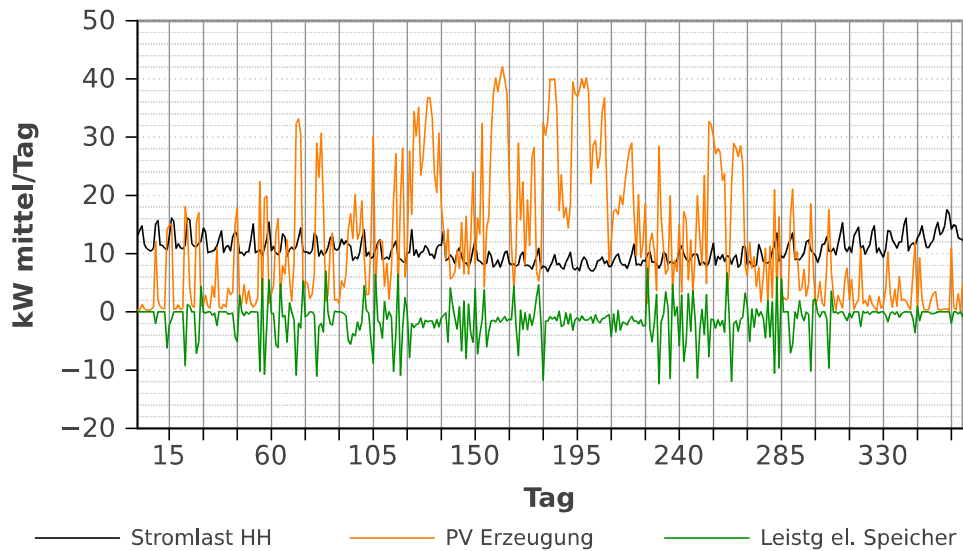
- 1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 12: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

### 10.4.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

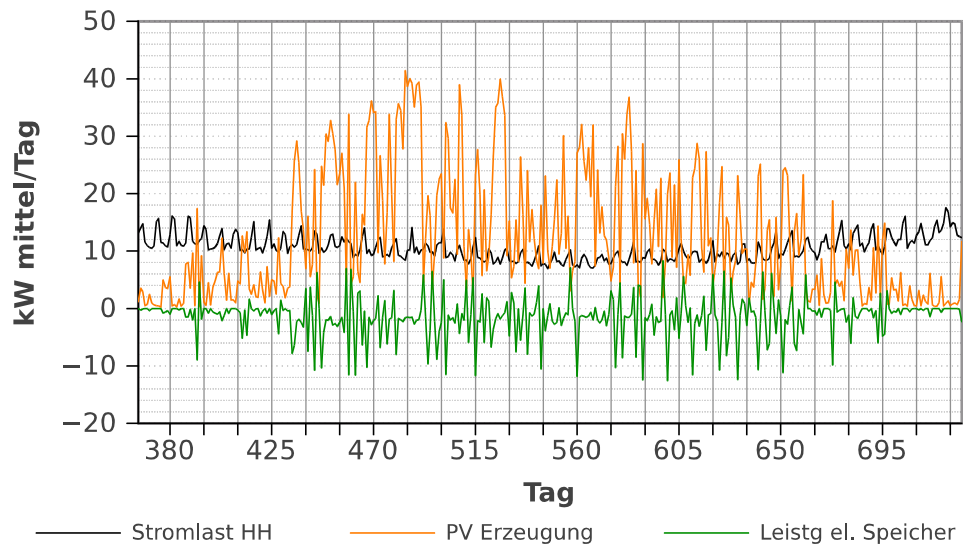
#### 10.4.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



**Abbildung 19: SRT 4 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



**Abbildung 20: SRT 4, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**

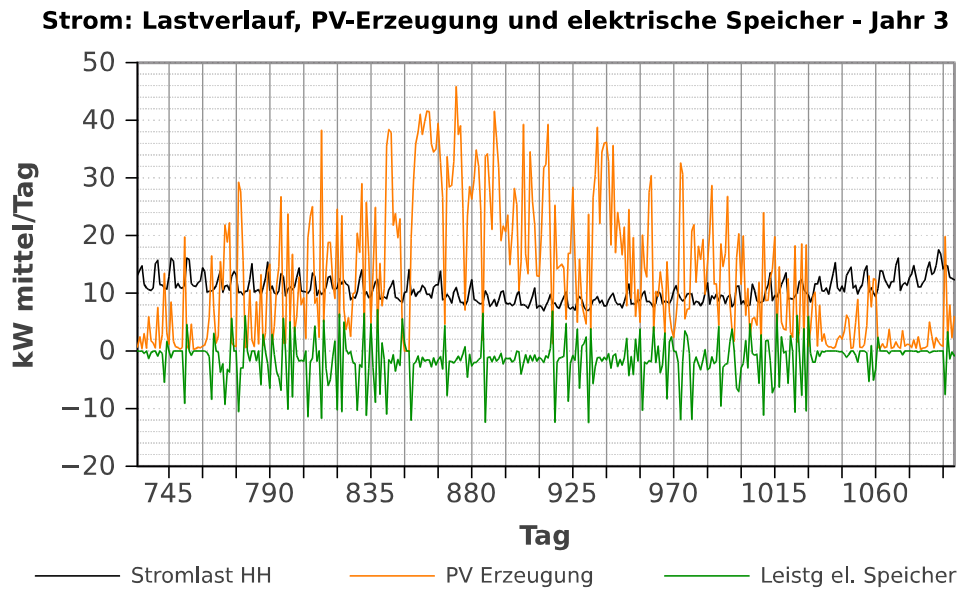


Abbildung 21: SRT 4, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

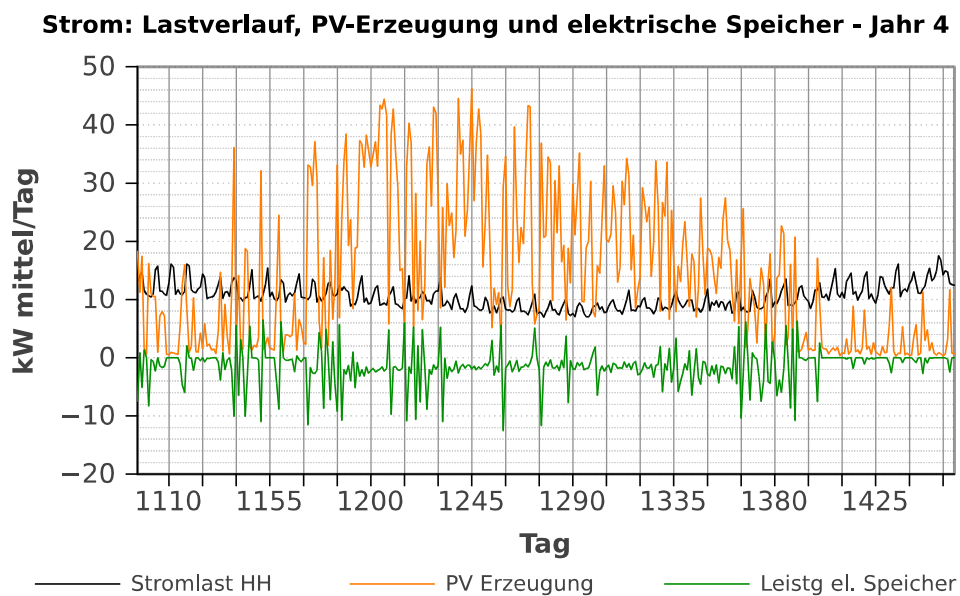


Abbildung 22: SRT 4, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.4.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

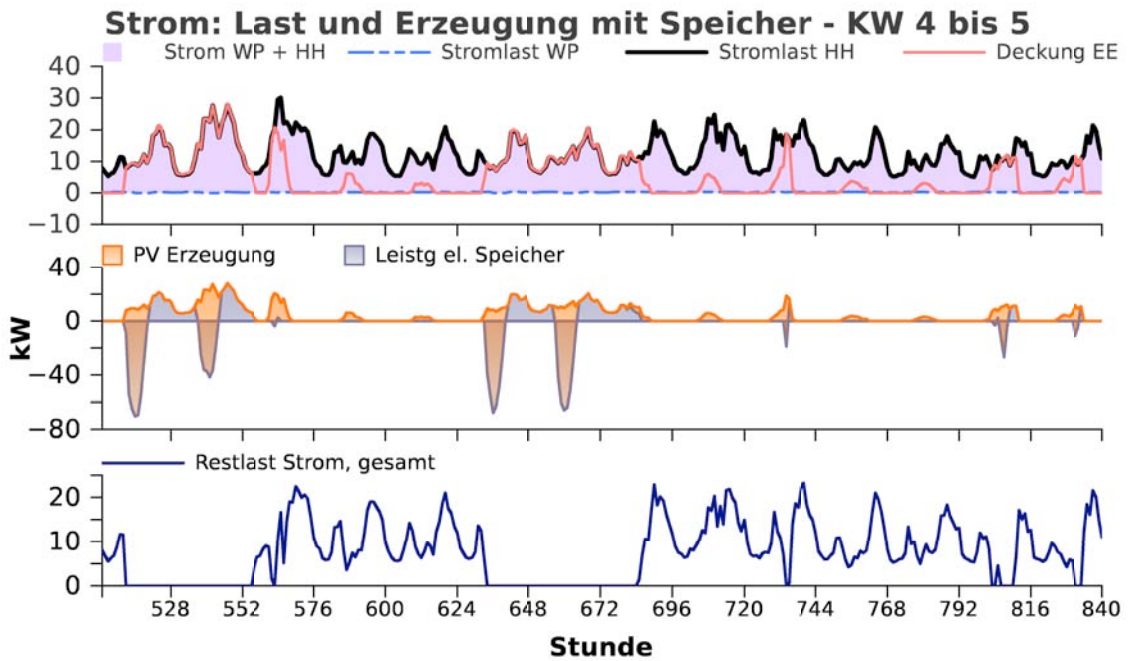


Abbildung 23: SRT 4, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

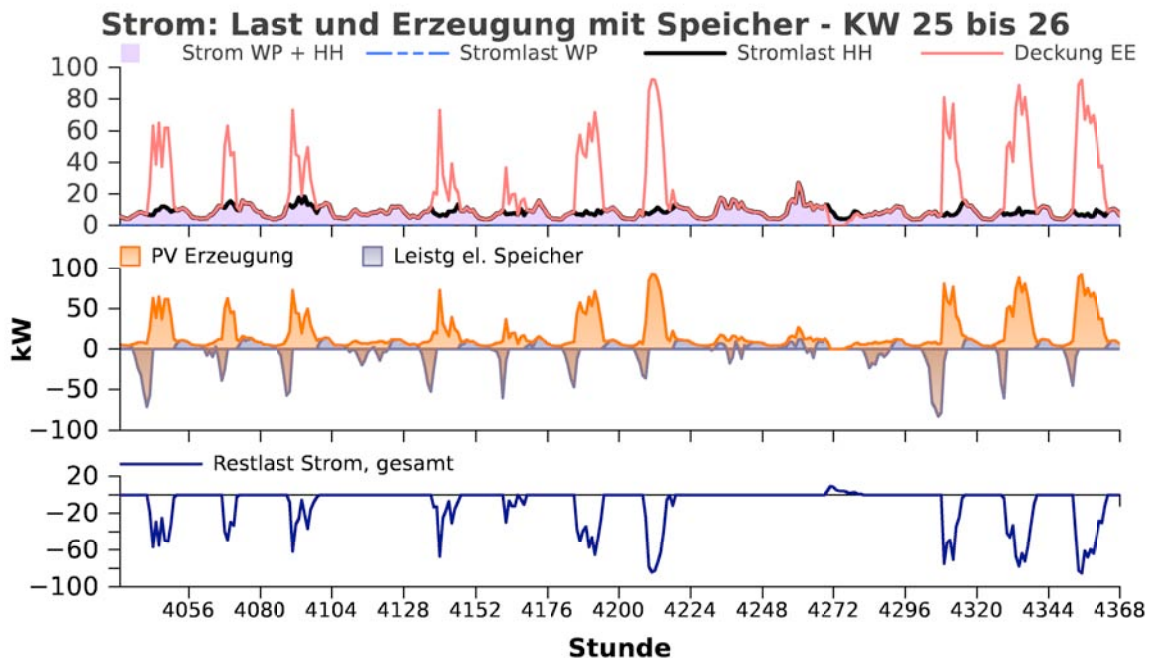


Abbildung 24: SRT 4, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 10.5 Stadtraumtyp III (SRT III): Wiederaufbau 1950er

### 10.5.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können deutlich mehr als zwei Drittel des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden (gut 73%). Die nur geringe Nutzung von Wärmepumpen zur Wärmebereitstellung führt dazu, dass sich der Gesamtstrombedarf nur geringfügig erhöht, womit auch der PV-Anteil bezogen auf den gesamten Stromverbrauch lediglich in geringem Umfang abfällt (knapp 72%).

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch beträgt gut 2% des Stromverbrauchs der Haushalte für die allgemeine Elektrizitätsversorgung.

Wiederaufbau 1950er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	7.996.599,2	5.864.787,0	2.131.812,3	171.865,6	2.303.677,9
Anteile in %	100,0%	73,3%	26,7%	2,1%	22,4%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>73,3%</b>		<b>71,8%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 13: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Auch in diesem Stadtraumtyp fällt der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung deutlich aus, da der Installationsumfang der Photovoltaik, gemessen am Strombedarf des SRT, recht hoch ist. Durch die fehlende Möglichkeit zur Anpassung der erzeugten an die zeitgleich benötigte Leistung fällt der innerhalb des SRT direkt nutzbare Anteil der PV-Erzeugung in der dynamischen Betrachtung auf 29,3% (bezogen auf den Haushaltsstrom), bzw. 28,8%, wenn auch der zusätzliche Stromverbrauch der Wärmepumpen berücksichtigt wird. Auch hier treten hohe, lokal nicht nutzbare Erzeugungüberschüsse an, die in ihrem Umfang nicht allzu deutlich unter der Hälfte des Gesamtstrombedarf des SRT liegen.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV um mehr als 20%, auf fast 51% angehoben werden. Gleichzeitig - und als logische Konsequenz dieses Sachverhalts - kommt es auch zu einer deutlichen Verringerung der notwendigen Stromexporte (von 44% auf 11,5 mit elektrischer Speicherung).

Aufgrund der deutlichen Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung muss elektrische Leistung aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei 1.627 kW und somit bei mehr als dem Doppelten der maximal benötigten Leistung des Stadtraumtyps. Die maximal zur Lastdeckung aus benachbarten Stromnetzen zu beziehende Leistung wird durch die Photovoltaik zunächst um mehr als 20 kW reduziert (von max. ca. 760 auf max. ca. 737 kW), steigt aber durch den Stromverbrauch der Wärmepumpen wieder auf ein Maximum von 750 kW an (Tabelle 15).

Wiederaufbau 1950er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	7.996.599,2	5.864.787,0	2.131.812,3	-780.903,6
Anteile in %	100,0%	73,3%	26,7%	-9,8%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>7.996.599,2</b>		<b>5.651.892,9</b>	<b>4.007.879,4</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	100,0%		<b>70,7% (71,2%)</b>	<b>49,1%</b>
Überschüsse			-3.520.080,7	-923.297,8
Anteile in % <sup>4)</sup>			-44,0% (-44,0%)	-11,5%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>2.344.706,3</b>	<b>4.160.585,5</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>29,3% (28,8%)</b>	<b>50,9%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste
- 4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 14: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Durch die elektrischen Speicher kann die maximal aus dem Stadtraumtyp heraus zu exportierende Leistung um etwa 227 kW, auf dann 1.399,4 kW abgesenkt werden. Dennoch verbleibt die maximal zu exportierende Leistung auch bei Einsatz elektrischer Speicher bei einem Wert, der an das Doppelte der maximalen Bezugsleistung heranreicht. Insgesamt muss daher die zu exportierende Leistung kritisch betrachtet und die aktuell vorhandene Leistungsfähigkeit des Netzes geprüft werden, um Aussagen über eine etwaige Überlastung des Netzes treffen zu können. Die maximale Bezugsleistung kann durch die elektrischen Speicher nicht weiter verringert werden. Der Grund ist darin zu suchen, dass - trotz des enormen Installationsumfangs der PV - in Zeiten geringer Einstrahlung keine substanziellen Erzeugungüberschüsse für die Einspeicherung und spätere Lastdeckung aus den Speichern vorliegen.

Wiederaufbau 1950er	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	759,8	737,2	750,0	750,0
minimale Last <sup>1)</sup>	78,5	-1.627,0	-1.627,0	-1.399,4

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

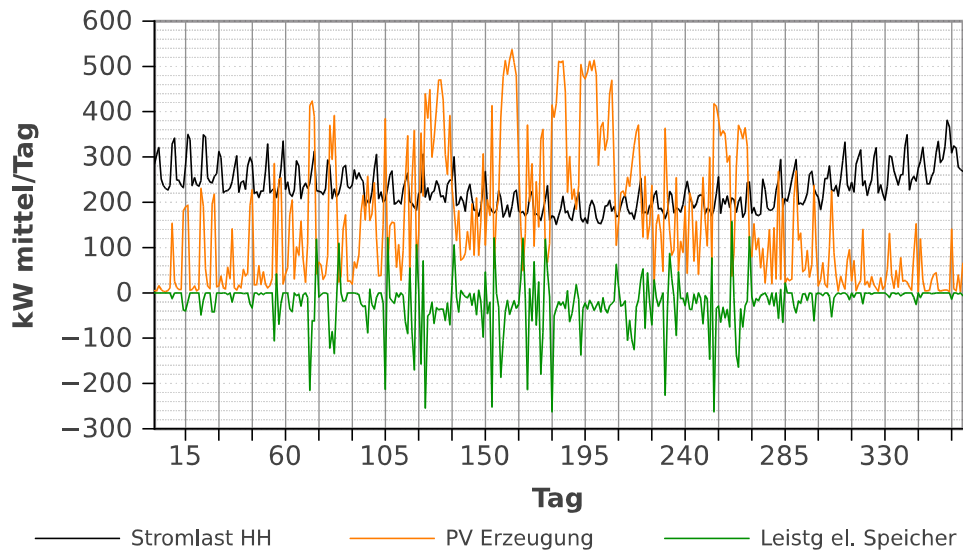
Tabelle 15: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.



## 10.5.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

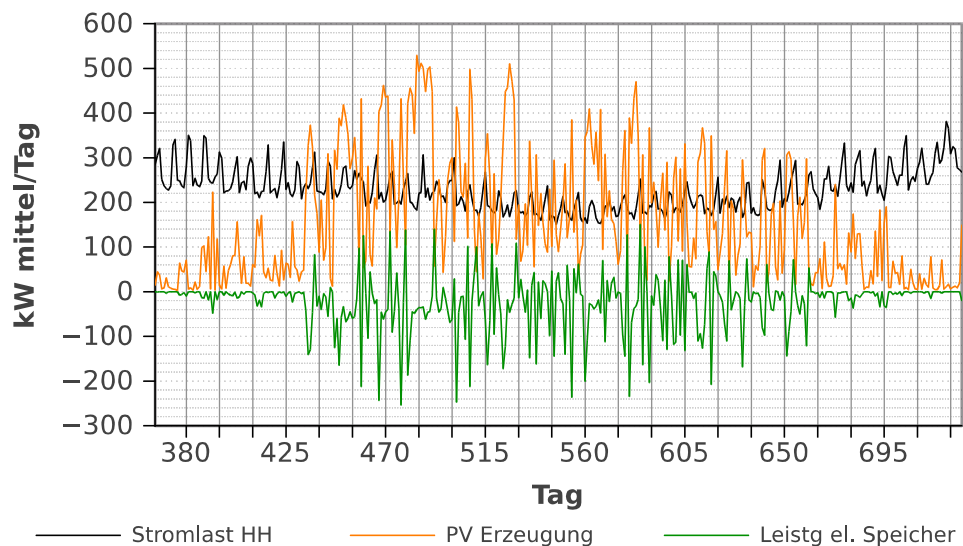
### 10.5.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 25: SRT 5 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 26: SRT 5, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*

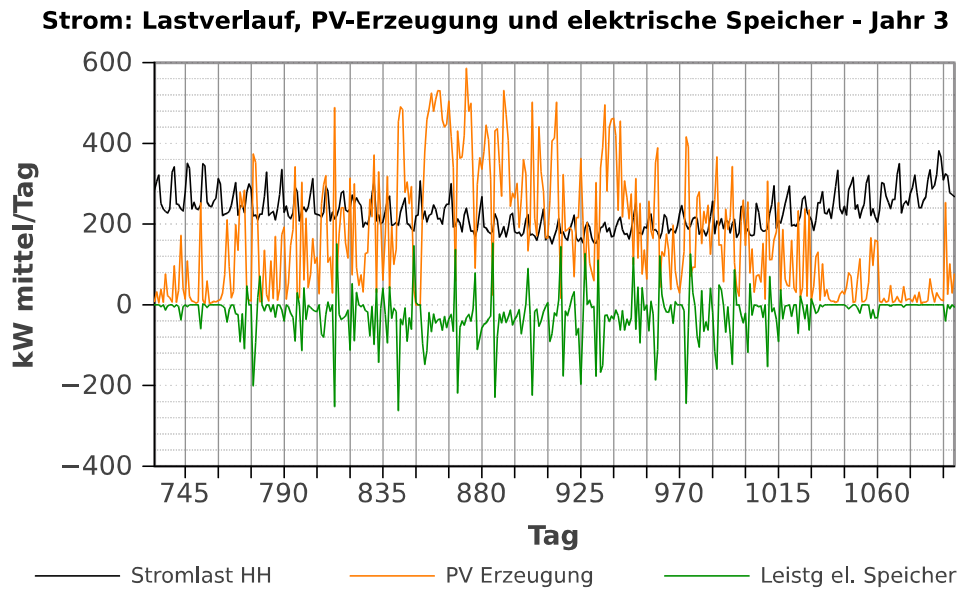


Abbildung 27: SRT 5, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

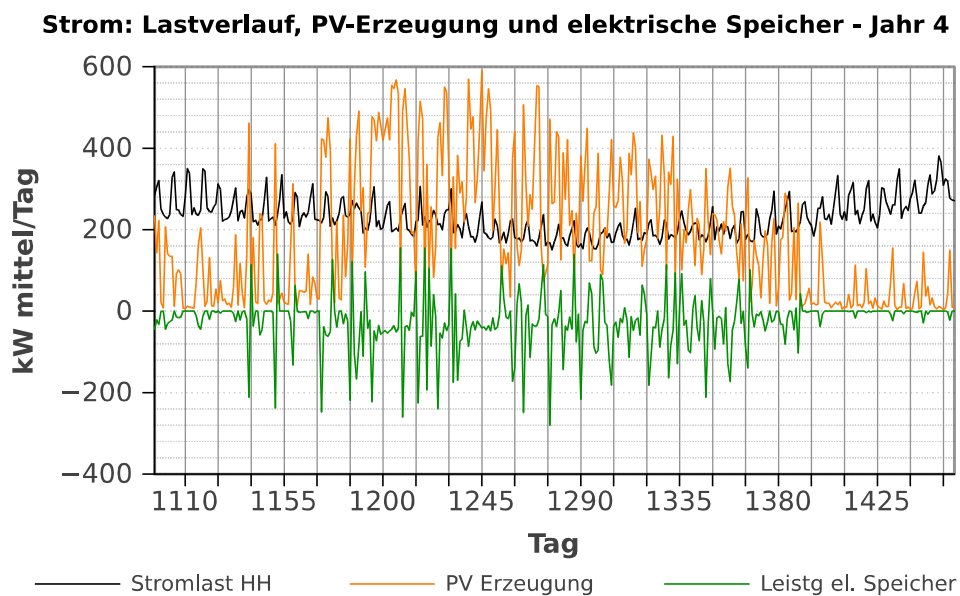


Abbildung 28: SRT 5, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.5.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

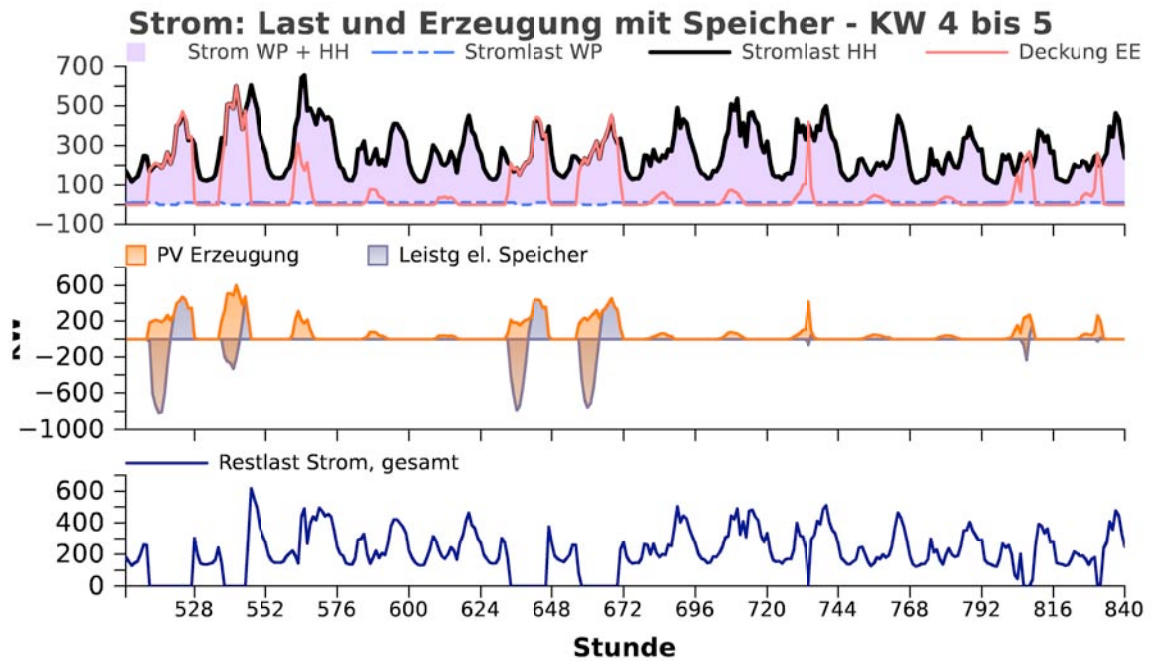


Abbildung 29: SRT 5, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

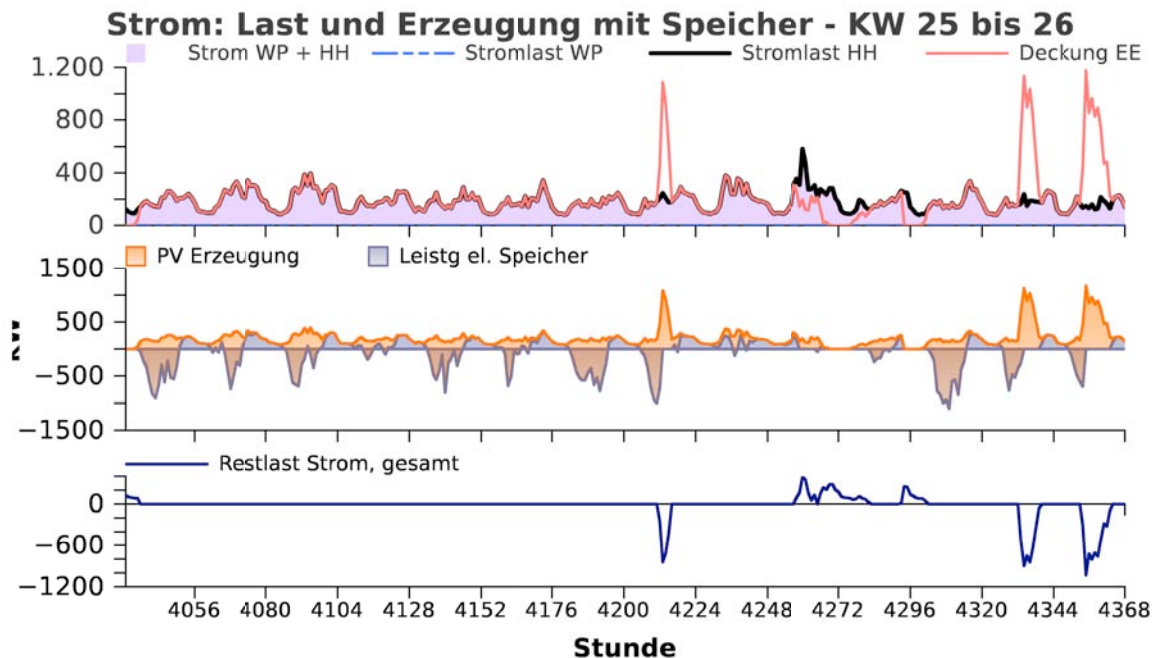


Abbildung 30: SRT 15 Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 10.6 Stadtraumtyp IV (SRT IV): Dörflich-kleinteilig

### 10.6.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 16% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden, wird der zusätzliche Stromverbrauch der Wärmepumpen berücksichtigt, fällt der Anteil der PV auf 14,5% ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt knapp 2% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Dörflich-kleinteilig	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	4.263.493,0	691.792,7	3.571.700,3	75.680,0	3.647.380,2
Anteile in %	100,0%	16,2%	83,8%	1,8%	85,5%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>16,2%</b>		<b>14,5%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 16: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Der nur geringe Installationsumfang der PV wirkt sich dahingehend aus, dass der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung relativ gering ausfällt. In der dynamischen Bilanzierung über alle vier Jahre erreicht die PV einen Deckungsanteil von fast 15% des Haushaltsstroms, der auch unter Berücksichtigung des Wärmepumpenstroms nur leicht absinkt (14,7%). Trotz des relativ geringen Beitrags der PV verbleiben auch hier lokal nicht nutzbare Erzeugungüberschüsse in einem Umfang von 1,3% des Stromverbrauchs.

Dörflich-kleinteilig	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	4.263.493,0	691.792,7	3.571.700,3	-16.430,8
Anteile in %	100,0%	16,2%	83,8%	-0,4%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>4.263.493,0</b>		<b>3.626.472,6</b>	<b>3.663.811,0</b>
<b>Anteile in %<sup>4)</sup></b>	<b>100,0%</b>		<b>85,1% (85,3%)</b>	<b>84,4%</b>
Überschüsse			-54.772,4	0,0
Anteile in % <sup>4)</sup>			-1,3% (-1,3%)	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>637.020,3</b>	<b>675.348,0</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>14,9% (14,7%)</b>	<b>15,6%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers bezieht die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 17: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf 15,6 % angehoben werden. Dies ist zwar nur eine leichte Erhöhung, doch liegt dieser Wert über dem Deckungsanteil der PV, welcher sich in der statischen Bilanzierung nach Verwendung der Wärmepumpen ergab. Die ohnehin nur geringen zu

exportierende Strommengen können durch den Einsatz der elektrischen Speicher vollständig vermieden werden.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 110 kW, was etwas mehr als einem Viertel der maximalen Bezugslast entspricht. Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast; der Einsatz der Wärmepumpen überkompensiert diesen Rückgang, so dass in der Summe eine maximale Bezugsspitzenlast von knapp 407 kW auftritt (Tabelle 18).

Durch die elektrischen Speicher kann die Minimallast auf Null gesenkt werden, zeitweise liegt eine ausgeglichene Bilanz zwischen Stromverbrauch und SRT-interner Erzeugung vor. Dies bedeutet auch, dass Leistungsexporte vermieden werden können. Dennoch wäre auch ohne elektrische Speicher keine Überbelastung des Netzes zu befürchten, da die zu exportierende Leistung deutlich unter der maximalen Bezugsleistung liegt. Die Sinnhaftigkeit der Verwendung elektrischer Speicher entscheidet sich in diesem Fall demnach anhand des Zugewinns im Deckungsbeitrag sowohl im Hinblick auf die Versorgungssituation vor Ort, als auch im Gesamtkontext der Versorgung von Wilhelmsburg.

Dörflich-kleinteilig	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	405,1	402,2	406,9	406,9
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	41,8	-110,2	-110,2	0,0

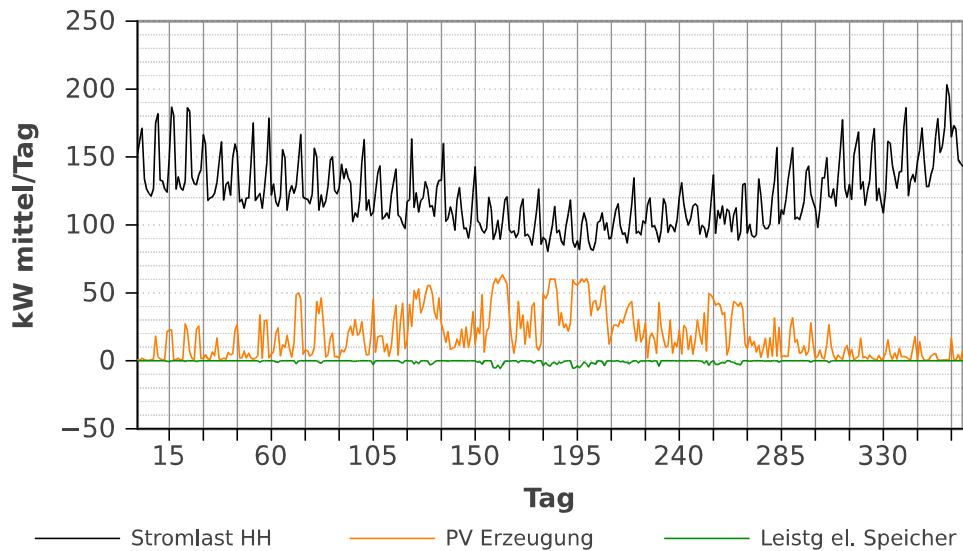
1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 18: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

## 10.6.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

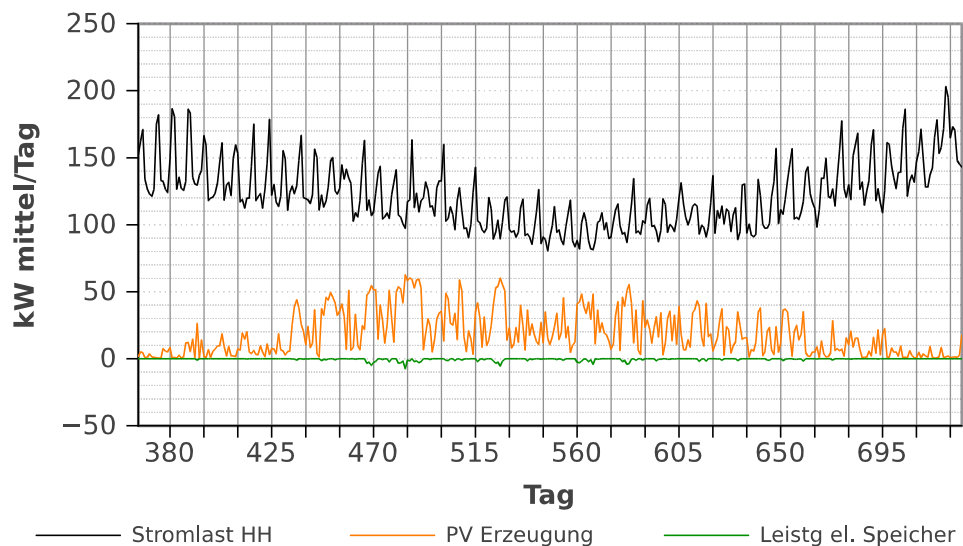
### 10.6.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



**Abbildung 31: SRT 6 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.**

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



**Abbildung 32: SRT 6, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.**

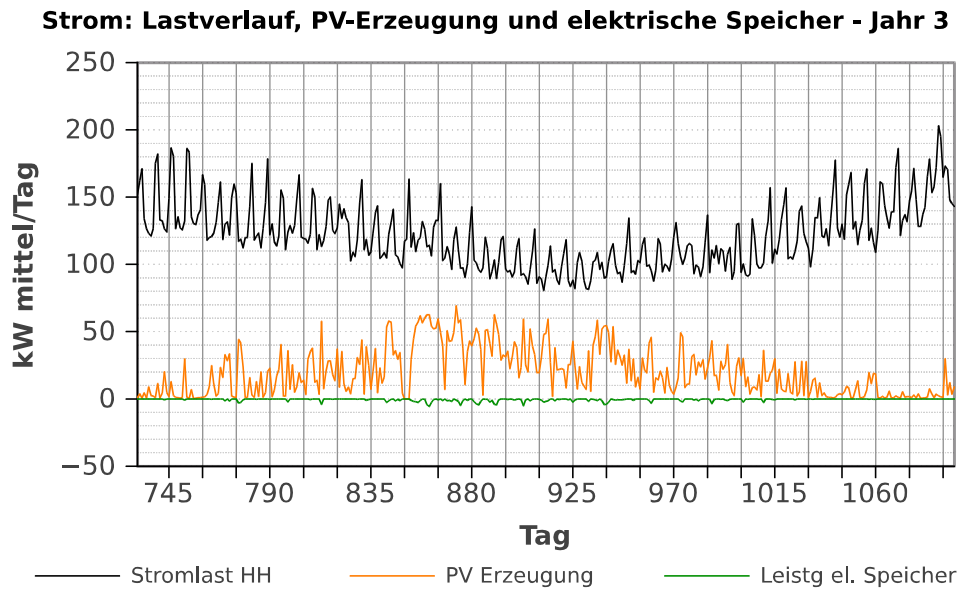


Abbildung 33: SRT 6, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

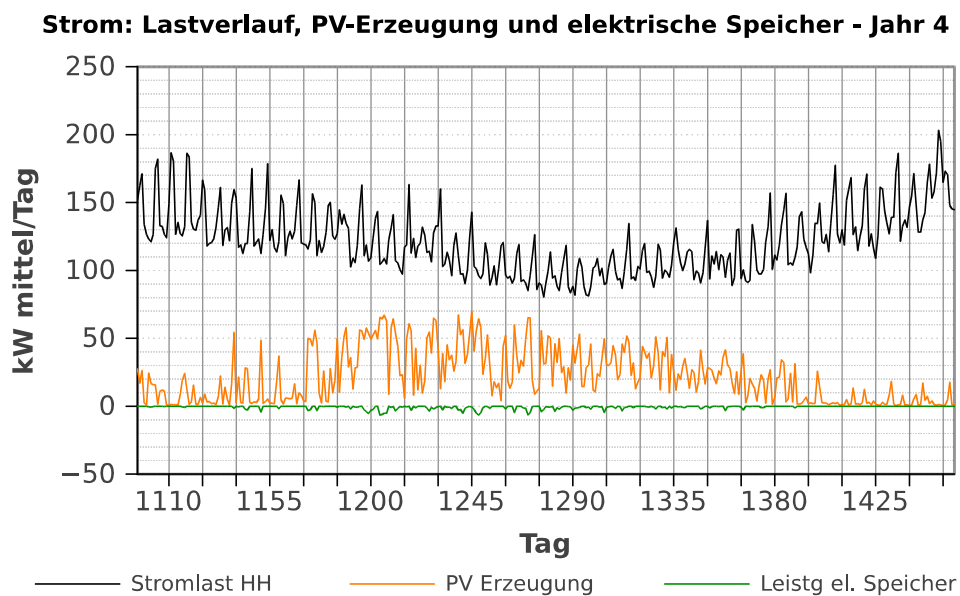


Abbildung 34: SRT 6, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.6.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

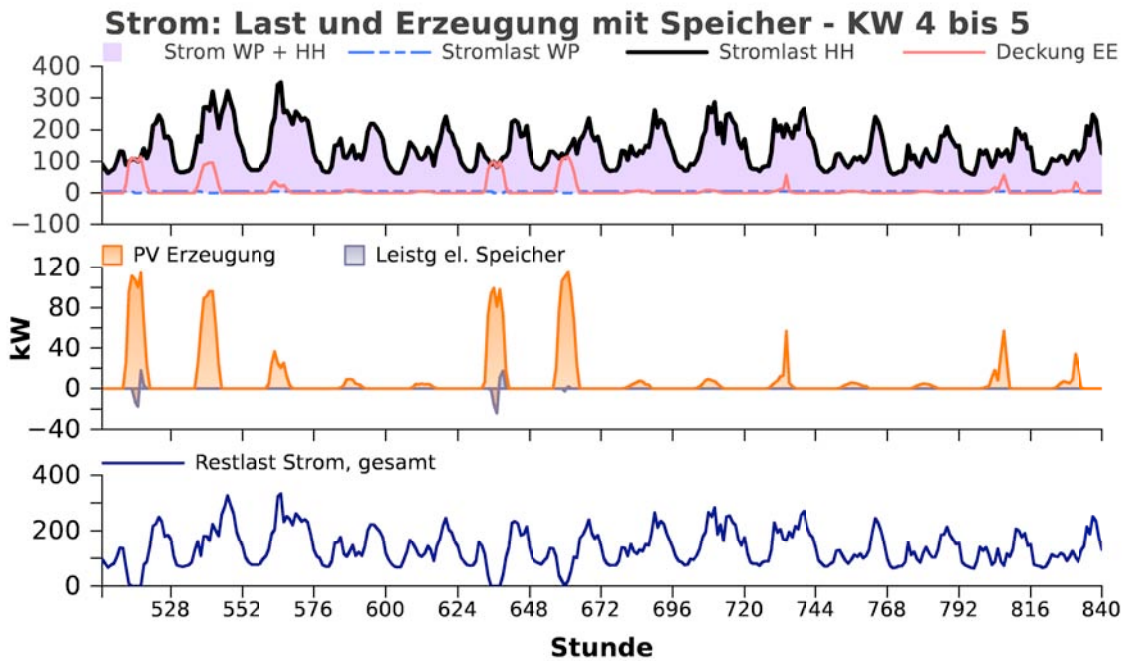


Abbildung 35: SRT 6, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

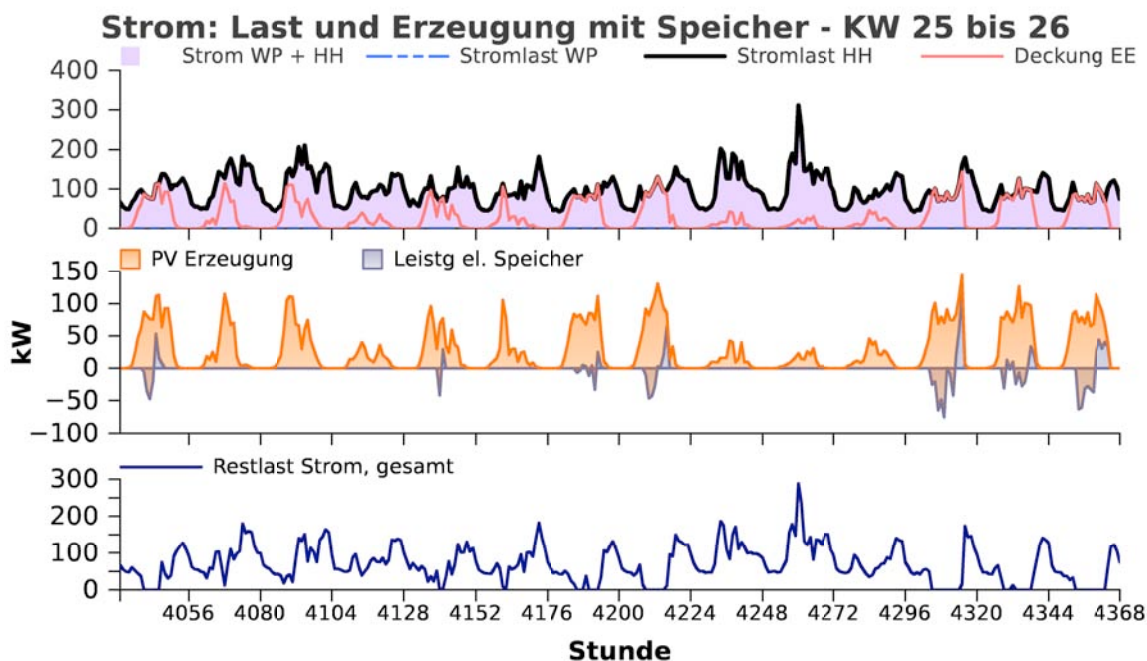


Abbildung 36: SRT I, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.



## 10.7 Stadtraumtyp V (SRT V): Wohlfahrt Siedlungen Vorkriegszeit < 1938

### 10.7.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 26% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden, wird der zusätzliche Stromverbrauch der Wärmepumpen berücksichtigt, fällt der Anteil der PV knapp unter 26% ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt 1,4% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	3.651.900,0	960.561,9	2.691.338,1	50.790,2	2.742.128,3
Anteile in %	100,0%	26,3%	73,7%	1,4%	74,1%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>26,3%</b>		<b>25,9%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 19: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier einen Anteil von beinahe 21%, bzw. etwas über 20%, wenn auch der Wärmepumpenstrom berücksichtigt wird. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei einem Wert von 7,1% des Gesamtstromverbrauchs.

Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	14.607.233,3	4.043.405,1	10.563.828,2	-311.937,4
Anteile in %	100,0%	27,7%	72,3%	-2,1%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>14.607.233,3</b>		<b>11.603.302,7</b>	<b>11.071.883,0</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	<b>100,0%</b>		<b>79,4% (79,7%)</b>	<b>74,8%</b>
Überschüsse			-1.039.474,5	0,0
Anteile in % <sup>4)</sup>			-7,1% (-7,0%)	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>3.003.930,6</b>	<b>3.731.467,7</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>20,6% (20,3%)</b>	<b>25,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 20: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf 25,2 % angehoben werden und liegt damit nur unwesentlich unter dem Wert der statischen Bilanz nach Einsatz der Wärmepumpen. Parallel dazu können Stromexporte

aus dem Stadtraumtyp heraus komplett vermieden werden; vorher lagen diese immerhin auf einem Niveau von etwa 7% der Stromverbrauchs des SRT.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 898 kW, was mehr als der Hälfte der maximalen Bezugslast entspricht (1.388 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (1.371 kW), der teilweise durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder kompensiert wird (1.385 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 21).

Durch die elektrischen Speicher kann die Minimallast auf Null gesenkt werden, folglich können Leistungsexporte aus dem Stadtraum heraus vermieden werden. Allerdings war auch ohne Speicher der notwendige Leistungsexport deutlich geringer als der maximale Leistungsbezug aus dem Versorgungsnetz, sodass auch ohne elektrische Speicher keine Probleme hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der Netze vorlagen. Die Sinnhaftigkeit der Verwendung elektrischer Speicher entscheidet sich in diesem Fall anhand des Zugewinns im Deckungsbeitrag sowohl im Hinblick auf die Versorgungssituation vor Ort, als auch im Gesamtkontext der Versorgung von Wilhelmsburg.

Wohlfahrt Siedl. Vorkriegszeit < 1938	Stromverbrauch SRT	nach PV- Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	1.387,8	1.371,1	1.384,9	1.384,9
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	143,4	-897,8	-897,8	0,0

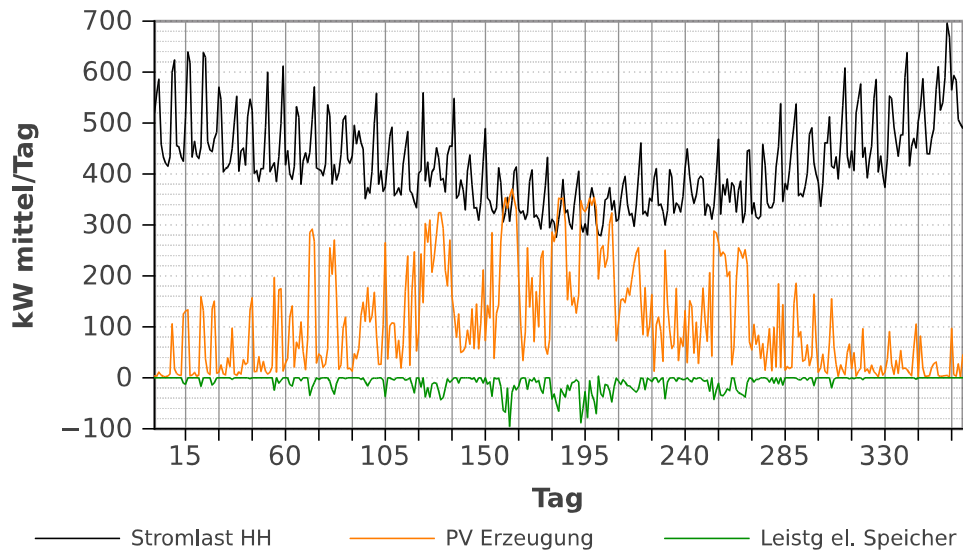
1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 21: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

### 10.7.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

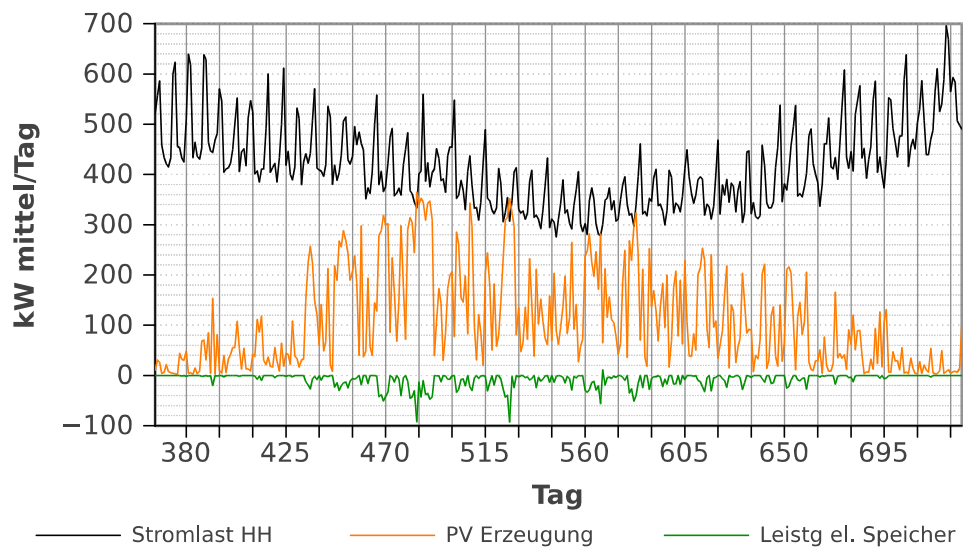
#### 10.7.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 37: SRT 7 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 38: SRT 7, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*

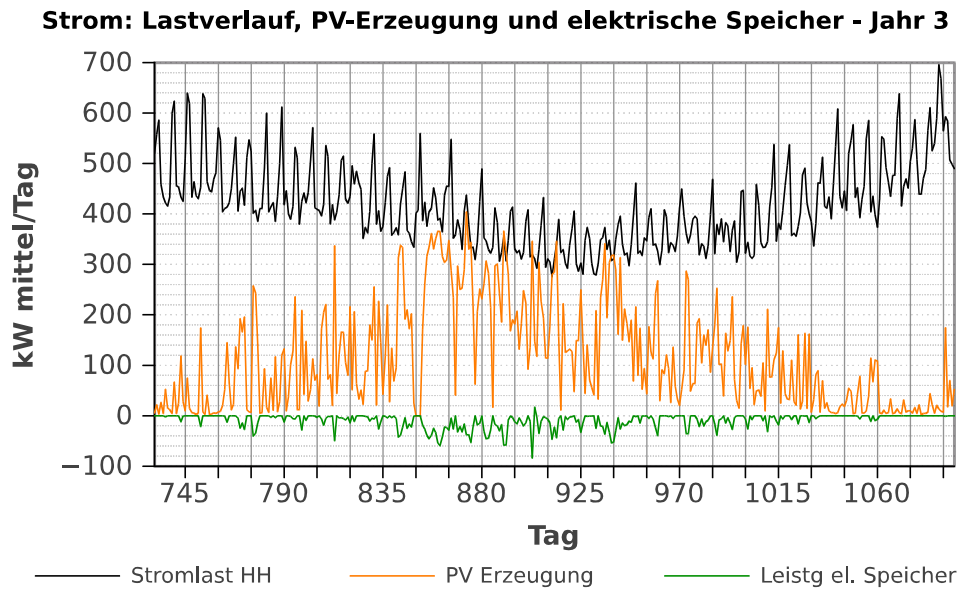


Abbildung 39: SRT 7, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

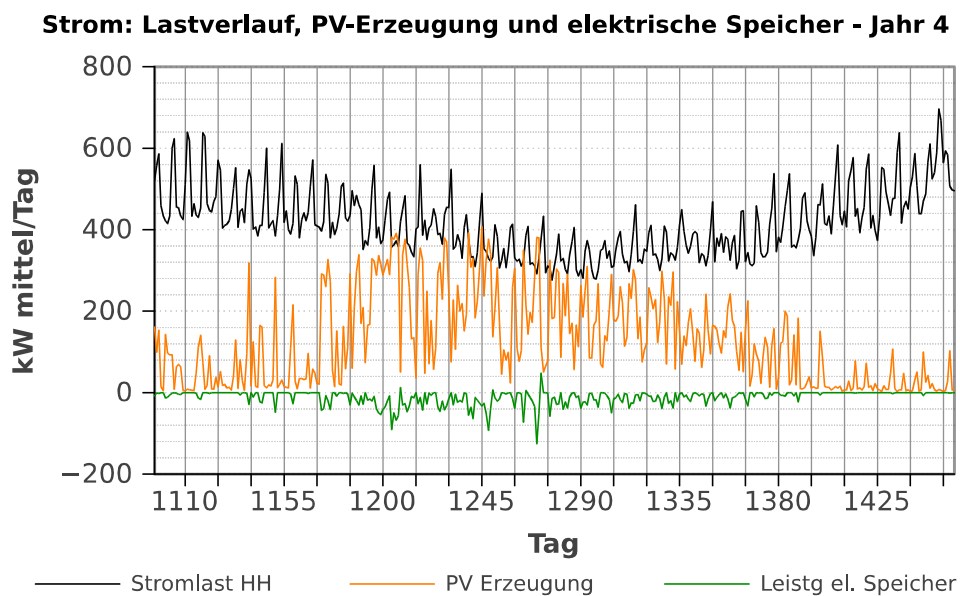


Abbildung 40: SRT 7, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.7.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

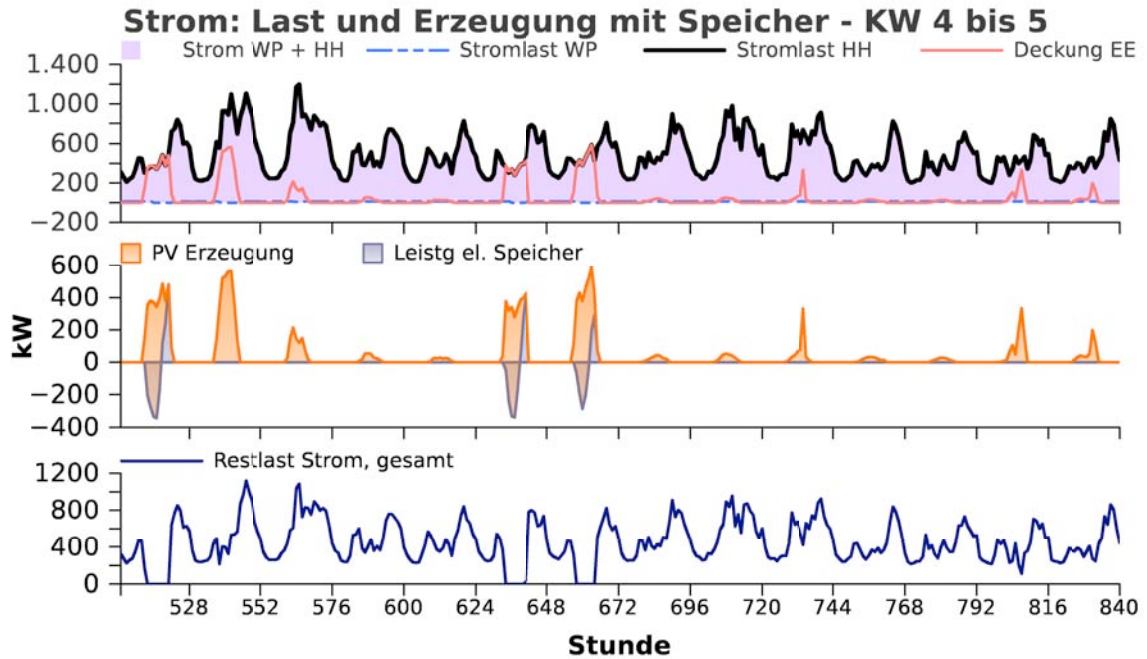


Abbildung 41: SRT 7, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

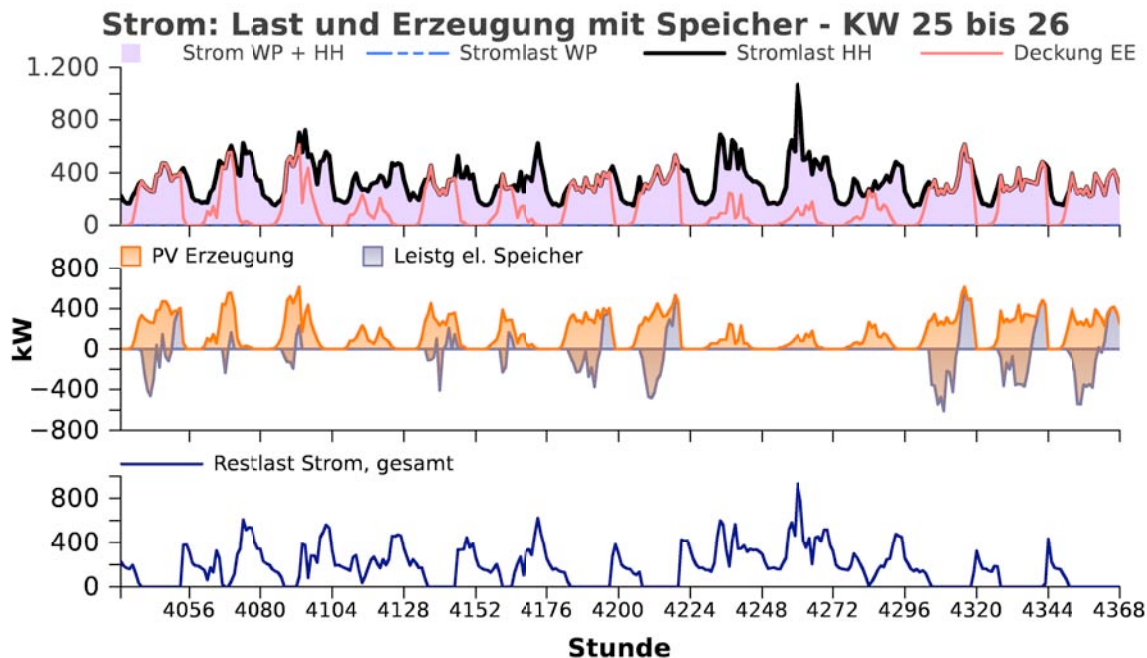


Abbildung 42: SRT 7, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 10.8 Stadtraumtyp VI (SRT VI): Wohnsiedlungen Sozialer Wohnungsbau 1950er

### 10.8.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg ermöglicht der hohe Installationsumfang der Photovoltaik eine Stromerzeugung, die höher ausfällt als der Strombedarf der Haushalte (fast 109%). Durch den Mehrverbrauch aus dem Betrieb der Wärmepumpen fällt die Erzeugung der PV auf 102,5% des Gesamtstrombedarfs ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt 6% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

WS Soz. Wohnungsbau 1950er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	3.029.923,9	3.291.489,9	-261.565,9	182.454,1	-79.111,9
Anteile in %	100,0%	108,6%	-8,6%	6,0%	-2,5%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>108,6%</b>		<b>102,5%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 22: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann, einen überaus deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier nur noch einen Deckungsbeitrag von 32,6%, bzw. 31%, wenn auch der Wärmepumpenstrom berücksichtigt wird. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei Werten von etwa 76% bis 71,5% (inkl. WP), je nachdem, ob als Bezugsgröße der Gesamtstrombedarf inklusive Wärmepumpen, oder nur der Haushaltsstromverbrauch herangezogen wird.

WS Soz. Wohnungsbau 1950er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	3.029.923,9	3.291.489,9	-261.565,9	-371.621,8
Anteile in %	100,0%	108,6%	-8,6%	-11,6%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>3.029.923,9</b>		<b>2.041.526,3</b>	<b>1.355.413,4</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	<b>100,0%</b>		<b>67,4% (69,0%)</b>	<b>42,2%</b>
Überschüsse			-2.303.092,2	-1.062.903,5
Anteile in % <sup>4)</sup>			-76,0% (-71,5%)	-33,1%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>988.397,7</b>	<b>1.856.964,6</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>32,6% (31,0%)</b>	<b>57,8%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 23: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf fast 58% angehoben werden. Gleichzeitig verringern sich auch die notwendige Stromexporte aus dem Stadtraumtyp heraus deutlich, von etwa 72% ohne Speicher auf gut 33% mit Speichern.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung in beträchtlicher Höhe aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 949 kW und damit deutlich über dem Dreifachen der maximalen Bezugslast (287,9 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (277,1 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder mehr als kompensiert wird (289,1 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 24).

Durch die elektrischen Speicher kann die Minimallast auf -812 kW gesenkt werden, d.h. die aus dem SRT heraus zu exportierende Überschussleistung wird um knapp 140 kW gesenkt. Insgesamt muss die zu exportierende Leistung hier kritisch betrachtet werden, da sie ein Vielfaches des maximalen Leistungsbezugs beträgt und so eine Kontrolle der Leistungsfähigkeit des heute verbauten Verteilernetzes anzuraten ist, um potenzielle Netzüberlastungen durch die PV-Erzeugung zu vermeiden. Die maximale Bezugslast kann durch die elektrischen Speicher nicht weiter verringert werden. Der Grund liegt darin, dass - trotz des hohen Installationsumfangs der PV - in Zeiten geringer Einstrahlung keine substanziellen Erzeugungsüberschüsse für die Einspeicherung und spätere Lastdeckung aus den Speichern vorliegen.

WS Soz. Wohnungsbau 1950er	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	287,9	277,1	289,1	289,1
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	29,7	-949,0	-949,0	-812,3

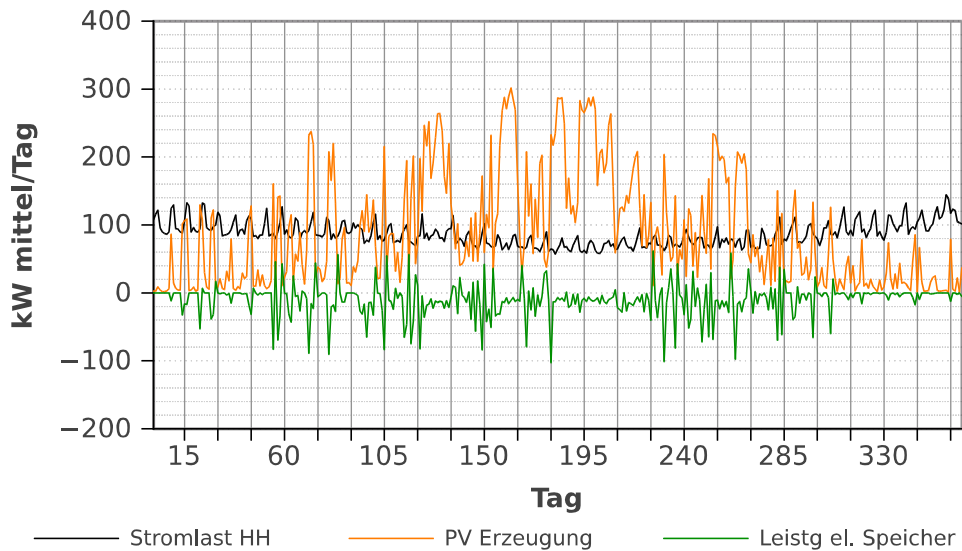
1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 24: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

## 10.8.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

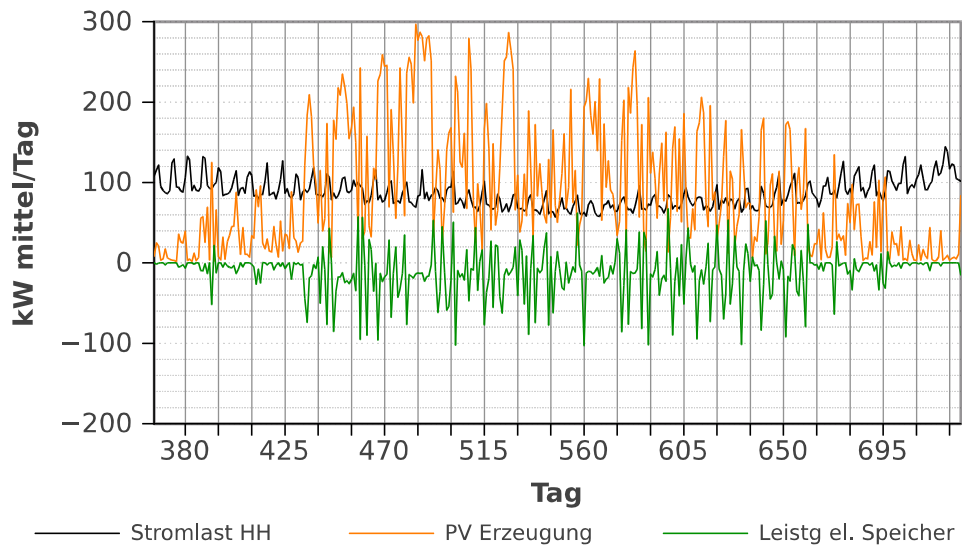
### 10.8.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 43: SRT 8 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 44: SRT 8, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*



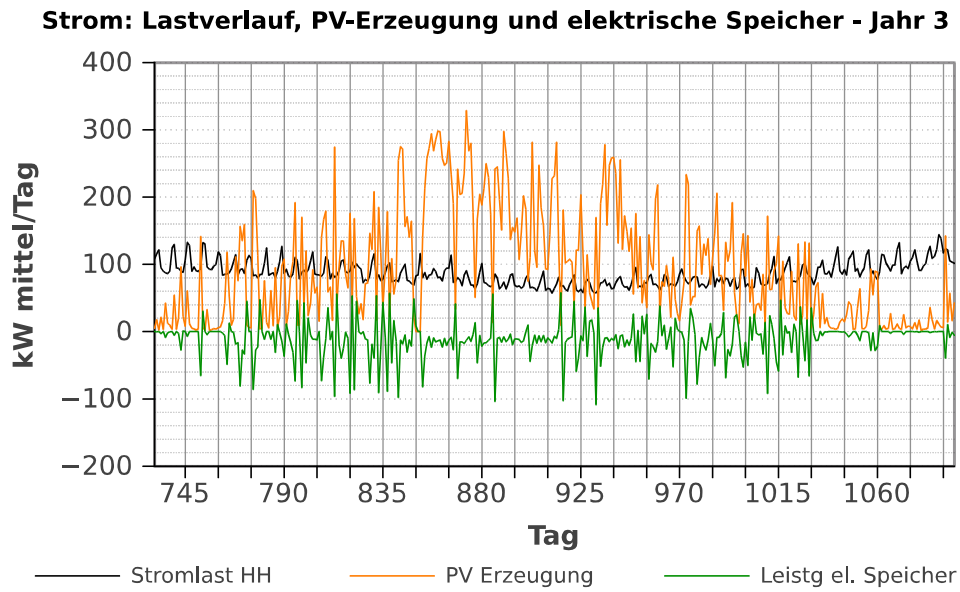


Abbildung 45: SRT 8, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

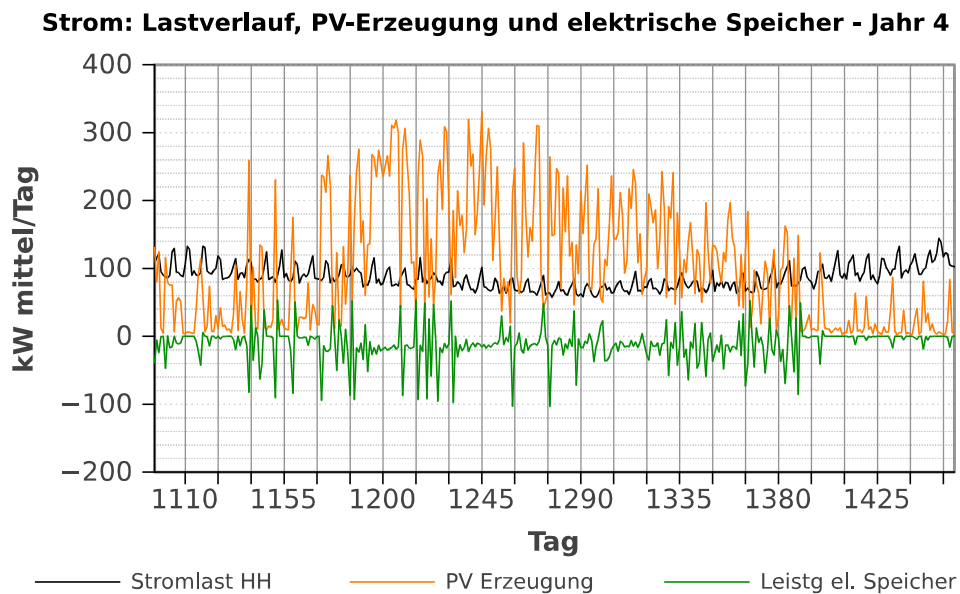


Abbildung 46: SRT 8, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.8.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

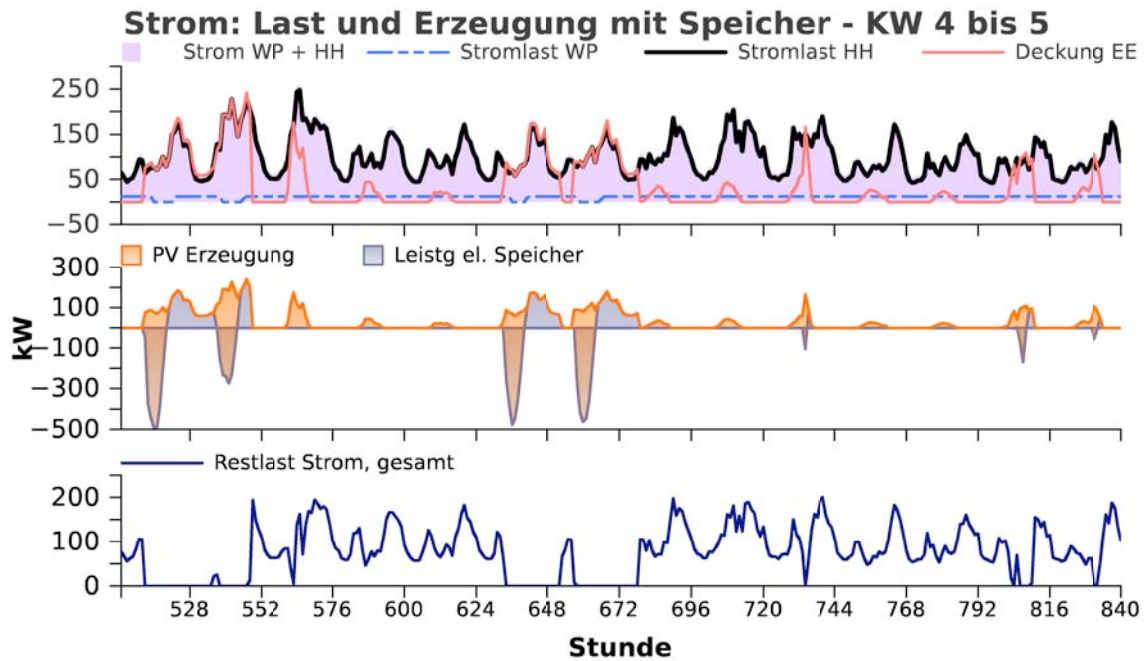


Abbildung 47: SRT 8, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

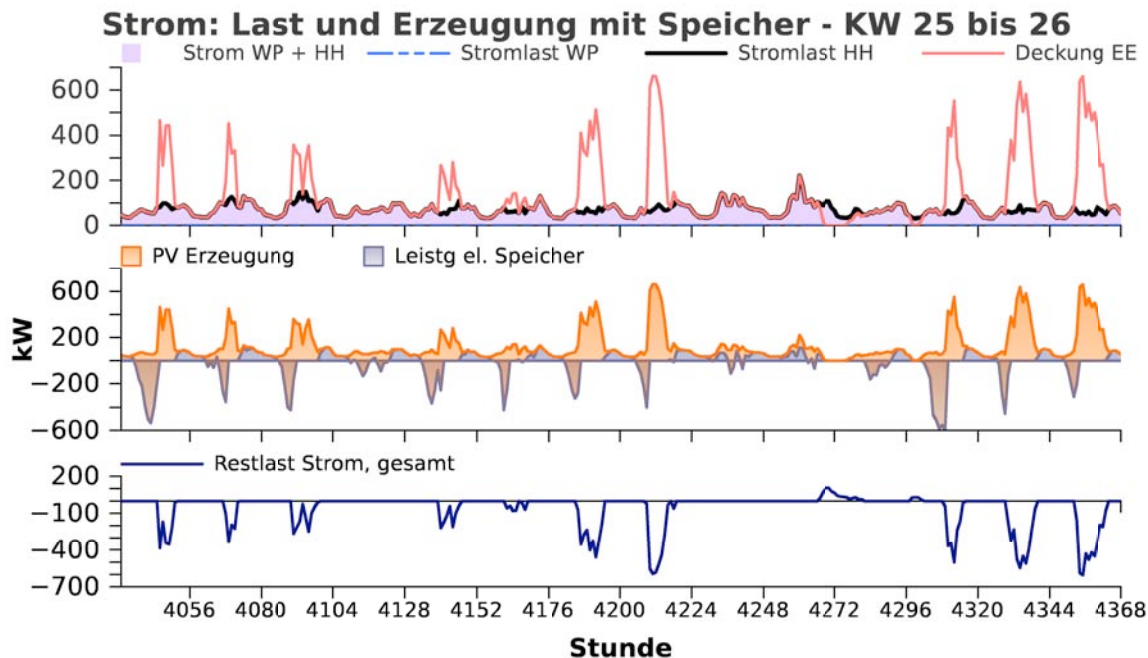


Abbildung 48: SRT 8, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 10.9 Stadtraumtyp VII (SRT VII): Hochhauswohnsiedlungen 70er Platte NBL 1970er

### 10.9.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg ermöglicht der recht hohe Installationsumfang der Photovoltaik eine Stromerzeugung, die 65,8% des Stromverbrauchs der Haushalte ausmacht. Durch den geringen Mehrverbrauch aus dem Betrieb der Wärmepumpen fällt die Erzeugung der PV nur geringfügig, auf etwa 65,4% des Gesamtstrombedarfs ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt lediglich 0,6% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

HH WS 70er Platte NBL 1970er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	20.301.090,4	13.350.988,6	6.950.101,8	121.875,6	7.071.977,4
Anteile in %	100,0%	65,8%	34,2%	0,6%	34,6%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>65,8%</b>		<b>65,4%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 25: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann, einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier nur noch einen Deckungsbeitrag von gut 28%. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei Werten von etwa 37%.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV von 28,2% auf fast 50% angehoben werden, was gleichzeitig eine substantielle Reduktion der zu exportierenden Strommengen bedeutet (von 37,1% auf 7,6%).

HH WS 70er Platte NBL 1970er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	20.301.090,4	13.350.988,6	6.950.101,8	-1.813.620,4
Anteile in %	100,0%	65,8%	34,2%	-8,9%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>20.301.090,4</b>		<b>14.536.191,6</b>	<b>10.446.796,8</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	<b>100,0%</b>		<b>71,6% (71,8%)</b>	<b>51,2%</b>
Überschüsse			-7.586.089,8	-1.561.199,1
Anteile in % <sup>4)</sup>			-37,4% (-37,1%)	-7,6%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>5.764.898,8</b>	<b>9.976.169,1</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>28,4% (28,2%)</b>	<b>48,8%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 26: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung in beträchtlicher Höhe aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 3.652 kW und liegt damit deutlich über der maximalen Bezugslast der Haushalte(1.929 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (1.875 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen nur geringfügig wieder mehr ansteigt (1.883 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 27).

Durch die elektrischen Speicher kann der Leistungsexport des SRT um etwa 500 kW, auf dann 3.147 kW verringert werden. Insgesamt muss die zu exportierende Leistung hier kritisch betrachtet werden, da sie auch mit elektrischen Speichern ein Vielfaches des maximalen Leistungsbezugs beträgt und so eine Kontrolle der Leistungsfähigkeit des heute verbauten Netzes anzuraten ist, um potenzielle Netzüberlastungen durch die PV-Erzeugung zu vermeiden. Die maximale Bezugslast kann durch die elektrischen Speicher nicht weiter verringert werden. Der Grund hierfür ist, dass - trotz des enormen Installationsumfangs der PV - in Zeiten geringer Einstrahlung keine substantiellen Erzeugungsüberschüsse für die Einspeicherung und spätere Lastdeckung aus den Speichern vorliegen.

HH WS 70er Platte NBL 1970er	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	1.928,8	1.874,8	1.882,8	1.882,8
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	199,2	-3.652,1	-3.652,1	-3.146,9

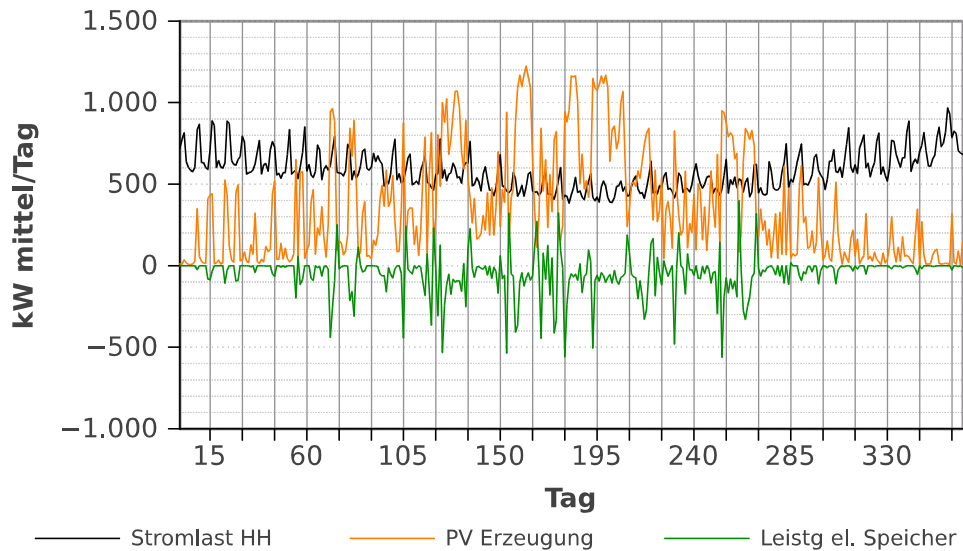
1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 27: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

### 10.9.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

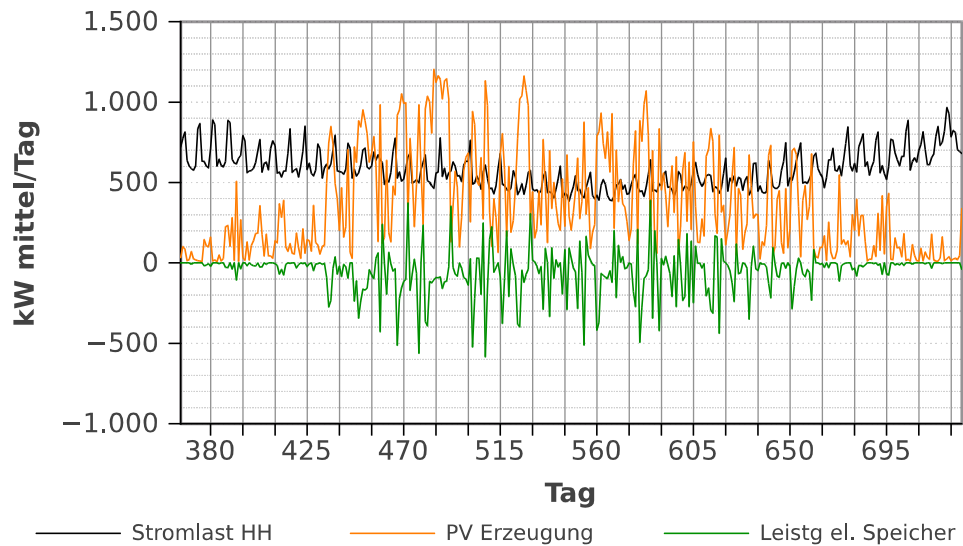
#### 10.9.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 49: SRT 9 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 50: SRT 9, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*

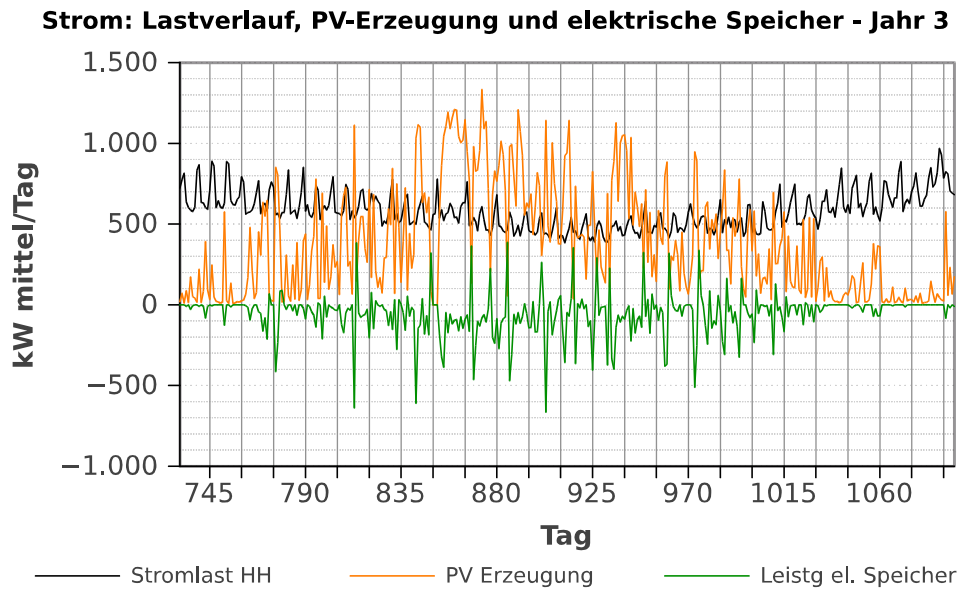


Abbildung 51: SRT 9, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

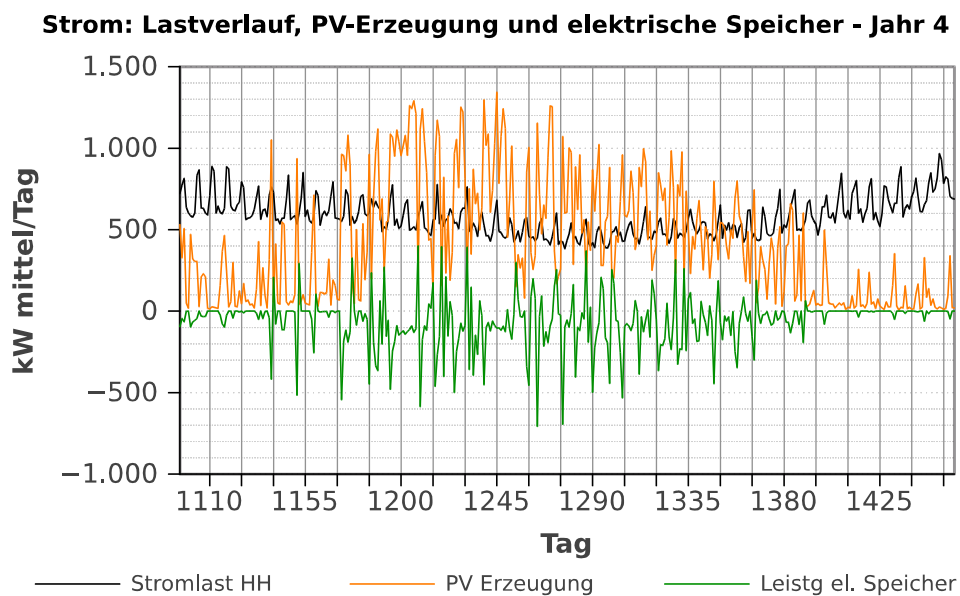


Abbildung 52: SRT 9, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.9.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

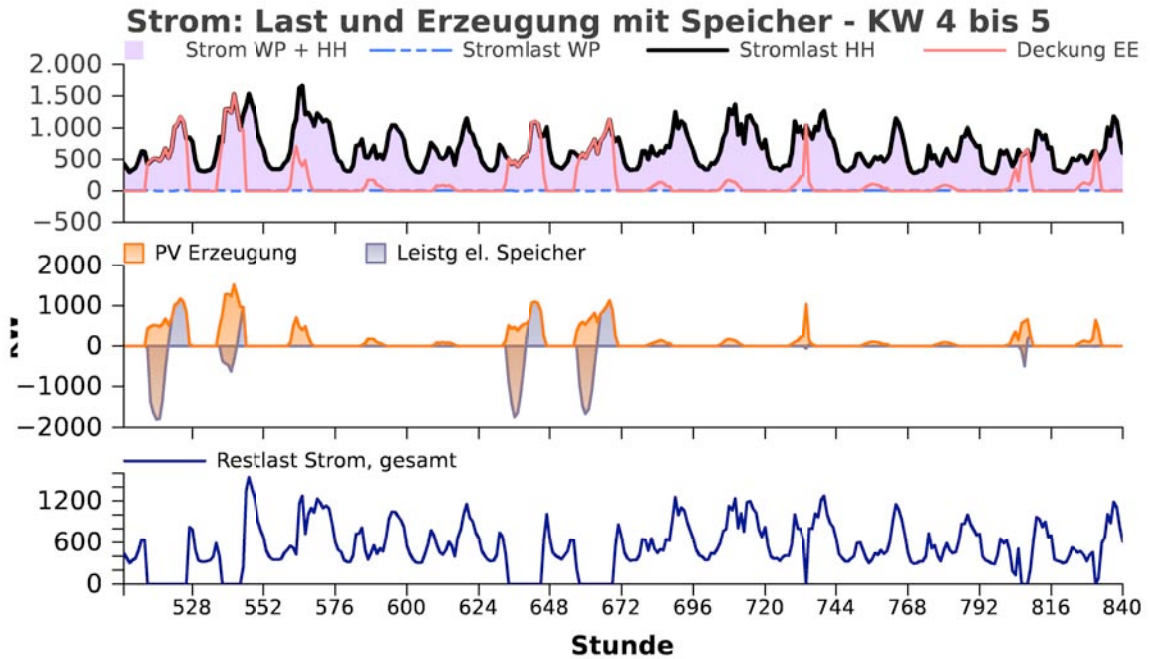


Abbildung 53: SRT 1, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

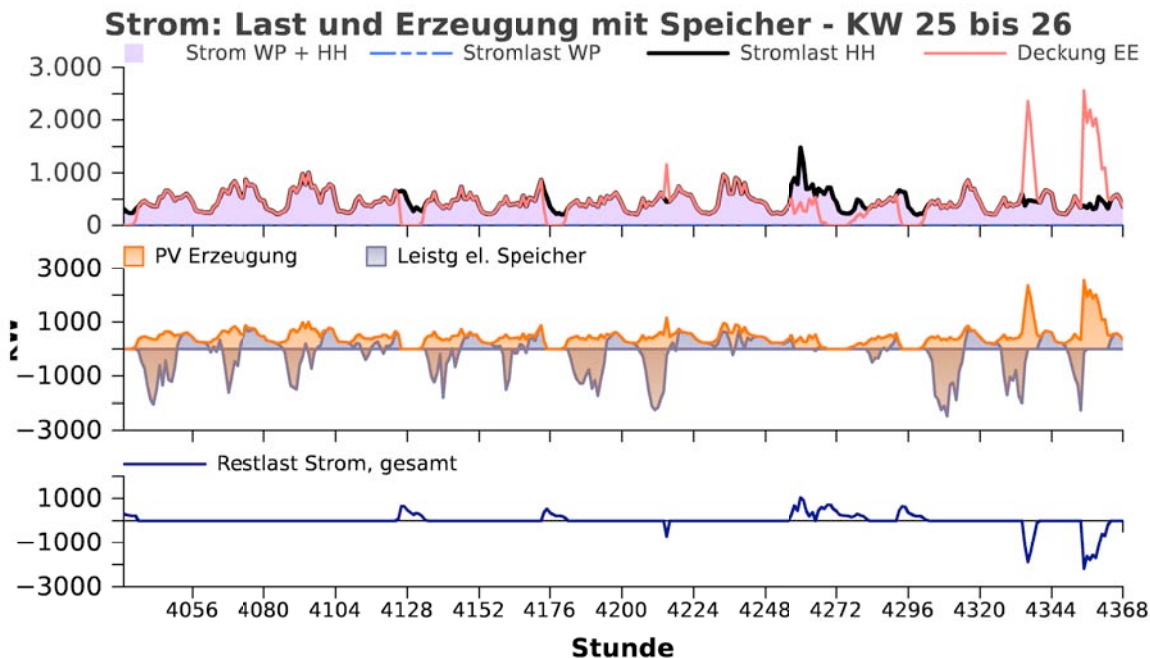


Abbildung 54: SRT 9, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**10.10 Stadtraumtyp Villa (SRT Villa): Geschosswohnungsbau 1960-80er**

**10.10.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg ermöglicht der recht hohe Installationsumfang der Photovoltaik eine Stromerzeugung, die etwas mehr als zwei Drittel des Strombedarfs der Haushalte beträgt (gut 69%). Durch den Mehrverbrauch aus dem Betrieb der Wärmepumpen fällt die Erzeugung der PV leicht auf 68,4% des Gesamtstrombedarfs ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt lediglich 1,1% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Geschosswohnungsbau 1960-80er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	14.178.844,0	9.807.658,8	4.371.185,2	162.619,1	4.533.804,3
Anteile in %	100,0%	69,2%	30,8%	1,1%	31,6%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>69,2%</b>		<b>68,4%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 28: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann, einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier nur noch einen Deckungsbeitrag von knapp 29%, bzw. 28,5%, wenn auch der Wärmepumpenstrom berücksichtigt wird. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei Werten von um die 40% des Strombedarfs.

Geschosswohnungsbau 1960-80er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	14.178.844,0	9.807.658,8	4.371.185,2	-1.321.534,9
Anteile in %	100,0%	69,2%	30,8%	-9,2%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>14.178.844,0</b>		<b>10.091.653,2</b>	<b>7.183.902,0</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	<b>100,0%</b>		<b>71,2% (71,5%)</b>	<b>50,1%</b>
Überschüsse			-5.720.468,0	-1.328.562,9
Anteile in % <sup>4)</sup>			-40,3% (-39,9%)	-9,3%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>4.087.190,9</b>	<b>7.157.561,1</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>28,8% (28,5%)</b>	<b>49,9%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 29: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV fast 50% angehoben werden (28,5% ohne Speicher). Parallel dazu verringerte sich die



Notwendigkeit von Stromexporten aus dem Stadtraumtyp von vorher knapp 40% der Stromverbrauchs des SRT auf gut 9%.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung in beträchtlicher Höhe aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 2.701 kW und liegt damit etwa beim Doppelten des Werts der maximalen Bezugslast der Haushalte (1.347 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (1.308 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder geringfügig erhöht wird (1.319 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 30).

Durch die elektrischen Speicher kann die maximal zu exportierende Leistung auf 2.325 kW gesenkt werden, das entspricht einer Verringerung um etwa 375 kW. Auch mit elektrischen Speicher liegt die maximal zu exportierende Leistung deutlich oberhalb der maximal für die Versorgung aus dem Netz zu beziehende Leistung. Daher kann eine Aussage über etwaige Überbelastungen des vorhandenen Netzes nur anhand einer Kontrolle der Leistungsfähigkeit des heute verbauten Netzes getroffen werden. Eine weitere Reduktion der maximalen Bezugsleistung kann durch die hier verwendeten Kurzzeitspeicher nicht erreicht werden, da längeren Zeiten mit hohem Stromverbrauch (kalte Jahreszeit) ein geringeres Strahlungsangebot für die photovoltaische Stromerzeugung gegenübersteht.

Geschosswohnungsbau 1960-80er	Stromverbrauch SRT	nach PV- Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	1.347,1	1.308,4	1.319,0	1.319,0
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	139,1	-2.700,9	-2.700,9	-2.325,3

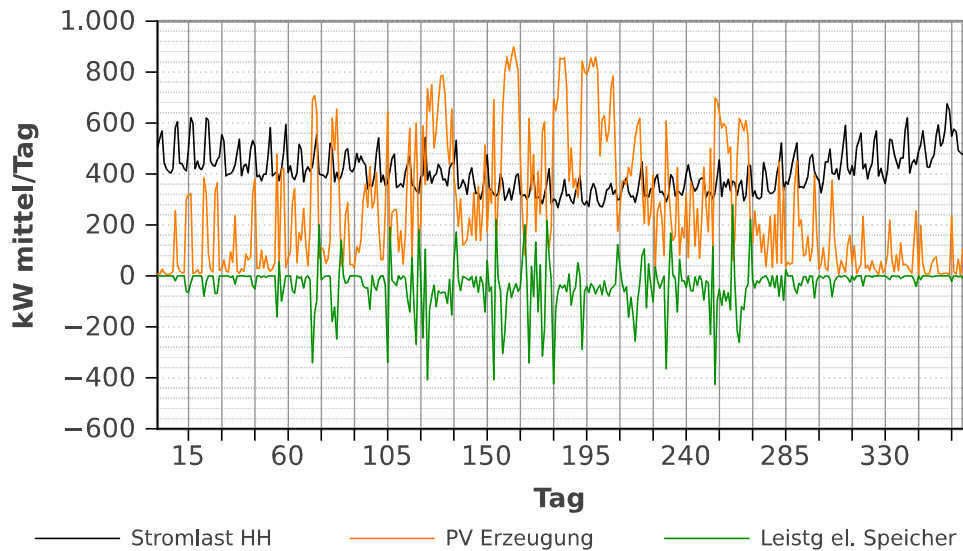
1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 30: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

### 10.10.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

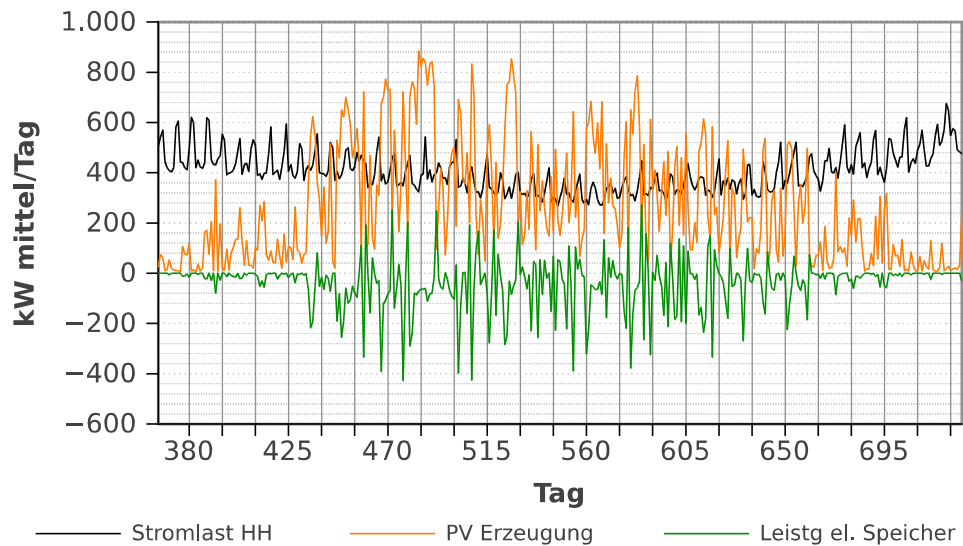
#### 10.10.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 55: SRT 10 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 56: SRT 10, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*

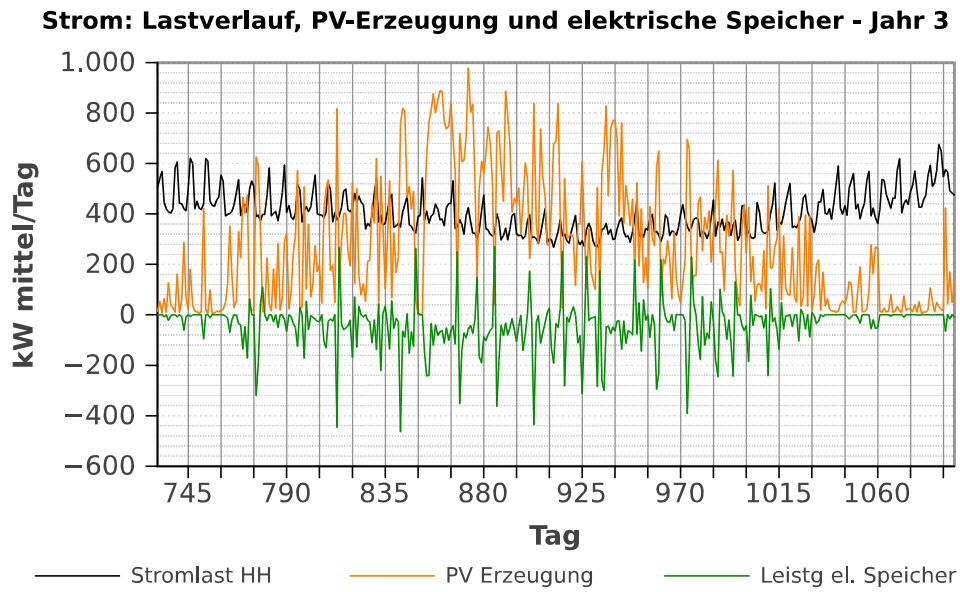


Abbildung 57: SRT 10, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

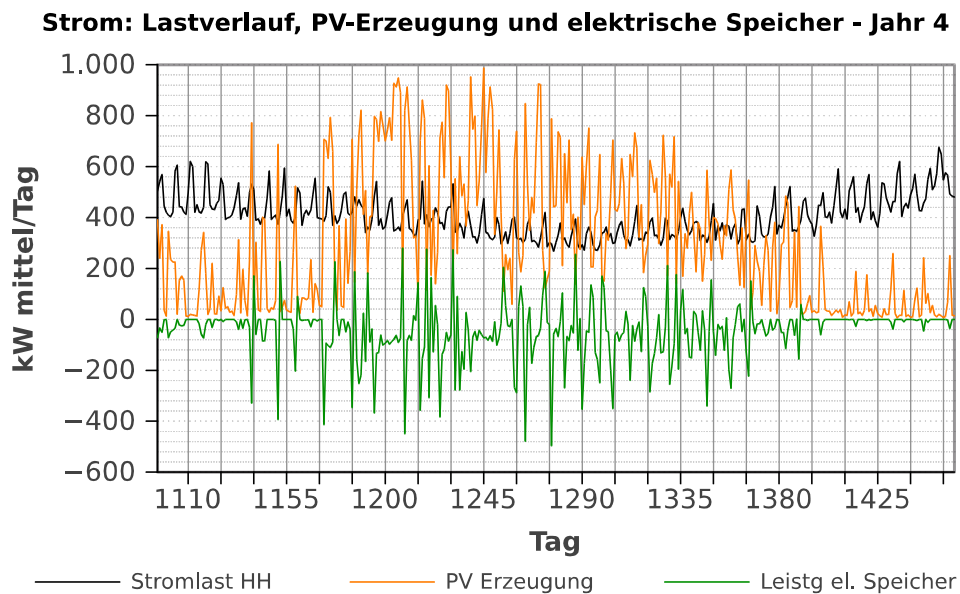


Abbildung 58: SRT 10, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.10.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

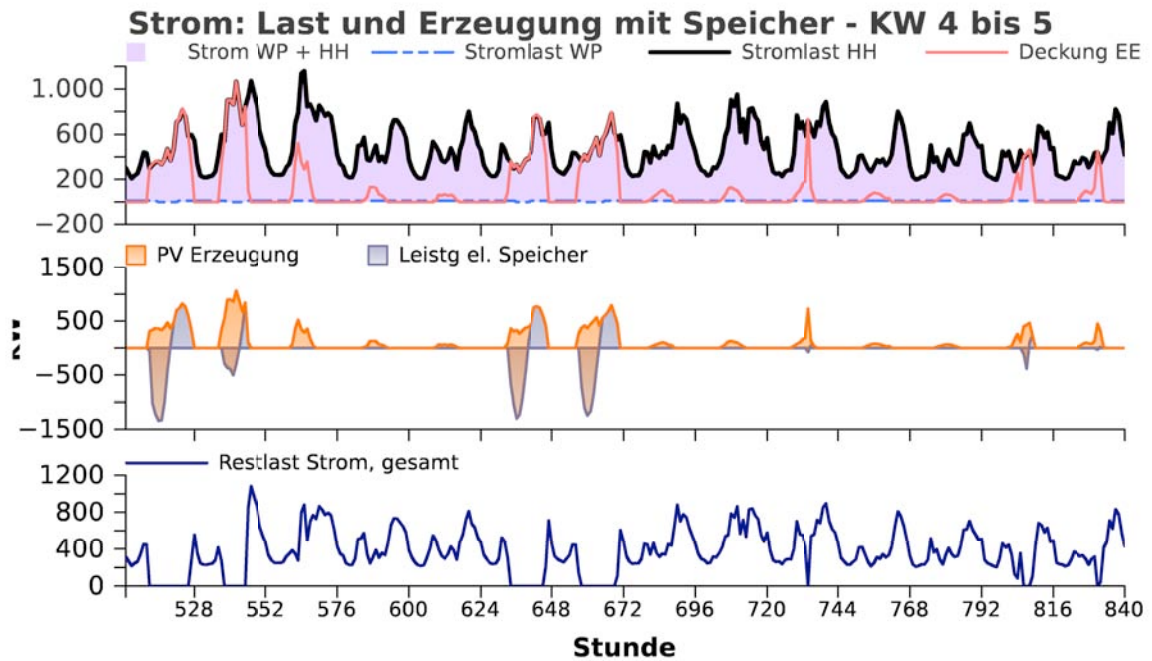


Abbildung 59: SRT 10, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

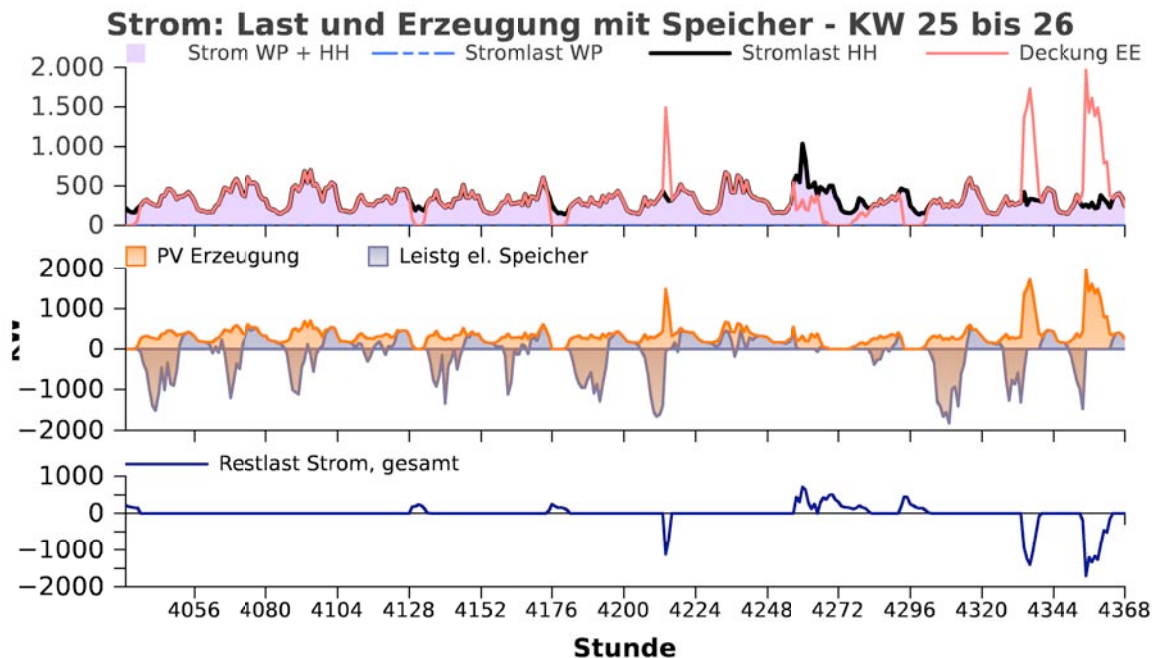


Abbildung 60: SRT 10, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

### 10.11 Stadtraumtyp VIIIb (SRTVIIIb): Geschosswohnungsbau 1990er

#### 10.11.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg ermöglicht der recht hohe Installationsumfang der Photovoltaik eine Stromerzeugung, die etwa drei Viertel des Strombedarfs der Haushalte beträgt (knapp 75%). Durch den Mehrverbrauch aus dem Betrieb der Wärmepumpen fällt die Erzeugung der PV leicht ab auf knapp 74% des Gesamtstrombedarfs. Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt lediglich 1,6% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Geschosswohnungsbau 1990er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	604.784,8	452.661,2	152.123,6	9.457,7	161.581,3
Anteile in %	100,0%	74,8%	25,2%	1,6%	26,3%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>74,8%</b>		<b>73,7%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungsüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 31: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier nur noch einen Deckungsbeitrag von knapp 30%, bzw. 29,1%, wenn auch der Wärmepumpenstrom berücksichtigt wird. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungsüberschüsse liegen bei Werten von um die 45% des Strombedarfs.

Geschosswohnungsbau 1990er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	604.784,8	452.661,2	152.123,6	-59.995,4
Anteile in %	100,0%	74,8%	25,2%	-9,8%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>604.784,8</b>		<b>426.412,0</b>	<b>296.456,1</b>
<b>Anteile in %<sup>4)</sup></b>	<b>100,0%</b>		<b>70,5% (70,9%)</b>	<b>48,3%</b>
Überschüsse			-274.288,4	-74.879,4
Anteile in % <sup>4)</sup>			-45,4% (-44,6%)	-12,2%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>178.372,8</b>	<b>317.786,4</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>29,5% (29,1%)</b>	<b>51,7%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungsüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 32: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf 51,7% angehoben werden (29,1% ohne Speicher). Dementsprechend findet auch eine deutliche Reduktion der notwendigen Stromexporte, von fast 45% ohne Speicher auf etwa 12% mit elektrischen Speichern, statt.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 126 kW und liegt damit bei mehr als dem Doppelten des Werts der maximalen Bezugslast der Haushalte (57,5 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (55,7 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder geringfügig erhöht wird (56,6 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 33).

Eine Verringerung der maximalen Bezugsleistung aus dem Versorgungsnetz kann durch Einsatz der elektrischen Speicher nicht erreicht werden. Zeiten mit gutem Strahlungsangebot und relativ geringem Stromverbrauch und Zeiten mit relativ hohem Stromverbrauch bei nur geringem Strahlungsangebot liegen zeitlich zu weit auseinander, um mit Kurzfristspeichern einen positiven Einfluss zu bewirken. Verringerungen können bei der Exportleistung erzielt werden, die bei Einsatz elektrischer Speicher um 108 kW geringer ausfällt. Doch auch mit elektrischen Speichern liegt die maximal zu exportierende Leistung etwa beim Doppelten der maximal für die Versorgung aus dem Netz zu beziehende Leistung. Daher kann eine Aussage über etwaige Überbelastungen des vorhandenen Netzes nur anhand einer Kontrolle der Leistungsfähigkeit des heute verbauten Netzes getroffen werden.

Geschosswohnungsbau 1990er	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	57,5	55,7	56,6	56,6
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	5,9	-125,9	-125,9	-108,2

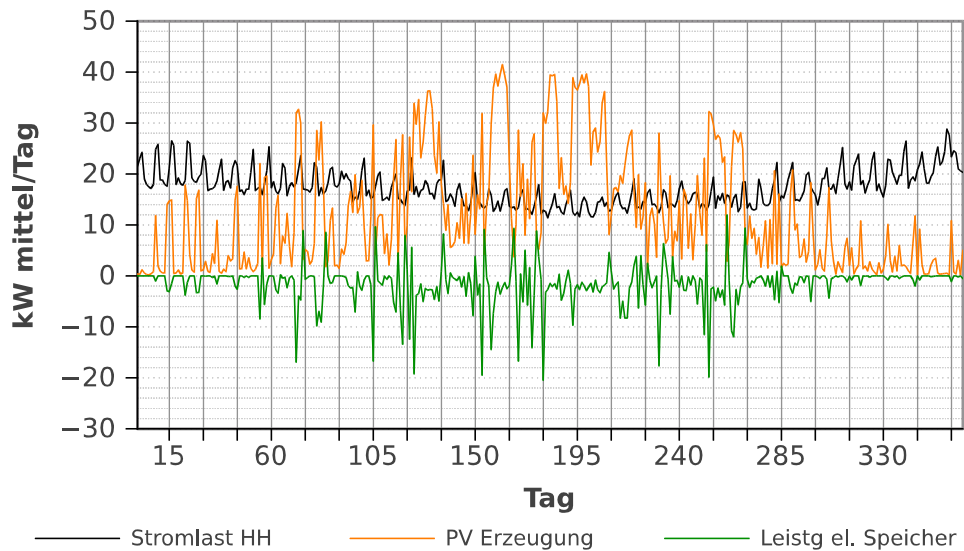
1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 33: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

### 10.11.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

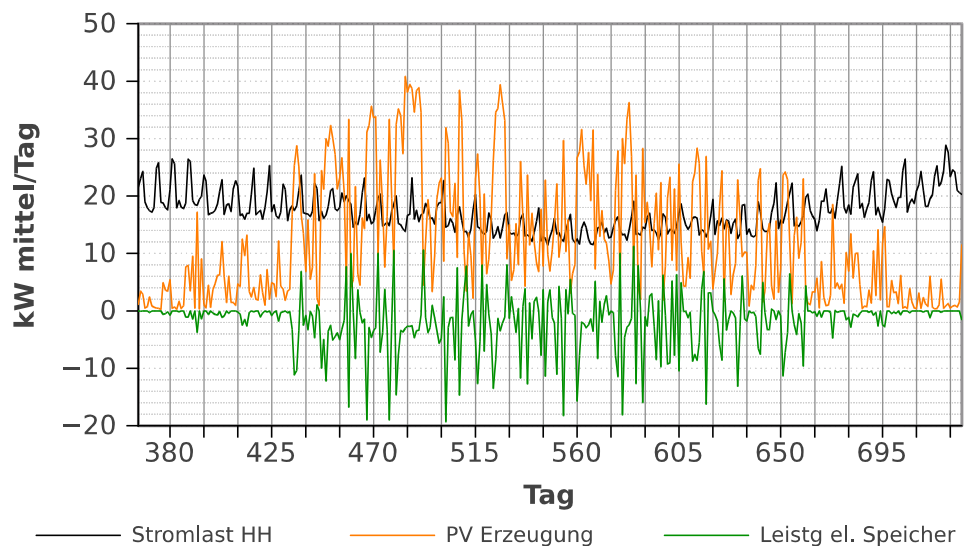
#### 10.11.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 61: SRT 11 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 62: SRT 11, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*

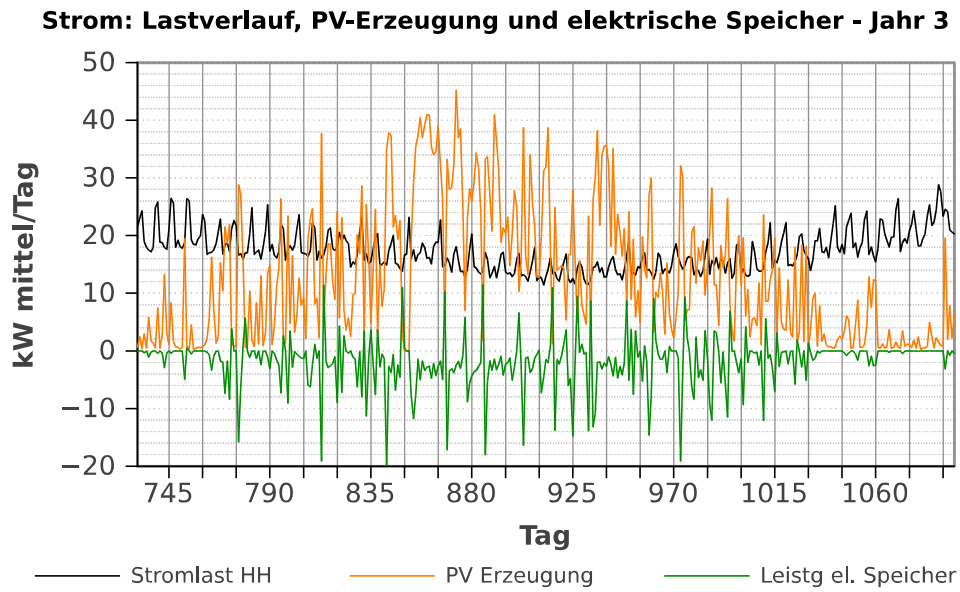


Abbildung 63: SRT 11, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

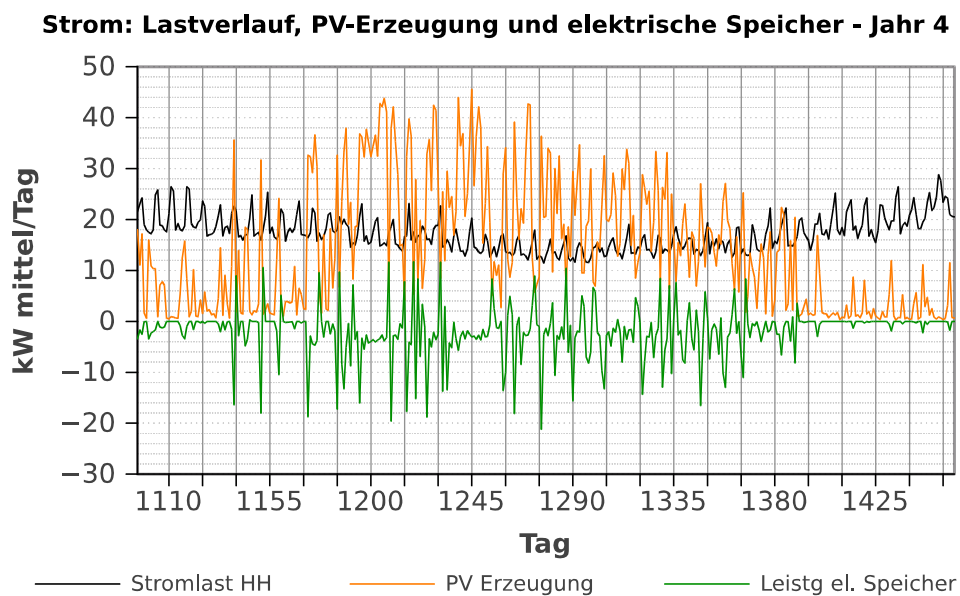


Abbildung 64: SRT 11, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.



10.11.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

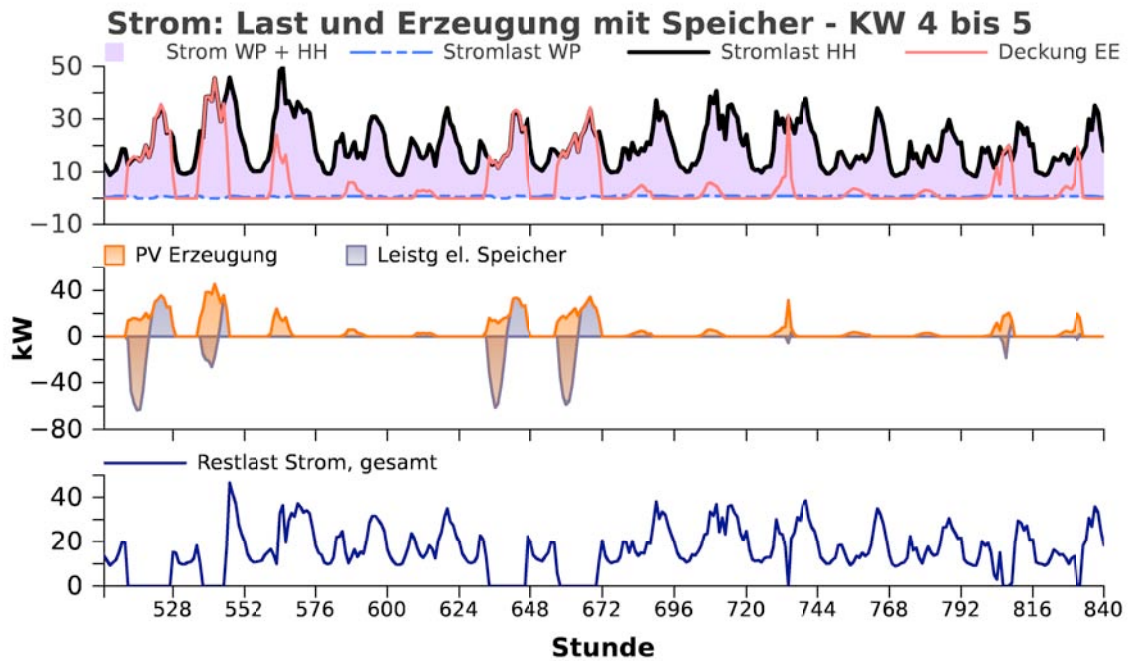


Abbildung 65: SRT 11, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

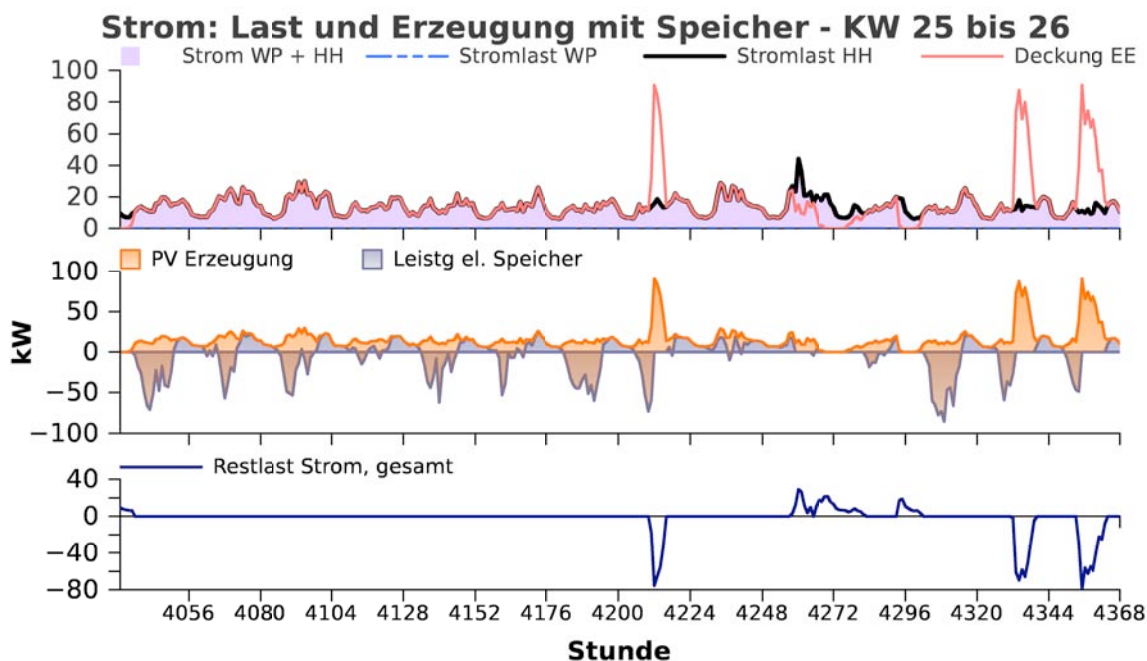


Abbildung 66: SRT 11, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 10.12 Stadtraumtyp VIIIc (SRT Viilc): Geschosswohnungsbau Niedrigenergie

### 10.12.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg kann mehr als das Dreifache des gesamten Strombedarfs aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden (gut 309%). Auch unter Berücksichtigung des zusätzlichen Stromverbrauchs der zur Wärmebereitstellung genutzten Wärmepumpen verbleibt der Anteil des PV-Stroms fast unverändert bei knapp 309%.

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch fällt, mit lediglich 0,2% zusätzlich zum Stromverbrauch der Haushalte, kaum ins Gewicht.

Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	529.186,7	1.635.631,9	-1.106.445,2	869,8	-1.105.575,4
Anteile in %	100,0%	309,1%	-209,1%	0,2%	-208,6%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>309,1%</b>		<b>308,6%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 34: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Durch den im Vergleich zum Stromverbrauch des Stadtraumtyps enormen Umfang der installierten Photovoltaik fällt der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung hier besonders stark aus. Durch die zeitlichen Unterschiede von benötigter und erzeugter Leistung fällt der innerhalb des SRT direkt nutzbare Anteil der PV-Erzeugung sehr stark ab und erreicht nur noch einen Wert von knapp 41%, gemessen am reinen Haushaltsstrombedarf. Der nur geringe Anteil der Wärmepumpen an der Deckung des Wärmebedarfs führt auch unter Berücksichtigung des Wärmepumpenstroms zu einem praktisch unveränderten Deckungsbeitrag der PV. Als weitere Konsequenz fallen hohe, lokal nicht nutzbare Erzeugungüberschüsse an, die in ihrer Größenordnung mehr als das Zweieinhalbfache des gesamten Strombedarfs ausmachen.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf 77 % angehoben werden. Sowohl verbleibende Defizite, als auch lokal nicht nutzbare Erzeugungüberschüsse nehmen deutlich ab. Betragen die nicht nutzbaren Überschüsse ohne Speicher etwa das 2,7fache des lokalen Stromverbrauchs, werden diese durch den Einsatz der elektrischen Speicher auf das etwa 2,2fache reduziert. Der Anteil des nicht gedeckten Strombedarfs fällt von knapp 60% auf 23% ab.

Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	529.186,7	1.635.631,9	-1.106.445,2	-82.923,0
Anteile in %	100,0%	309,1%	-209,1%	-15,6%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>529.186,7</b>		<b>313.269,7</b>	<b>122.150,7</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	<b>100,0%</b>		<b>59,2% (59,2%)</b>	<b>23,0%</b>
Überschüsse			-1.419.714,9	-1.144.803,1
Anteile in % <sup>4)</sup>			-268,3% (-267,8%)	-216,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>215.917,0</b>	<b>407.905,8</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>40,8% (40,8%)</b>	<b>77,0%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste
- 4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 35: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der massiven Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses. Es treten hohe, aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze zu exportierende, Leistungsüberschüsse auf, die in der Spitze etwa das Zehnfache der maximalen Bezugsleistung betragen (knapp 506 kW). Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung benötigten Bezugsleistung findet trotz der hohen PV-Leistung nur in relativ geringem Umfang statt (von 50kW auf 46,5 kW, bzw. 46,6 kW inklusive Wärmepumpenstrom; Tabelle 36).

Dadurch, dass die Jahresstromerzeugung der PV ein Vielfaches des lokalen Strombedarfs beträgt, bleiben die elektrischen Speicher in dieser Dimensionierung (der mittlere lokale Stromverbrauch eines Tages) ohne Einfluss auf die maximal in benachbarte Netzbereiche zu exportierende Leistung (minimale Last von etwa -506 kW). Auch die maximal von außen zu beziehende Leistung verringert sich nicht durch den Einsatz elektrischer Speicher, was daran liegt, dass deutlich größere Zeiträume überbrückt werden müssten, als die mit den hier verwendeten Kurzzeitspeichern möglich ist.

Insgesamt muss die zu exportierende Leistung hier kritisch betrachtet werden, da sie ein Vielfaches des maximalen Leistungsbezugs beträgt und so eine Kontrolle der Leistungsfähigkeit des heute verbauten Verteilernetzes anzuraten ist, um potenzielle Netzüberlastungen durch die PV-Erzeugung zu vermeiden.

Geschosswohnungsbau Niedrigenergie	Stromverbrauch SRT	nach PV- Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	50,3	46,5	46,6	46,6
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	5,2	-505,7	-505,7	-505,6

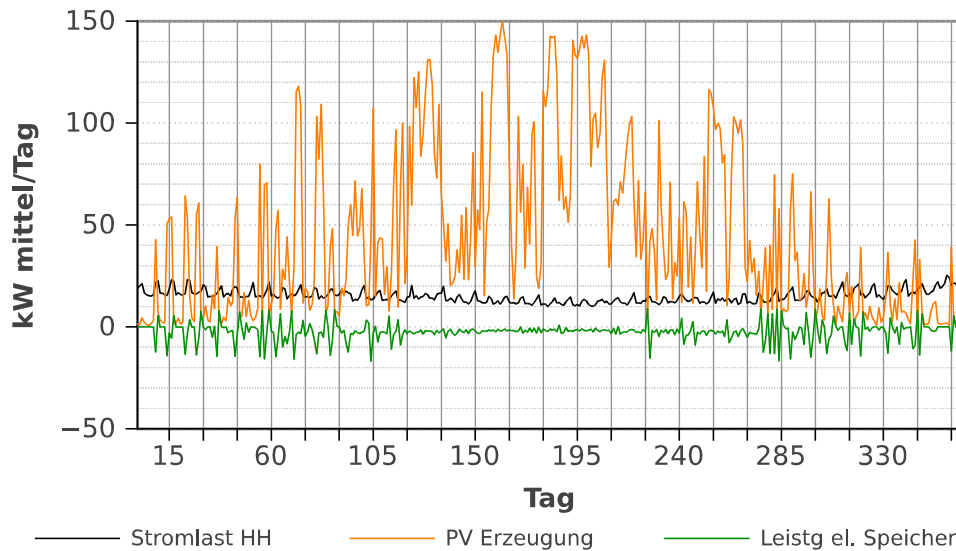
1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 36: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

### 10.12.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

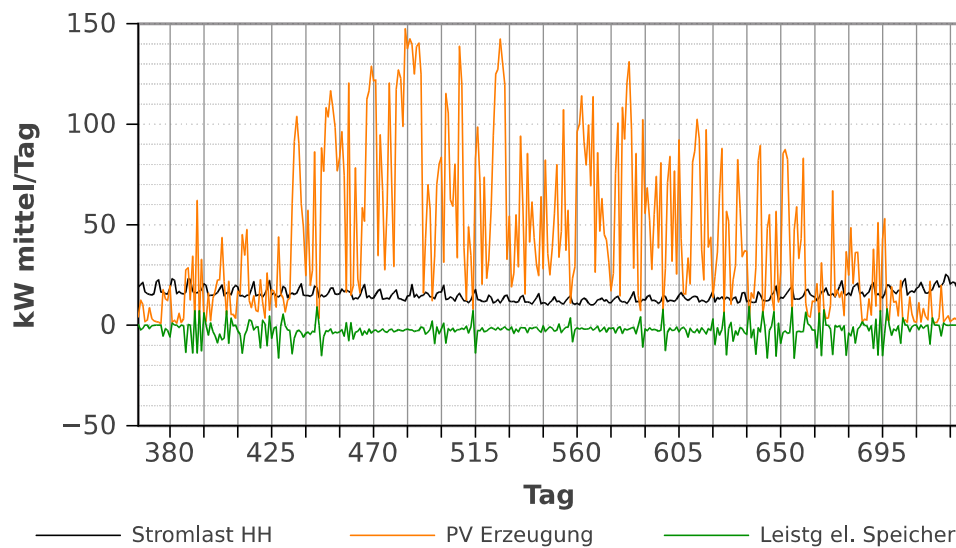
#### 10.12.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 67: SRT 12 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 68: SRT 12, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*

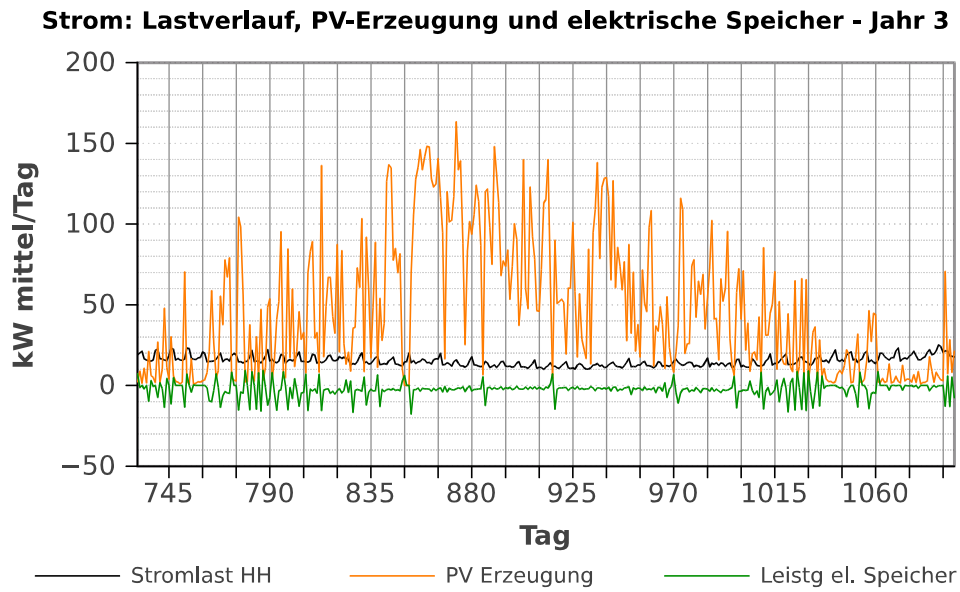


Abbildung 69: SRT 12, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

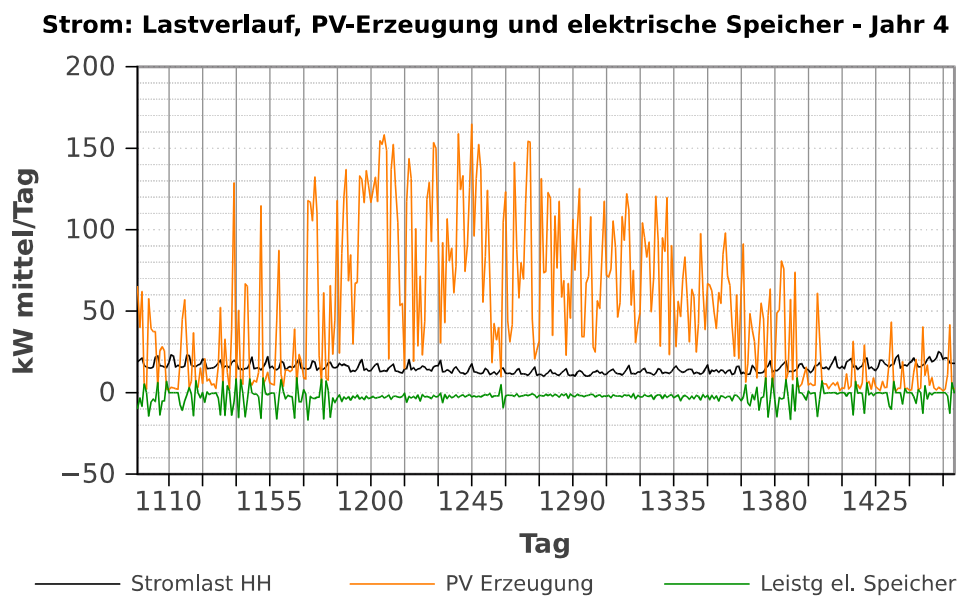


Abbildung 70: SRT 12, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.12.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

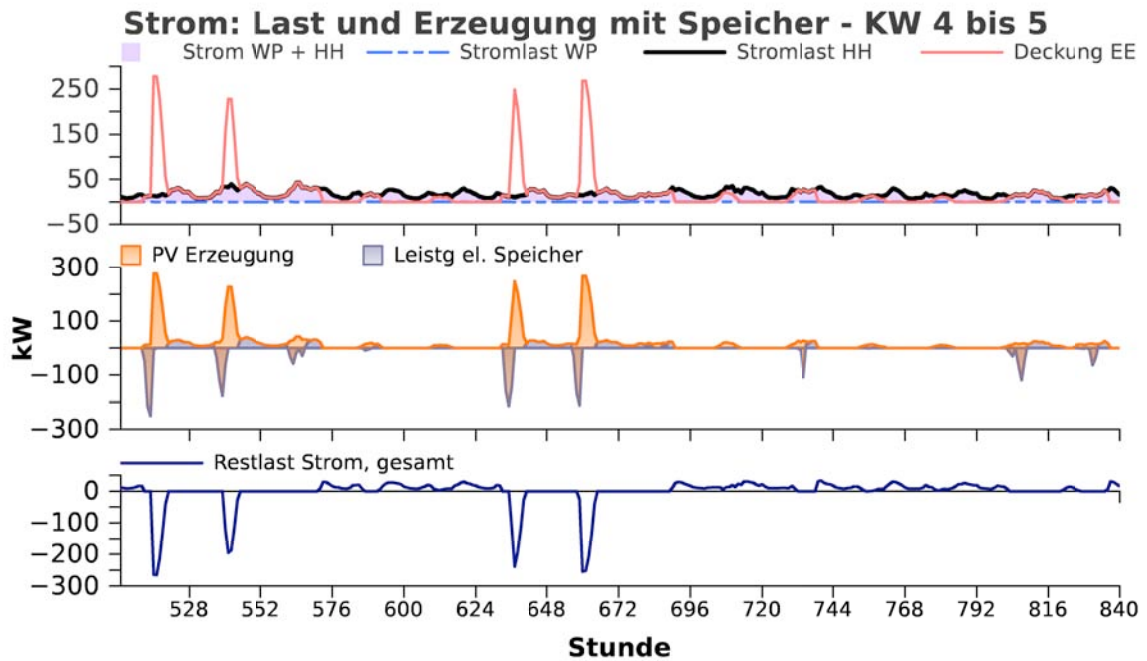


Abbildung 71: SRT 12, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

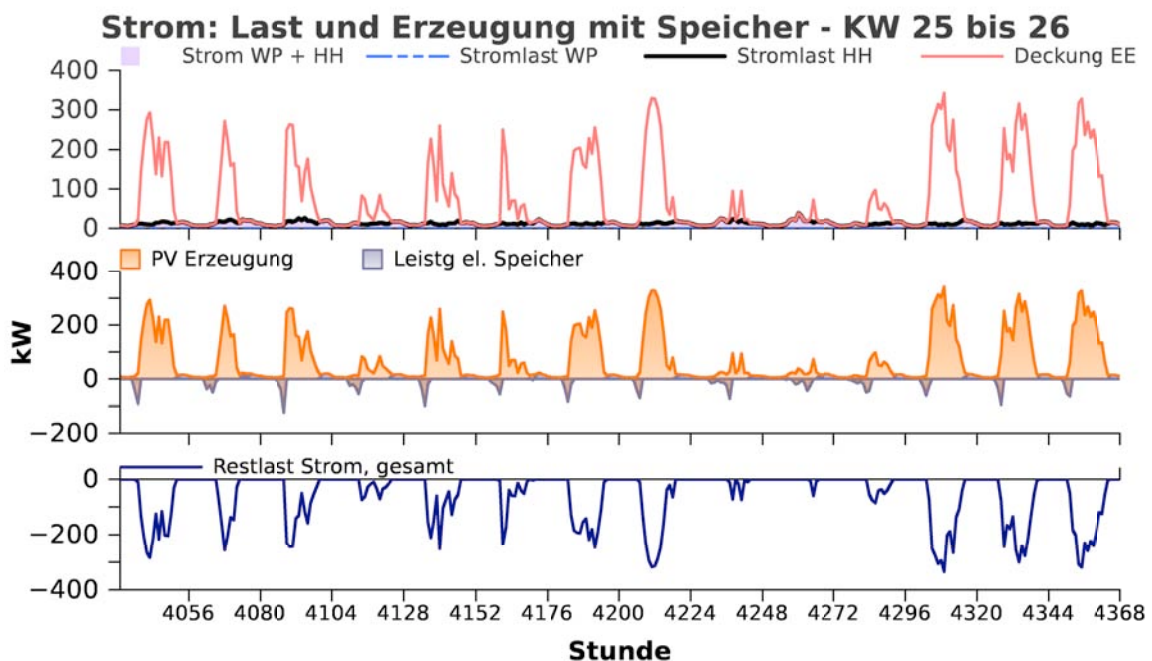


Abbildung 72: SRT 12, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 10.13 Stadtraumtyp VIIIc+ (SRT VIIIc+): Geschosswohnungsbau Passivhausstandard

### 10.13.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können knapp 22% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Da Wärmepumpen nur in geringem Umfang zur Wärmedeckung genutzt werden, bleibt der Anteil der PV auch unter Berücksichtigung des Wärmepumpenstroms praktisch unverändert. Der Strombedarf der Wärmepumpen liegt bei lediglich 0,5% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	35.808.301,1	7.796.051,9	28.012.249,1	183.805,1	28.196.054,2
Anteile in %	100,0%	21,8%	78,2%	0,5%	78,3%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>21,8%</b>		<b>21,7%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 37: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann, erwartungsgemäß einen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier einen Anteil von gut 18%. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei einem Wert von etwa 3,5% des Gesamtstromverbrauchs.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf 20,6 % angehoben werden. Vorher in geringem Umfang notwendige Stromexporte aus dem Stadtraumtyp werden durch die elektrischen Speicher vollständig vermieden.

Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	35.808.301,1	7.796.051,9	28.012.249,1	-394.122,1
Anteile in %	100,0%	21,8%	78,2%	-1,1%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>35.808.301,1</b>		<b>29.325.194,9</b>	<b>28.590.176,4</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	<b>100,0%</b>		<b>81,9% (82,0%)</b>	<b>79,4%</b>
Überschüsse			-1.312.945,8	0,0
Anteile in % <sup>4)</sup>			-3,7% (-3,6%)	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>6.483.106,2</b>	<b>7.401.929,8</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>18,1% (18,0%)</b>	<b>20,6%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 38: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 1.543 kW, was weniger als der Hälfte der maximalen Bezugslast entspricht (3.402 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (3.370 kW), der teils durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder kompensiert wird (3.382 kW Spitzenlast inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 39).

Durch die elektrischen Speicher kann zeitweise eine ausgeglichene Bilanz zwischen SRT-interner Stromerzeugung und dem Stromverbrauch erreicht werden. Das auftretende Lastminimum geht auf Null zurück, d.h. alle vorher (ohne Speicher) auftretenden Erzeugungsüberschüsse können von den elektrischen Speicher aufgenommen und zur späteren Lastdeckung bereitgestellt werden. Ein Stromexport in benachbarte Netzbereiche ist hier nicht mehr notwendig.

Auch ohne Speicher war der notwendige Leistungsexport deutlich geringer als der maximale Leistungsbezug aus dem Versorgungsnetz, sodass auch ohne elektrische Speicher keine Probleme hinsichtlich eventueller Netzüberbelastungen vorlagen. Die Sinnhaftigkeit der Verwendung elektrischer Speicher entscheidet sich in diesem Fall demnach anhand des Zugewinns im Deckungsbeitrag sowohl im Hinblick auf die Versorgungssituation vor Ort, als auch im Gesamtkontext der Versorgung von Wilhelmsburg.

Geschosswohnungsbau Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
<b>maximale Last</b>	3.402,1	3.369,8	3.381,8	3.381,8
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	351,4	-1.542,9	-1.542,9	0,0

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 39: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.



### 10.13.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

#### 10.13.2.1 Strom

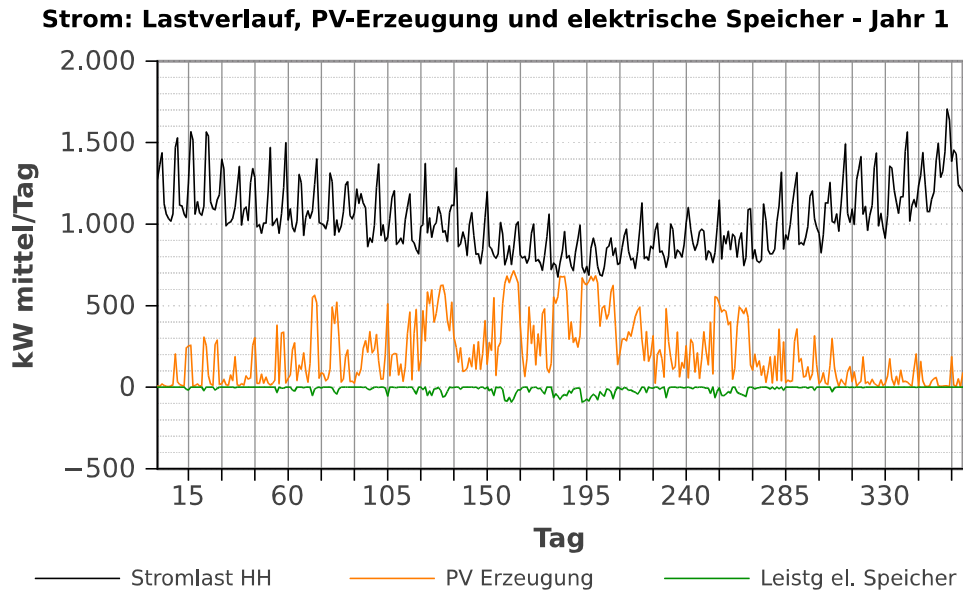


Abbildung 73: SRT 13 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

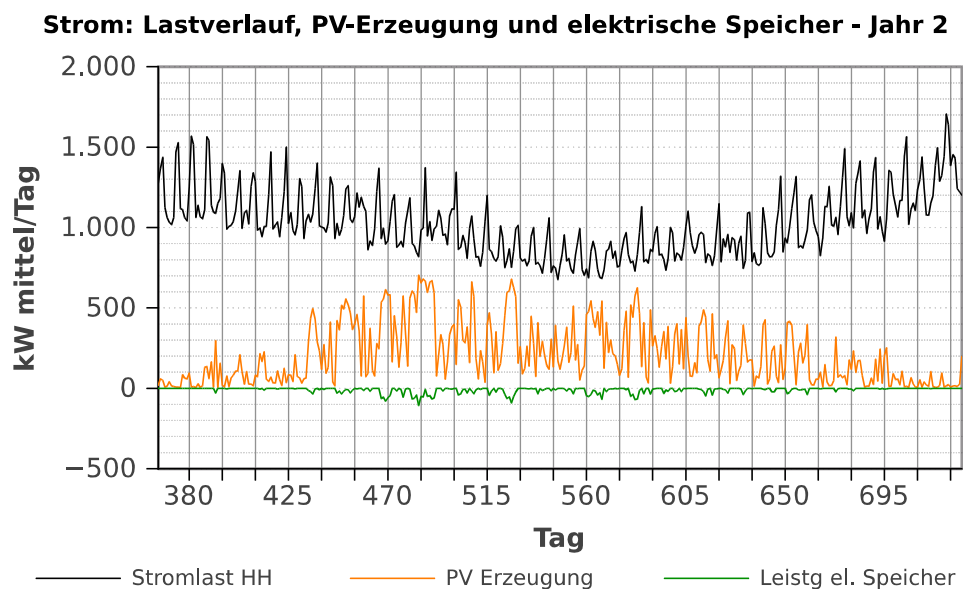


Abbildung 74: SRT 13, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

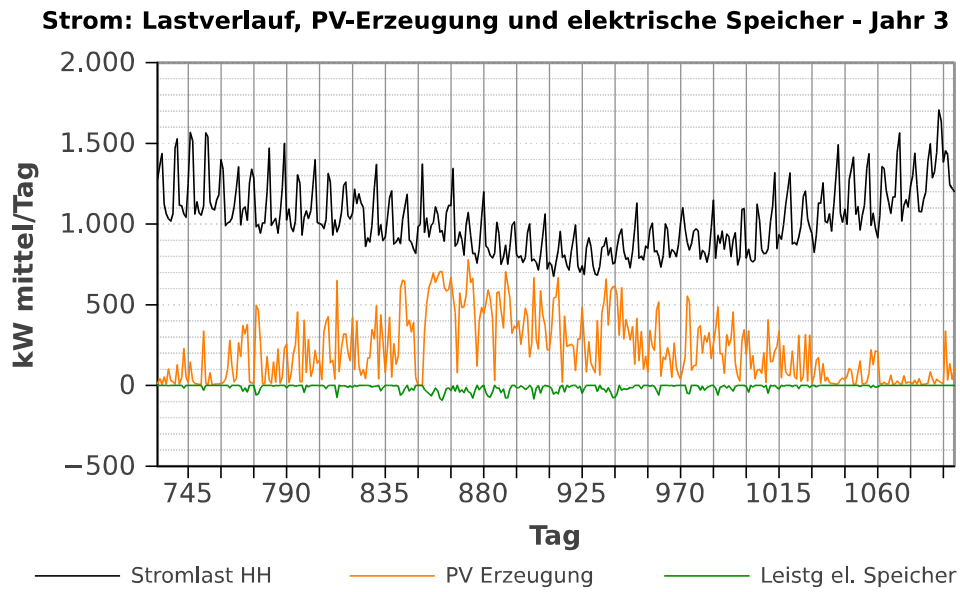


Abbildung 75: SRT 13, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

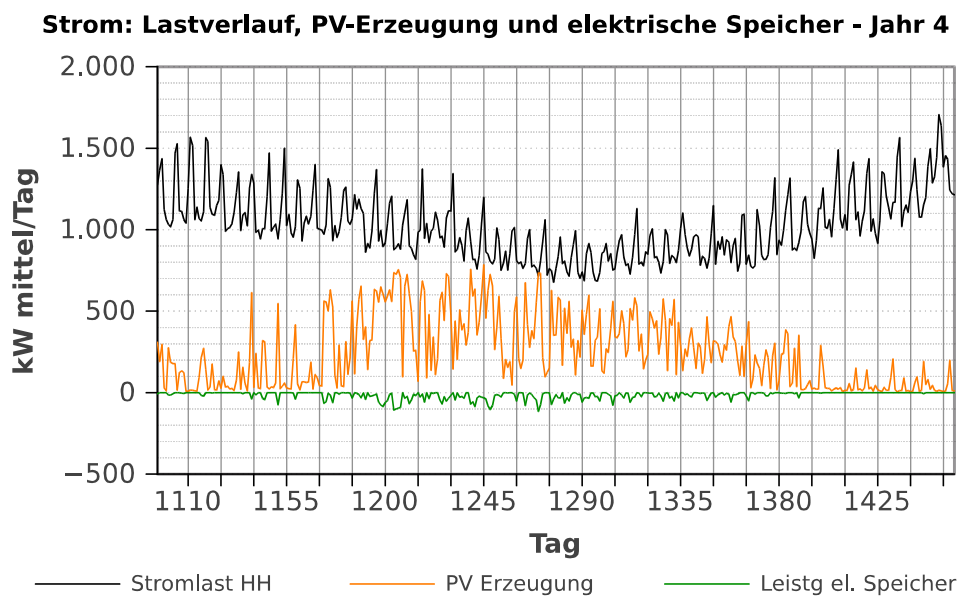


Abbildung 76: SRT 13, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.13.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

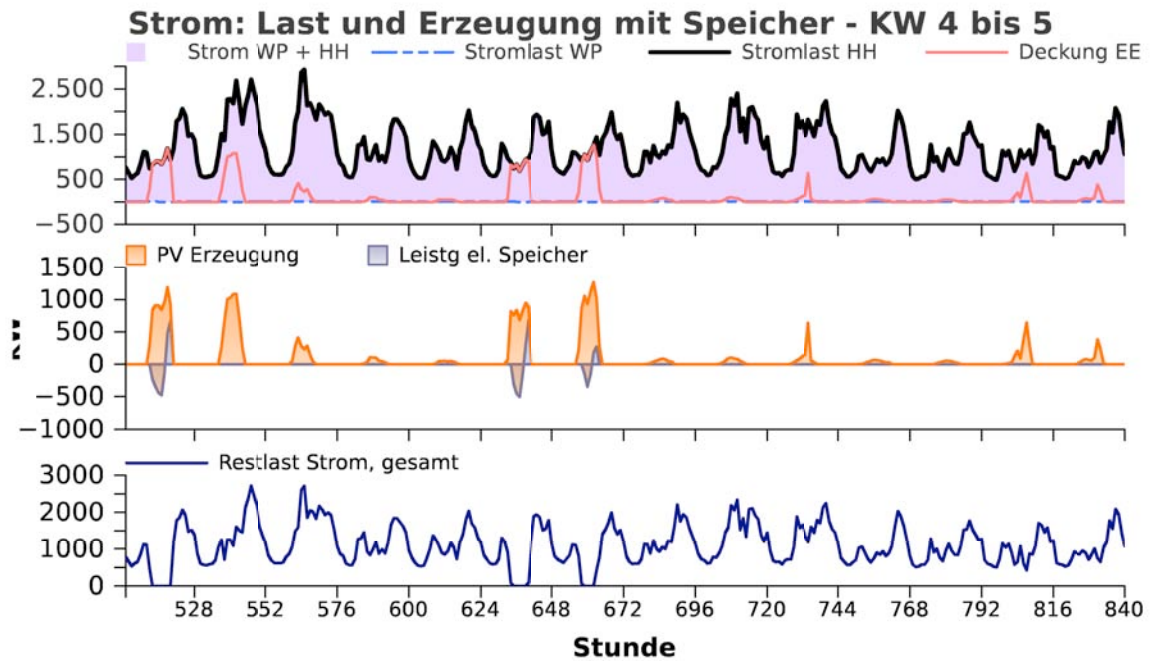


Abbildung 77: SRT 13, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

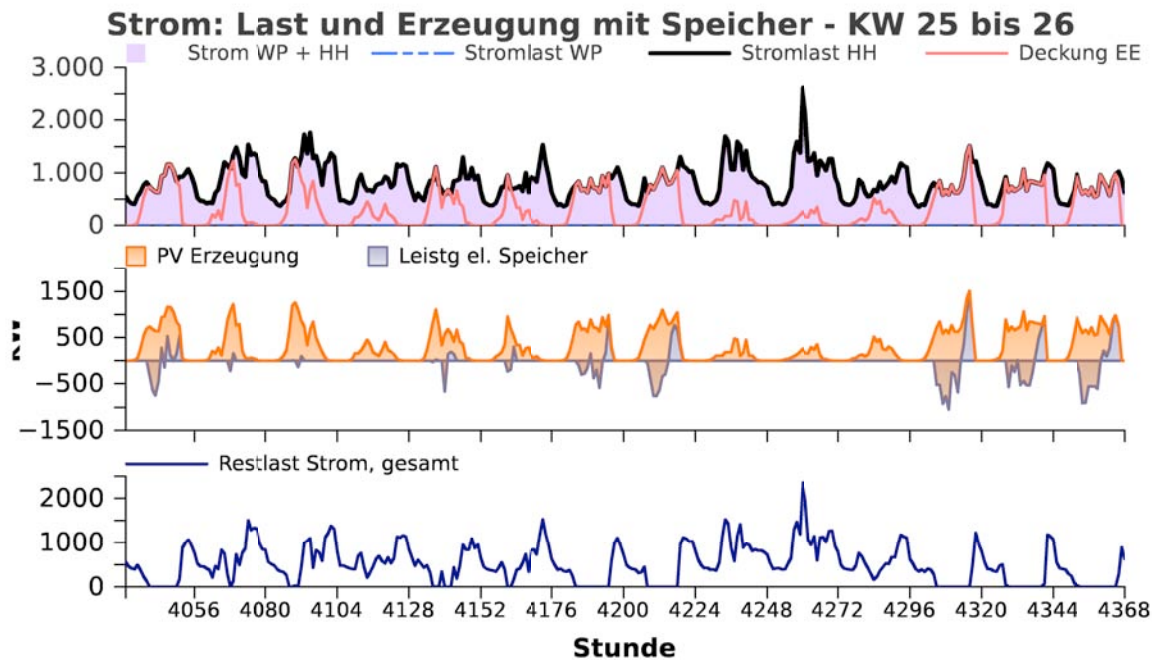


Abbildung 78: SRT 13, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 10.14 Stadtraumtyp IXa (SRT IXa): Einfamilienhäuser < 1950

### 10.14.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 25% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Berücksichtigt man zusätzlich den Stromverbrauch der zur Wärmebereitstellung genutzten Wärmepumpen, so reduziert der durch die PV gedeckte Anteil des Stromverbrauchs nur unmerklich.

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen verursachte Stromverbrauch beträgt ca. lediglich 0,5% des Stromverbrauchs der Haushalte für die allgemeine Elektrizitätsversorgung.

Einfamilienhäuser > 1950	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	29.959.247,9	7.549.920,2	22.409.327,7	137.472,1	22.546.799,8
Anteile in %	100,0%	25,2%	74,8%	0,5%	74,9%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>25,2%</b>		<b>25,1%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 40: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Geht man über die statische Betrachtung der verbrauchten und erzeugten Strommengen hinaus und beachtet auch den dynamischen Verlauf der Stromversorgung, mit verbleibenden Erzeugungsdefiziten und nicht lokal nutzbaren Erzeugungüberschüssen, reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Strombedarfs auf 19,6% des Bedarf der Haushalte, bzw. auf 19,5%, wenn zusätzlich der Strombedarf der Wärmepumpen berücksichtigt wird. Trotz der vergleichsweise geringen Beitrags der PV zur Deckung des Strombedarfs treten Leistungsüberschüsse auf, die in benachbarte Netze abgesetzt werden müssen. Von ihrem Umfang her liegen die zu exportierenden Überschüsse bei 5,6% des Strombedarfs.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf über 23% angehoben werden (Anstieg um 3,9%). Vorher in geringem Umfang auftretende Stromüberschüsse im Stadtraumtyp werden durch die elektrischen Speicher vollständig vermieden.

Aufgrund der auftretenden Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses, d.h. elektrische Leistung muss aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei 1.610 kW, was mehr als der Hälfte der maximal auftretenden Last entspricht. Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung zu beziehenden Leistung findet nicht in nennenswertem Umfang statt (von 2.846 kW auf 2.815 kW, Tabelle 42). Dieser Lastrückgang wird durch den zusätzlichen Strombedarf

der Wärmepumpen teils wieder kompensiert (2.824 kW Lastspitze inkl. Wärmepumpenstrom).

<b>Einfamilienhäuser &gt; 1950</b>	<b>Stromverbrauch SRT</b>	<b>PV-Erzeugung</b>	<b>Mengenbilanz Stromverb. - PV<sup>1)</sup></b>	<b>Beitrag Stromspeicher<sup>2)3)</sup></b>
<b>Alle 4 Jahre</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>
<b>Energiemenge</b>	29.959.247,9	7.549.920,2	22.409.327,7	-501.693,4
<b>Anteile in %</b>	100,0%	25,2%	74,8%	-1,7%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>29.959.247,9</b>		<b>24.080.397,9</b>	<b>23.048.493,2</b>
<b>Anteile in %<sup>4)</sup></b>	<b>100,0%</b>		<b>80,4% (80,5%)</b>	<b>76,6%</b>
<b>Überschüsse</b>			-1.671.070,3	0,0
<b>Anteile in %<sup>4)</sup></b>			-5,6% (-5,6%)	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>5.878.850,0</b>	<b>7.048.226,9</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>19,6% (19,5%)</b>	<b>23,4%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste
- 4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 41: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

<b>Einfamilienhäuser &gt; 1950</b>	<b>Stromverbrauch SRT</b>	<b>nach PV-Erzeugung</b>	<b>nach Wärmepumpen</b>	<b>nach Stromspeicher</b>
<b>Jahr 1</b>	<b>[kW]</b>	<b>[kW]</b>	<b>[kW]</b>	<b>[kW]</b>
<b>maximale Last</b>	2.846,4	2.815,1	2.824,1	2.824,1
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	294,0	-1.610,4	-1.610,4	0,0

- 1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 42: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

Durch die elektrischen Speicher kann zeitweise eine ausgeglichene Bilanz zwischen SRT-interner Stromerzeugung und dem Stromverbrauch erreicht werden. Das auftretende Lastminimum geht auf Null zurück, d.h. alle vorher (ohne Speicher) auftretenden Erzeugungüberschüsse können von den elektrischen Speichern aufgenommen und zur späteren Lastdeckung bereitgestellt werden. Ein Stromexport in benachbarte Netzbereiche ist hier nicht mehr notwendig. Auch ohne Speicher lagen die zu exportierenden Leistungen deutlich unter dem Wert der maximal zur Versorgung aus dem öffentlichen Netz zu beziehenden Leistung. Von daher sind, ob mit oder ohne Speicher, keine Anhaltspunkte für eine mögliche Überbelastung des Netzes durch die photovoltaische Stromerzeugung gegeben. Wie schon zuvor oft beobachtet, können die Kurzfristspeicher auch hier keine weitere Reduktion der maximalen Bezugsleistung bewirken.

Der durch die Nutzung elektrischer Speicher zu rechtfertigenden Aufwand entscheidet sich auch hier anhand des Zugewinns im Deckungsbeitrag; sowohl im Hinblick auf die Versorgungssituation vor Ort, als auch im Gesamtkontext der Versorgung von Wilhelmsburg.

### 10.14.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

#### 10.14.2.1 Strom

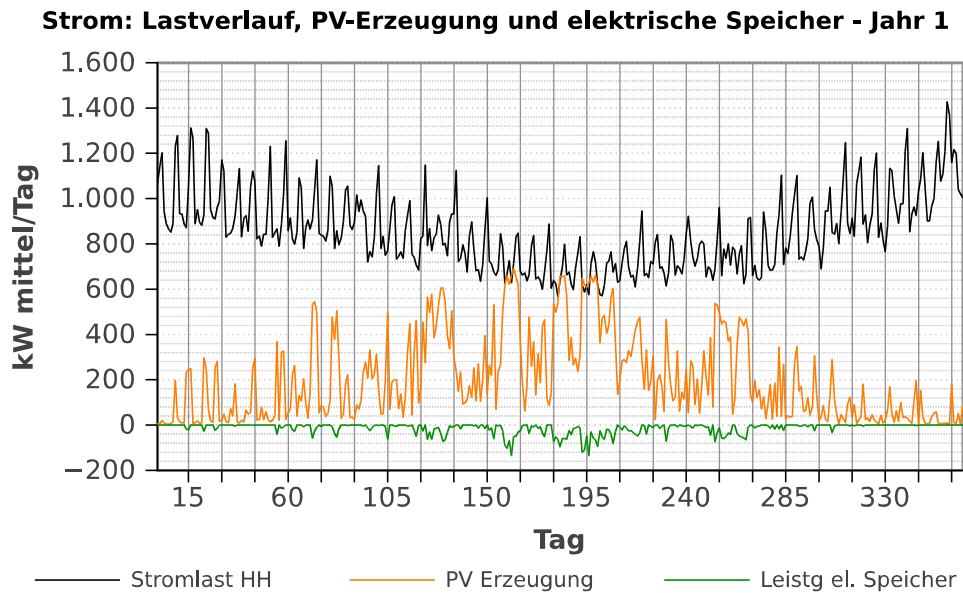


Abbildung 79: SRT 14 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

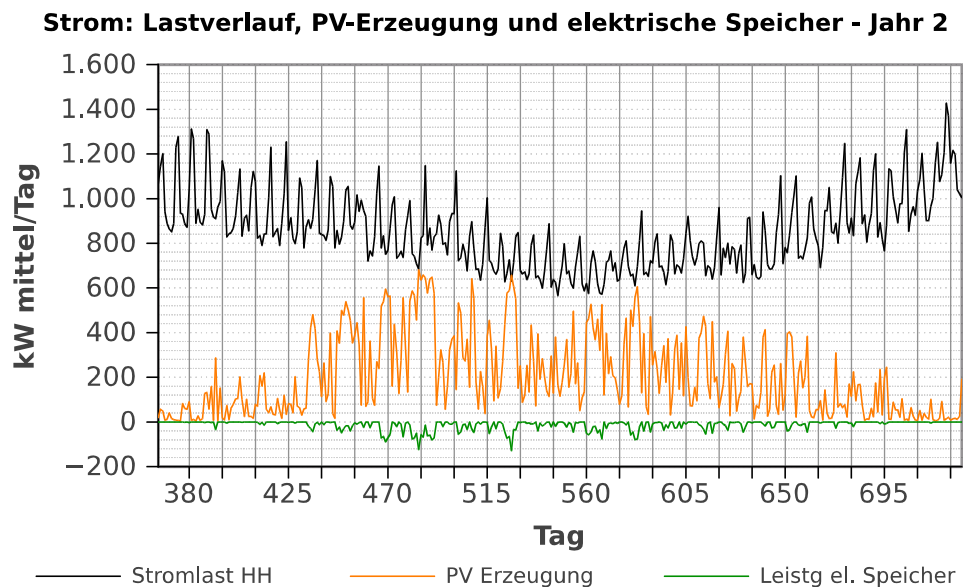


Abbildung 80: SRT 14, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

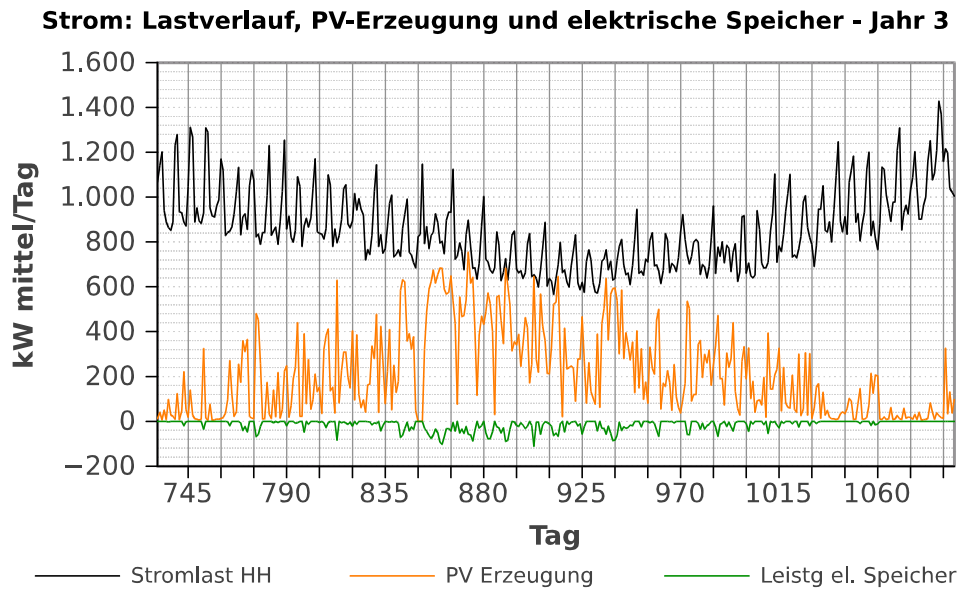


Abbildung 81: SRT 14, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

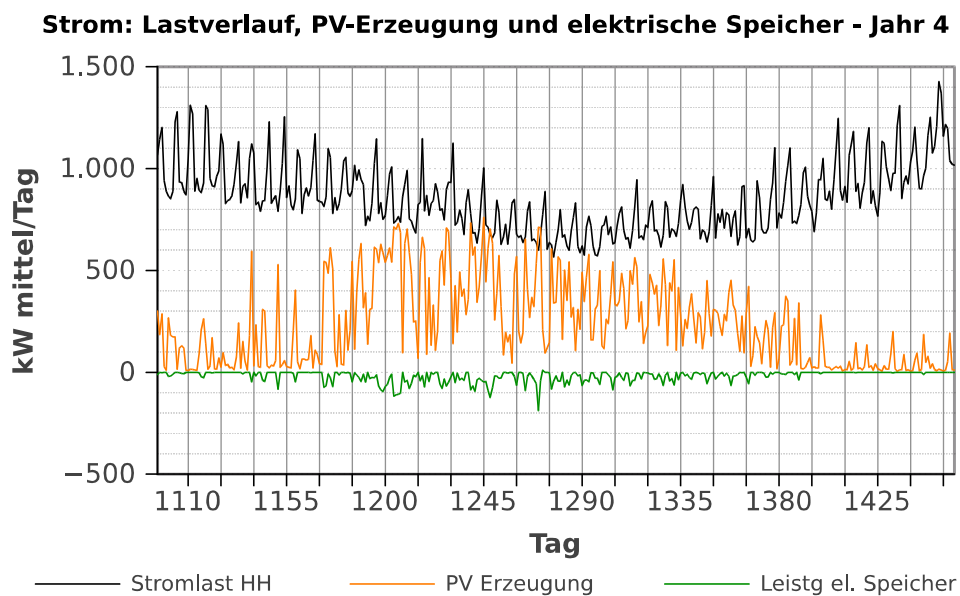


Abbildung 82: SRT 14, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.14.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

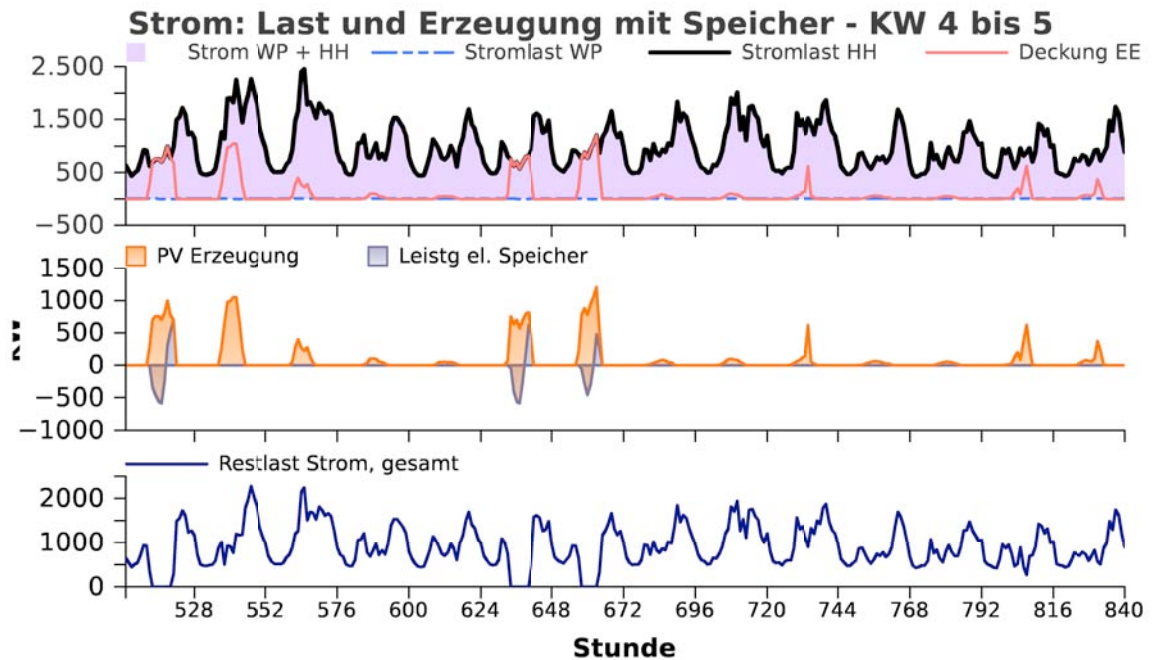


Abbildung 83: SRT 14, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

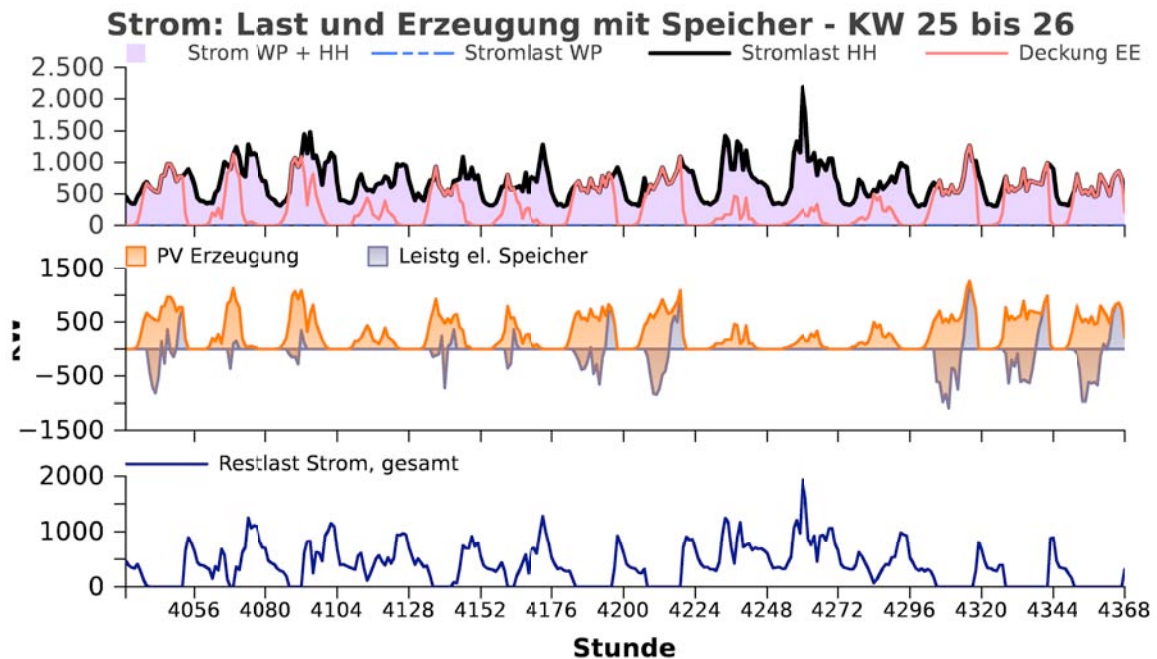


Abbildung 84: SRT 14, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.



**10.15 Stadtraumtyp IXb (SRT IXb): Einfamilienhäuser Niedrigenergie**

**10.15.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg ermöglicht der recht hohe Installationsumfang der Photovoltaik eine Stromerzeugung, die mehr als die Hälfte des Strombedarfs der Haushalte beträgt (knapp 59%). Durch den Mehrverbrauch aus dem Betrieb der Wärmepumpen fällt der Anteil der PV auf gut 52% des Gesamtstrombedarfs ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen verursacht einen Mehrverbrauch von knapp 13%, bemessen am Haushaltsstromverbrauch.

<b>Einfamilienhäuser Niedrigenergie</b>	<b>Stromverbrauch SRT</b>	<b>PV-Erzeugung</b>	<b>Mengenbilanz Stromverb. - PV1)</b>	<b>Stromverbrauch Wärmepumpen</b>	<b>Mengenbilanz nach Wärmepumpen</b>
<b>Alle 4 Jahre</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>
Energiemenge	1.055.973,5	620.869,5	435.104,0	134.206,8	569.310,8
Anteile in %	100,0%	58,8%	41,2%	12,7%	47,8%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>58,8%</b>		<b>52,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungsüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 43: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann, einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier nur noch einen Deckungsbeitrag von gut 27%, bzw. 24,5%, wenn auch der Wärmepumpenstrom berücksichtigt wird. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungsüberschüsse liegen bei Werten zwischen knapp 28% und gut 34% des Strombedarfs, je nachdem, ob der Anteil am reinen Haushaltsstromverbrauch oder dem Gesamtverbrauch inklusive Wärmepumpenstrom bemessen wird.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf 41% angehoben werden, was einer Steigerung um beinahe 14% entspricht. Der Anteil vor Ort nicht nutzbarer Überschüsse fällt von vormals gut 31% auf nun lediglich 4,1% ab.

<b>Einfamilienhäuser Niedrigenergie</b>	<b>Stromverbrauch SRT</b>	<b>PV-Erzeugung</b>	<b>Mengenbilanz Stromverb. - PV<sup>1)</sup></b>	<b>Beitrag Stromspeicher<sup>2)3)</sup></b>
<b>Alle 4 Jahre</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>
<b>Energiemenge</b>	1.055.973,5	620.869,5	435.104,0	-84.415,8
<b>Anteile in %</b>	100,0%	58,8%	41,2%	-7,1%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>1.055.973,5</b>		<b>766.208,6</b>	<b>702.075,5</b>
<b>Anteile in %<sup>4)</sup></b>	<b>100,0%</b>		<b>72,6% (75,5%)</b>	<b>59,0%</b>
<b>Überschüsse</b>			-331.104,6	-48.348,9
<b>Anteile in %<sup>4)</sup></b>			-31,4% (-27,6%)	-4,1%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>289.764,9</b>	<b>488.104,8</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>27,4% (24,5%)</b>	<b>41,0%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste
- 4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 44: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungüberschüsse muss elektrische Leistung in beträchtlicher Höhe aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 167 kW und liegt damit über dem Eineinhalbfachen des Werts der maximalen Bezugslast der Haushalte (100 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (97,8 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder deutlich erhöht wird und letztendlich höher liegt als der ursprüngliche Wert (106,6 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 45).

Durch die elektrischen Speicher kann zeitweise eine ausgeglichene Bilanz zwischen SRT-interner Stromerzeugung und dem Stromverbrauch erreicht werden. Das auftretende Lastminimum geht auf -134 kW zurück (gut 167 kW ohne Speicher), dennoch ist die maximal zu exportierende Leistung damit noch höher als der maximale Lastbezug (knapp 107 kW mit und ohne Speicher) aus dem Verteilernetz. Eine konkrete Aussage über potentielle Überbelastungen des vorhandenen Netzes durch die PV-Stromerzeugung kann nur anhand der heute vorhandenen Dimensionierung des Verteilernetzes getroffen werden.

<b>Einfamilienhäuser Niedrigenergie</b>	<b>Stromverbrauch SRT</b>	<b>nach PV-Erzeugung</b>	<b>nach Wärmepumpen</b>	<b>nach Stromspeicher</b>
<b>Jahr 1</b>	<b>[kW]</b>	<b>[kW]</b>	<b>[kW]</b>	<b>[kW]</b>
<b>maximale Last</b>	100,3	97,8	106,6	106,6
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	10,4	-167,1	-167,1	-134,0

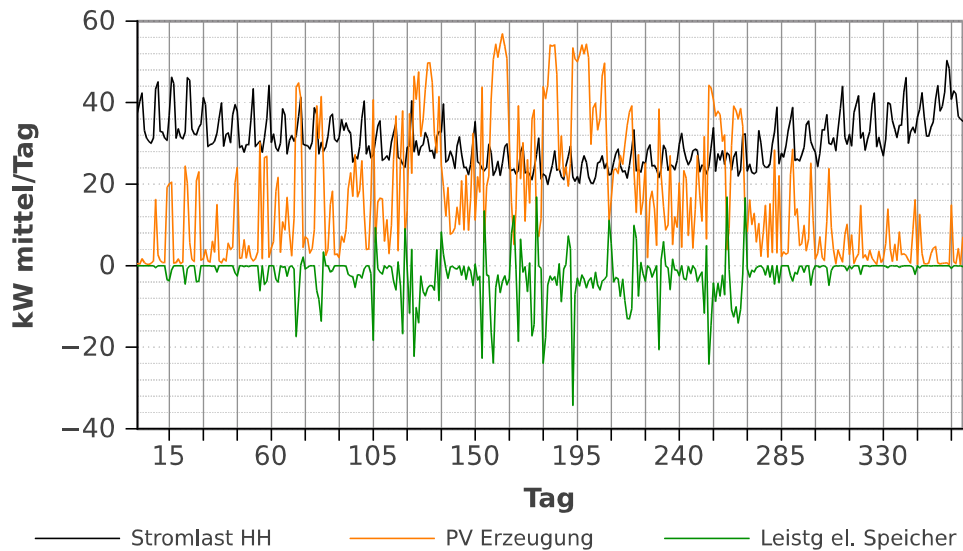
- 1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 45: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

### 10.15.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

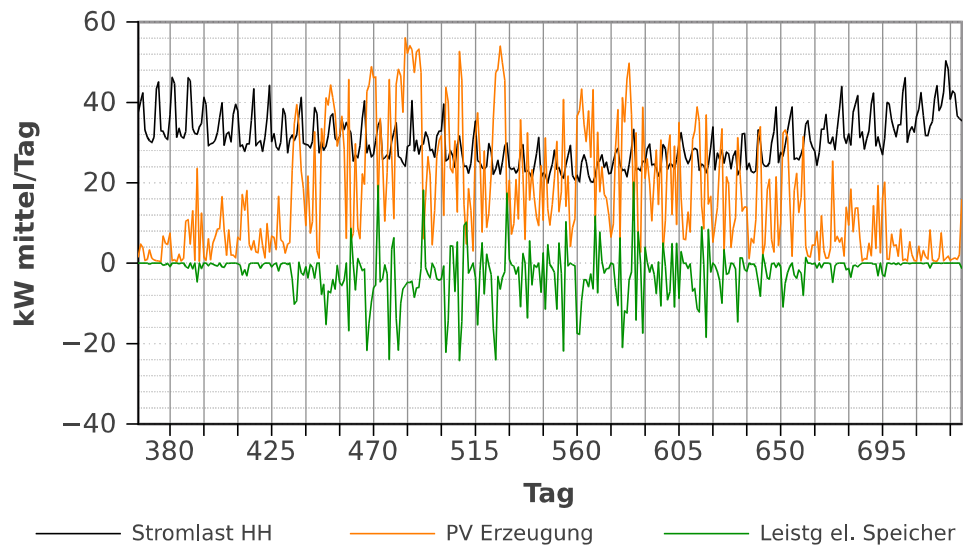
#### 10.15.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 85: SRT 15 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 86: SRT 15, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*

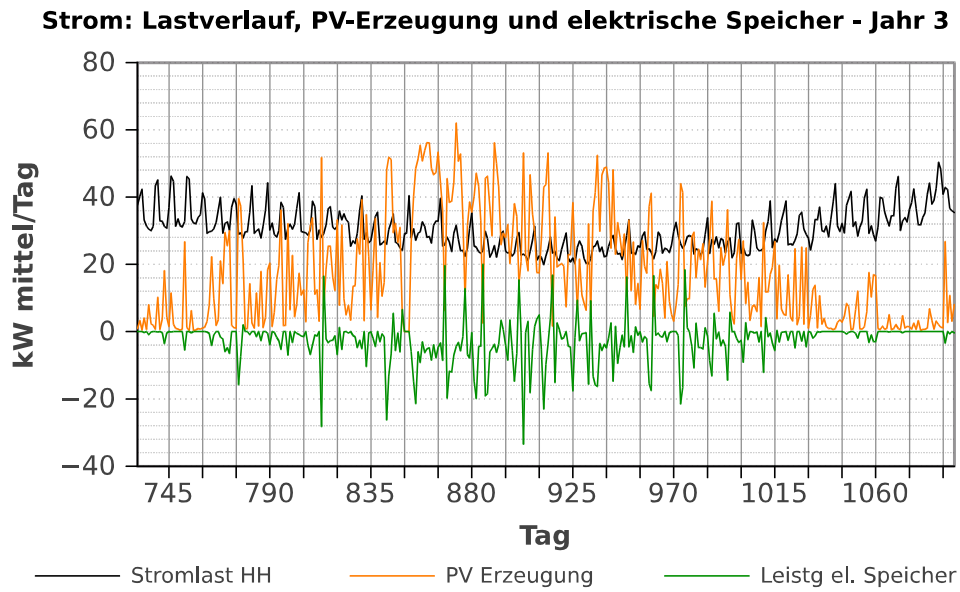


Abbildung 87: SRT 15, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

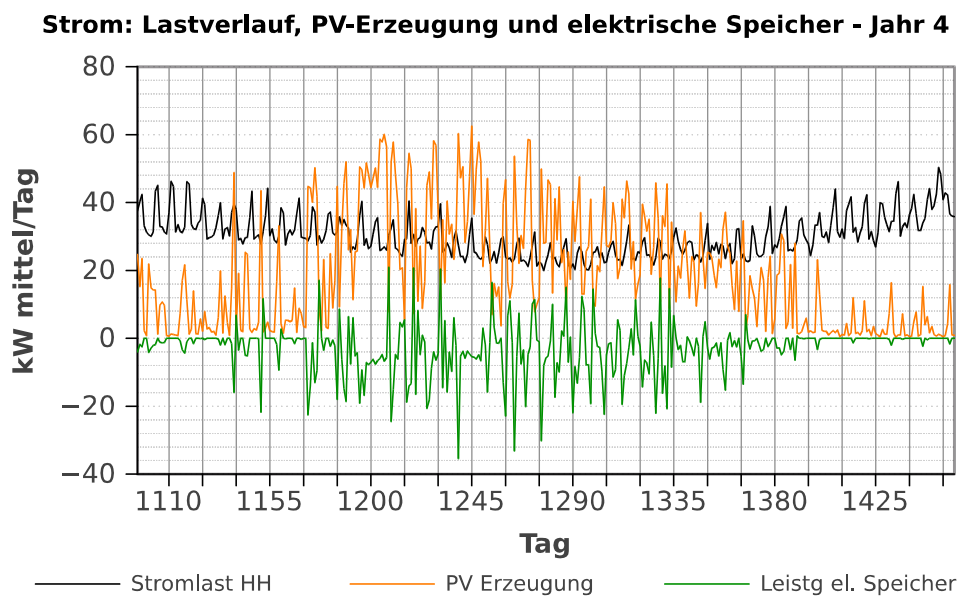


Abbildung 88: SRT 15, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.15.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

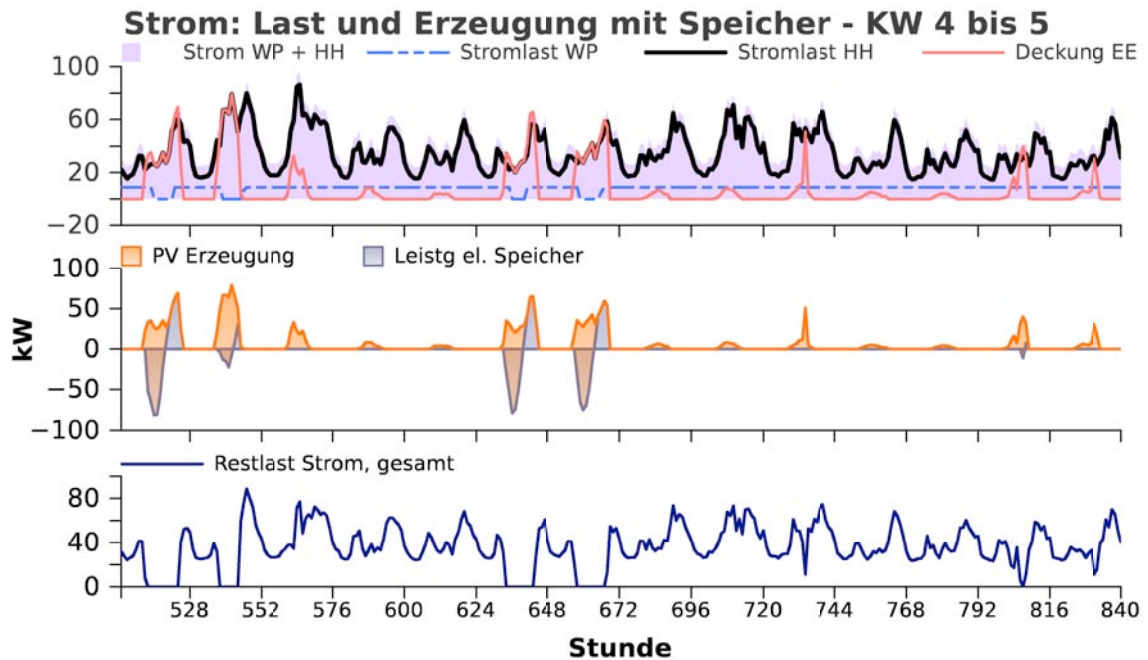


Abbildung 89: SRT 15, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

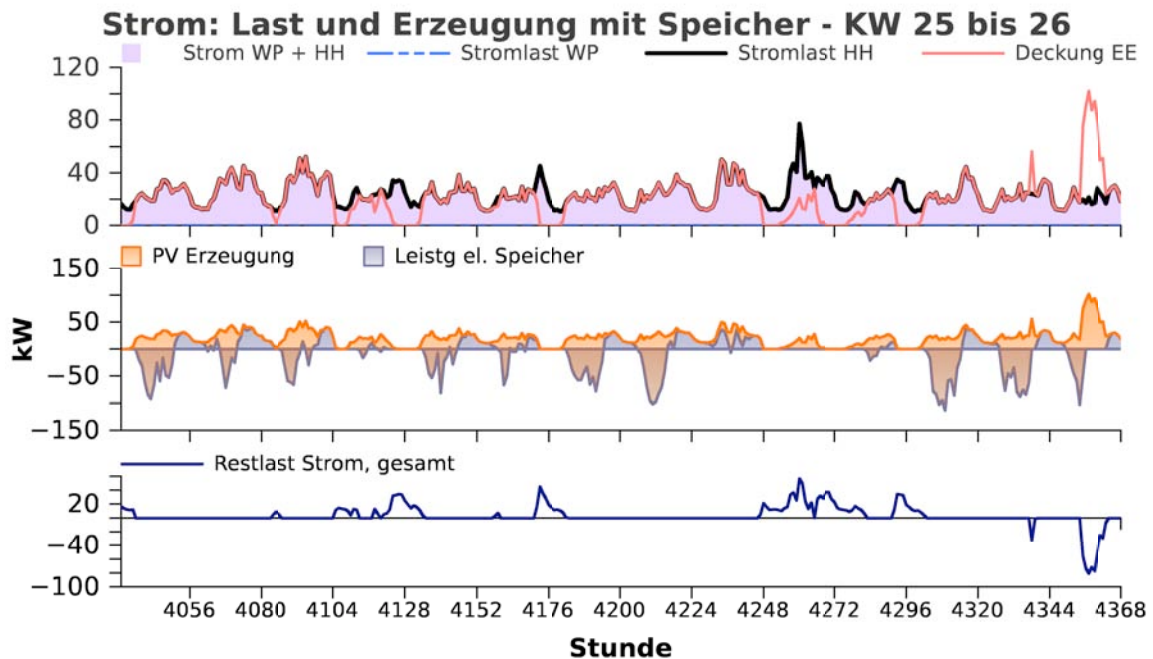


Abbildung 90: SRT 15, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**10.16 Stadtraumtyp IXb+ (SRT IXb+): Einfamilienhäuser Passivhausstandard**

**10.16.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg ermöglicht der recht hohe Installationsumfang der Photovoltaik eine Stromerzeugung, die knapp die Hälfte des Strombedarfs der Haushalte beträgt (46,9%). Durch den Mehrverbrauch aus dem Betrieb der Wärmepumpen fällt der Anteil der PV geringfügig auf 46,2% des Gesamtstrombedarfs ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen verursacht einen Mehrverbrauch von 1,5%, bemessen am Haushaltsstromverbrauch.

Einfamilienhäuser Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	9.191.769,2	4.311.163,9	4.880.605,4	142.092,3	5.022.697,7
Anteile in %	100,0%	46,9%	53,1%	1,5%	53,8%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>46,9%</b>		<b>46,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungsüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 46: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann, einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushaltsstromverbrauch erreicht die PV hier nur noch einen Deckungsbeitrag von 25,5%, bzw. 25,1%, wenn auch der Wärmepumpenstrom berücksichtigt wird. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungsüberschüsse liegen bei Werten um 21% des Strombedarfs.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf gut 39% angehoben werden, was einer Steigerung um 14% entspricht. Der Anteil vor Ort nicht nutzbarer Überschüsse fällt von vormals gut 21% auf nun lediglich 1,1% ab, d.h. fast die gesamte Stromerzeugung der PV kann vor Ort zur Lastdeckung verwendet werden.

<b>Einfamilienhäuser Passivhausstandard</b>	<b>Stromverbrauch SRT</b>	<b>PV-Erzeugung</b>	<b>Mengenbilanz Stromverb. - PV<sup>1)</sup></b>	<b>Beitrag Stromspeicher<sup>2)3)</sup></b>
<b>Alle 4 Jahre</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>	<b>[kWh]</b>
<b>Energiemenge</b>	9.191.769,2	4.311.163,9	4.880.605,4	-562.109,0
<b>Anteile in %</b>	100,0%	46,9%	53,1%	-6,0%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>9.191.769,2</b>		<b>6.850.438,3</b>	<b>5.683.881,9</b>
<b>Anteile in %<sup>4)</sup></b>	<b>100,0%</b>		<b>74,5% (74,9%)</b>	<b>60,9%</b>
<b>Überschüsse</b>			-1.969.832,9	-99.075,3
<b>Anteile in %<sup>4)</sup></b>			-21,4% (-21,1%)	-1,1%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>2.341.331,0</b>	<b>3.649.979,6</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>25,5% (25,1%)</b>	<b>39,1%</b>

- 1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit
- 2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)
- 3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste
- 4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 47: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungüberschüsse muss elektrische Leistung in beträchtlicher Höhe aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 1.114 kW und liegt damit um mehr als ein Viertel über dem Wert der maximalen Bezugslast der Haushalte (873 kW). Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (855 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder erhöht wird, aber unterhalb des ursprünglichen Werts verbleibt (865 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 48).

Während die maximal aus dem Versorgungsnetz zu beziehende Leistung durch den Einsatz elektrischer Speicher nicht abgesenkt werden kann (knapp 865 kW mit und ohne Speicher), kann die maximal zu exportierende Leistung deutlich, von 1.114 kW (ohne Speicher) auf 849 kW (mit Speicher) abgesenkt werden. Damit bewegt sich der Leistungsexport in etwa auf dem selben Niveau, wie der maximale Leistungsbezug, so dass keine Probleme bezüglich der vorhandenen Leistungsfähigkeit des vorhandenen Verteilernetzes zu erwarten sind.

<b>Einfamilienhäuser Passivhausstandard</b>	<b>Stromverbrauch SRT</b>	<b>nach PV-Erzeugung</b>	<b>nach Wärmepumpen</b>	<b>nach Stromspeicher</b>
<b>Jahr 1</b>	<b>[kW]</b>	<b>[kW]</b>	<b>[kW]</b>	<b>[kW]</b>
<b>maximale Last</b>	873,3	855,4	864,7	864,7
<b>minimale Last<sup>1)</sup></b>	90,2	-1.114,4	-1.114,4	-849,0

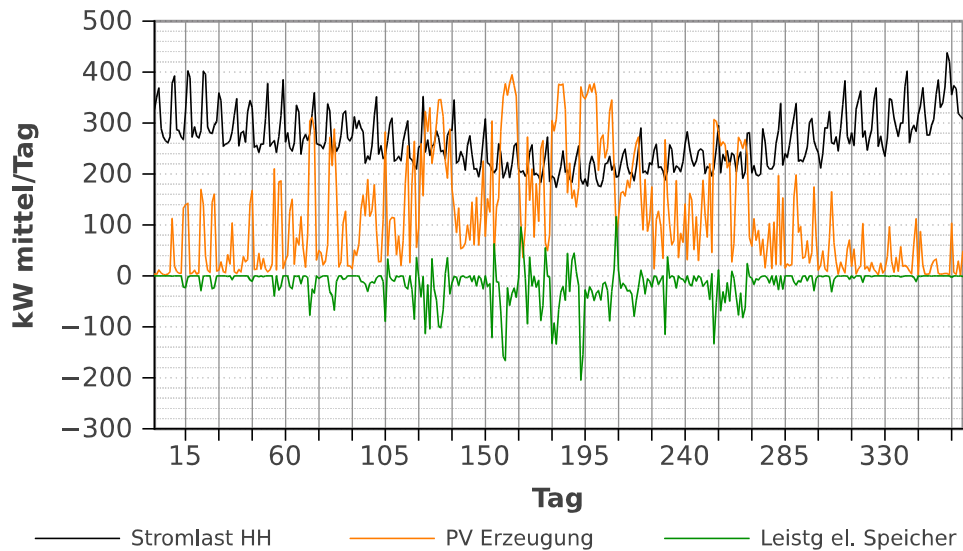
- 1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 48: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

**10.16.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung**

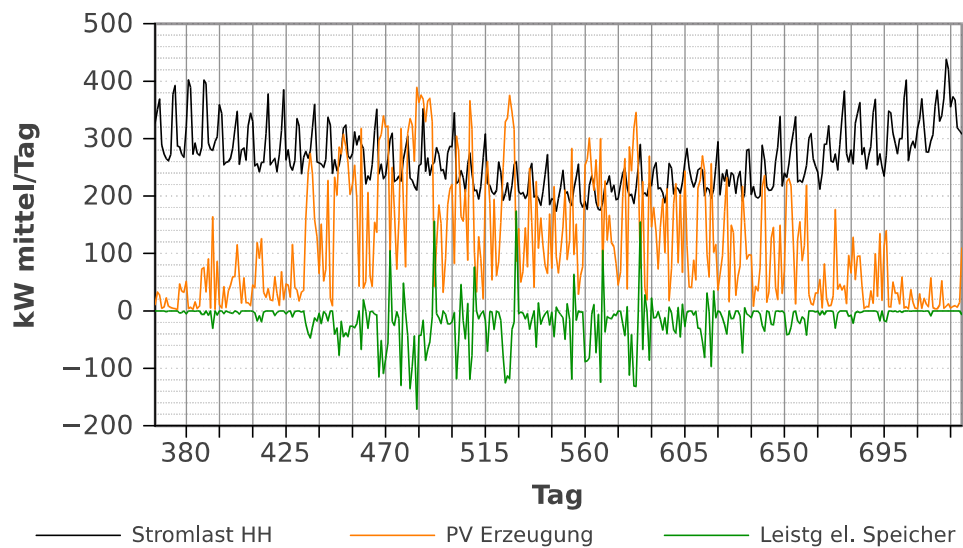
**10.16.2.1 Strom**

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 91: SRT 16 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 92: SRT 16, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*



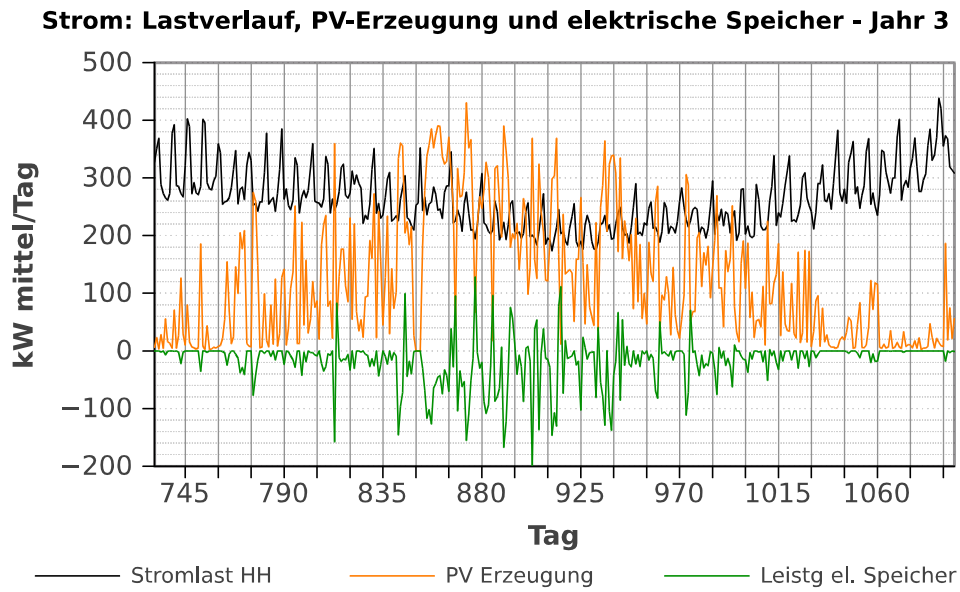


Abbildung 93: SRT 16, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

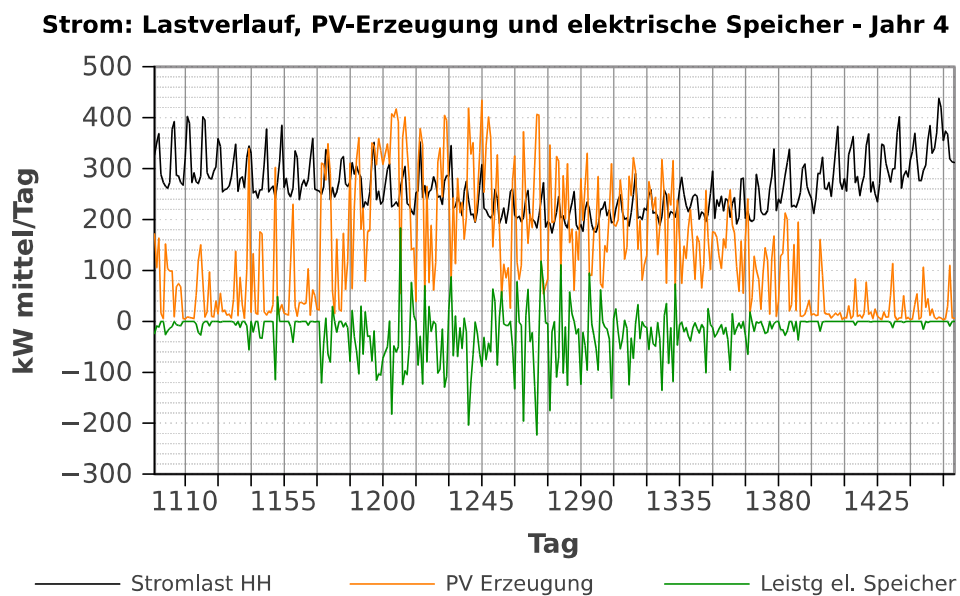


Abbildung 94: SRT 16, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.16.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

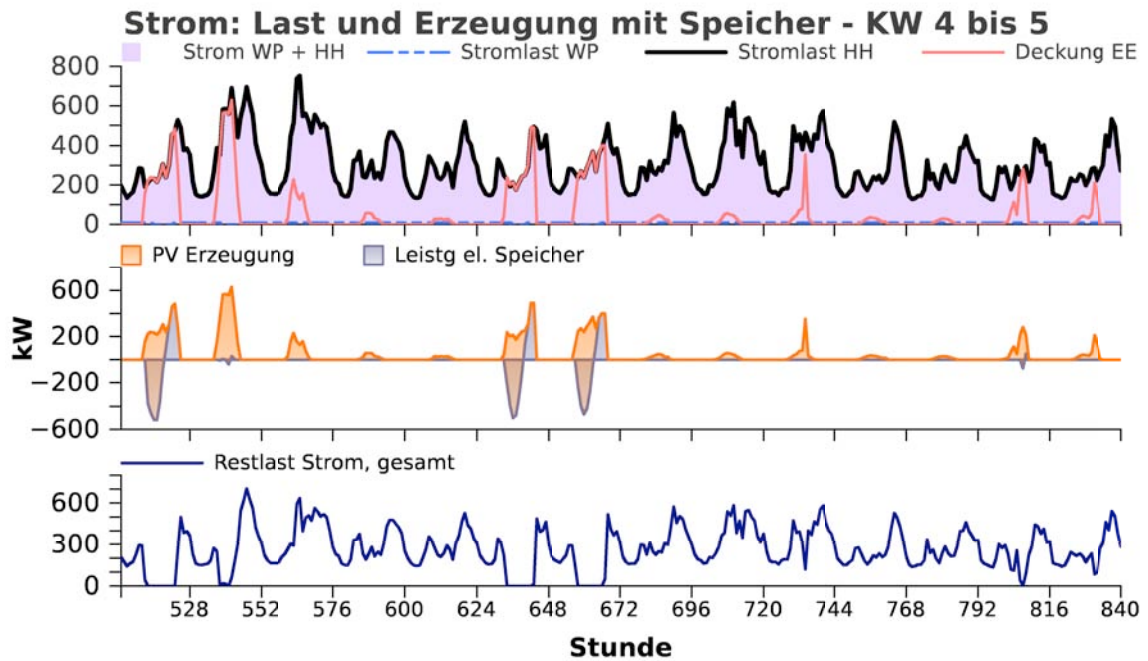


Abbildung 95: SRT 16, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

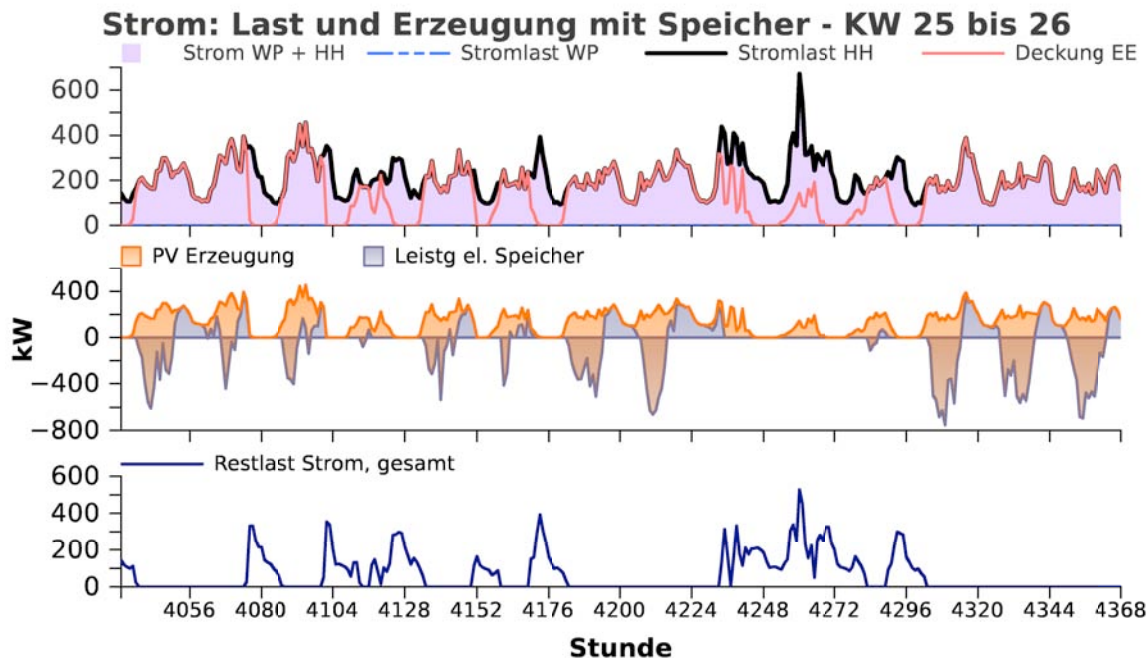


Abbildung 96: SRT 16, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 10.17 Stadtraumtyp Xa (SRT Xa): Gewerbe

### 10.17.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 36% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Der Umfang der Nutzung von Wärmepumpen und der damit einhergehende geringe Mehrverbrauch an Strom führen dazu, dass auch inklusive des Wärmepumpenstroms der Anteil der PV praktisch unverändert bleibt.

Der durch den Betrieb der Wärmepumpen fällt in Bezug auf die Ergebnisse für diesen Stadtraumtyp nicht ins Gewicht.

Gewerbe	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	291.731.257,0	105.856.597,1	185.874.659,8	61.515,4	185.936.175,2
Anteile in %	100,0%	36,3%	63,7%	0,0%	63,7%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>36,3%</b>		<b>36,3%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 49: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Geht man über die statische Betrachtung der verbrauchten und erzeugten Strommengen hinaus und beachtet auch den dynamischen Verlauf der Stromversorgung, mit verbleibenden Erzeugungsdefiziten und nicht lokal nutzbaren Erzeugungsüberschüssen, reduziert sich der durch die PV gedeckte Anteil des Strombedarfs auf 24,7% des Strombedarfs.

Gewerbe	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	291.731.257,0	105.856.597,1	185.874.659,8	-10.137.573,3
Anteile in %	100,0%	36,3%	63,7%	-3,5%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>291.731.257,0</b>		<b>219.610.544,3</b>	<b>196.073.748,5</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	<b>100,0%</b>		<b>75,3% (75,3%)</b>	<b>67,2%</b>
Überschüsse			-33.735.884,5	0,0
Anteile in % <sup>4)</sup>			-11,6% (-11,6%)	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>72.120.712,6</b>	<b>95.719.023,8</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>24,7% (24,7%)</b>	<b>32,8%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers bezieht die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 50: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Auftretende Leistungsüberschüsse aus der PV führen dazu, dass PV-Strom in einem Umfang von beinahe 12% des gesamten Strombedarfs in andere Netzgebiete abgesetzt werden muss.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf knapp 33% angehoben werden; eine Steigerung um 8,1%. Nicht nutzbare Erzeugungsüberschüsse können durch den Einsatz der elektrischen Speicher komplett vermieden werden (vorher fast 12%).

Aufgrund der auftretenden Leistungsüberschüsse aus der PV-Erzeugung kommt es innerhalb des Stadtraumtyps zeitweilig zu einer Umkehr des Lastflusses, d.h. elektrische Leistung muss aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei 28.549 kW, was mehr als das Doppelte des maximalen Leistungsbezugs aus dem allgemeinen Stromnetz ist. Eine Reduktion der maximal aus benachbarten Netzen zur Lastdeckung zu beziehenden Leistung findet zwar in geringem Umfang statt (von 12.548 kW auf 12.355 kW, Tabelle 51).

Durch die elektrischen Speicher kann zeitweise eine ausgeglichene Bilanz zwischen SRT-interner Stromerzeugung und dem Stromverbrauch erreicht werden. Das auftretende Lastminimum geht auf Null zurück (-28.548,5 kW ohne Speicher). Dementsprechend muss nun keine Leistung in benachbarte Netzbereiche abgesetzt werden. Damit zeigen sich die elektrischen Speicher hier als effektives Mittel zur Begrenzung der Netzbelastung durch die fluktuierende Stromerzeugung der Photovoltaik.

Gewerbe	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	12.548,2	12.354,9	12.358,9	12.358,9
minimale Last <sup>1)</sup>	3.866,8	-28.548,5	-28.548,5	0,0

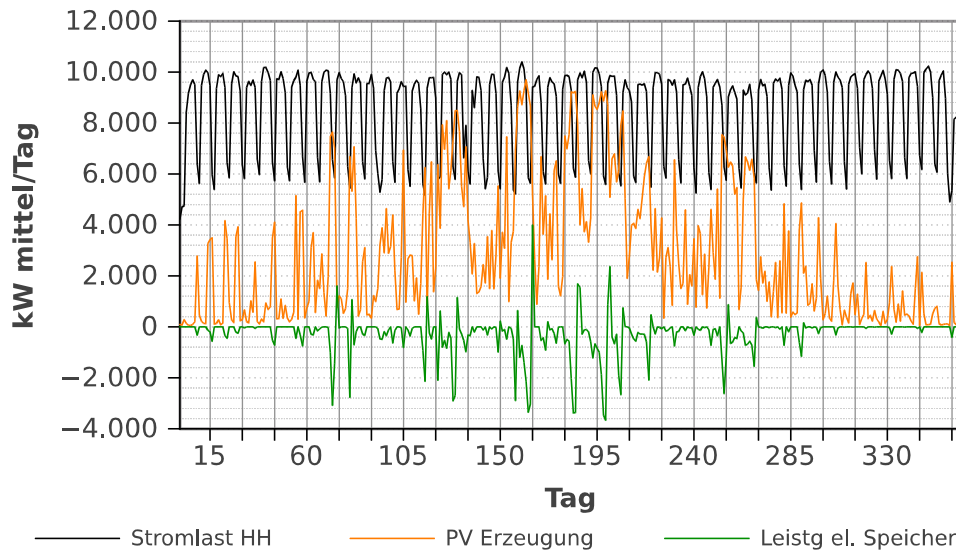
1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 51: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

### 10.17.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

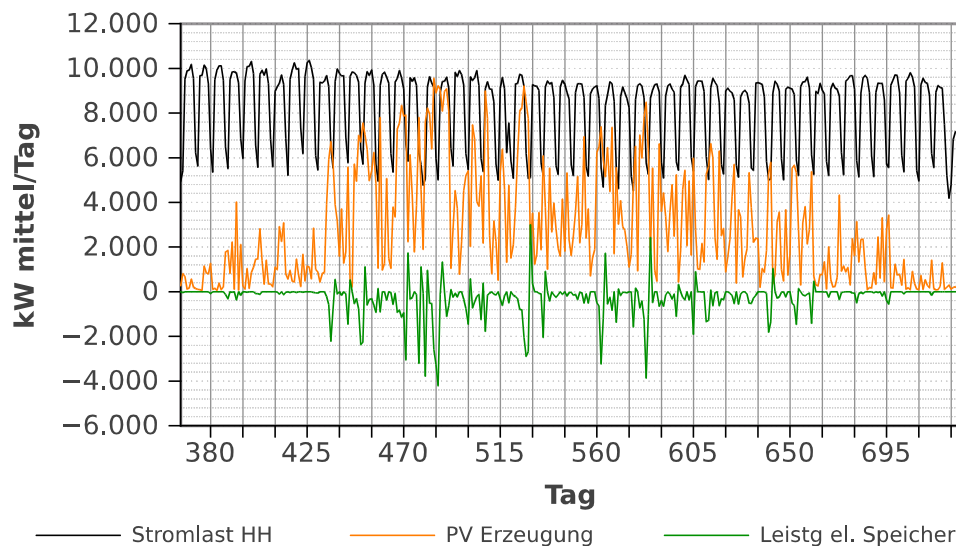
#### 10.17.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 97: SRT 17 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 98: SRT 17, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*

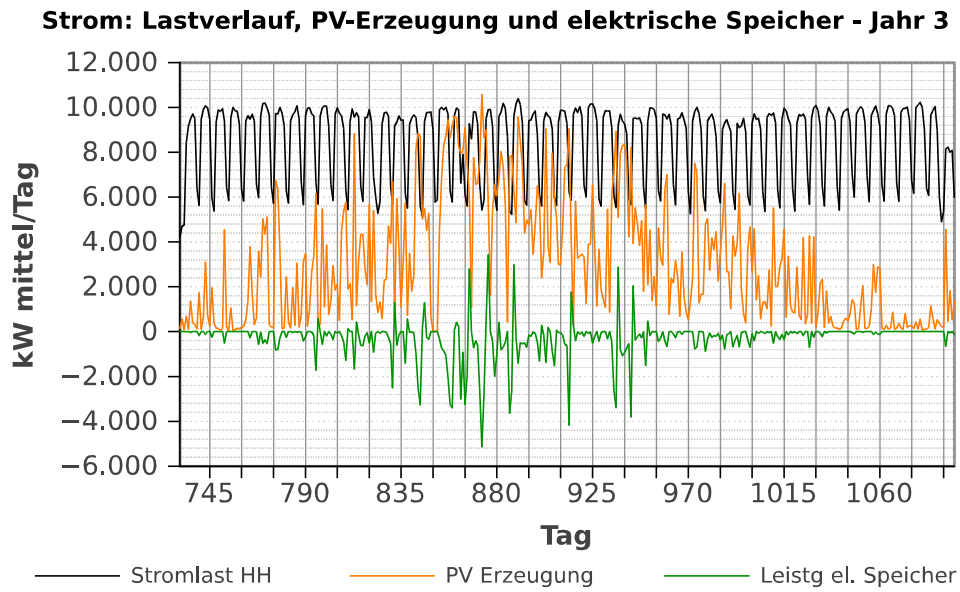


Abbildung 99: SRT 17, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

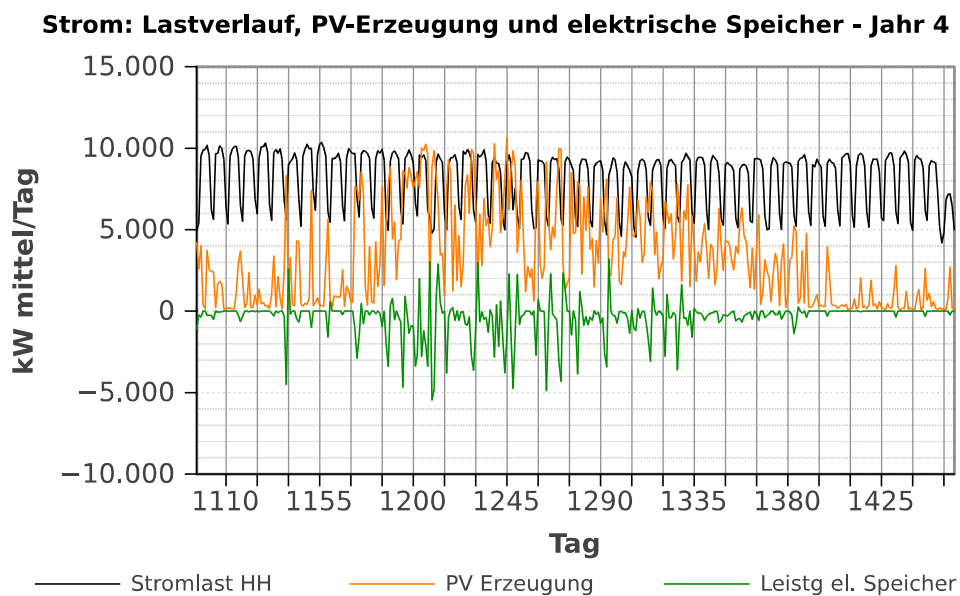


Abbildung 100: SRT 17, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.17.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

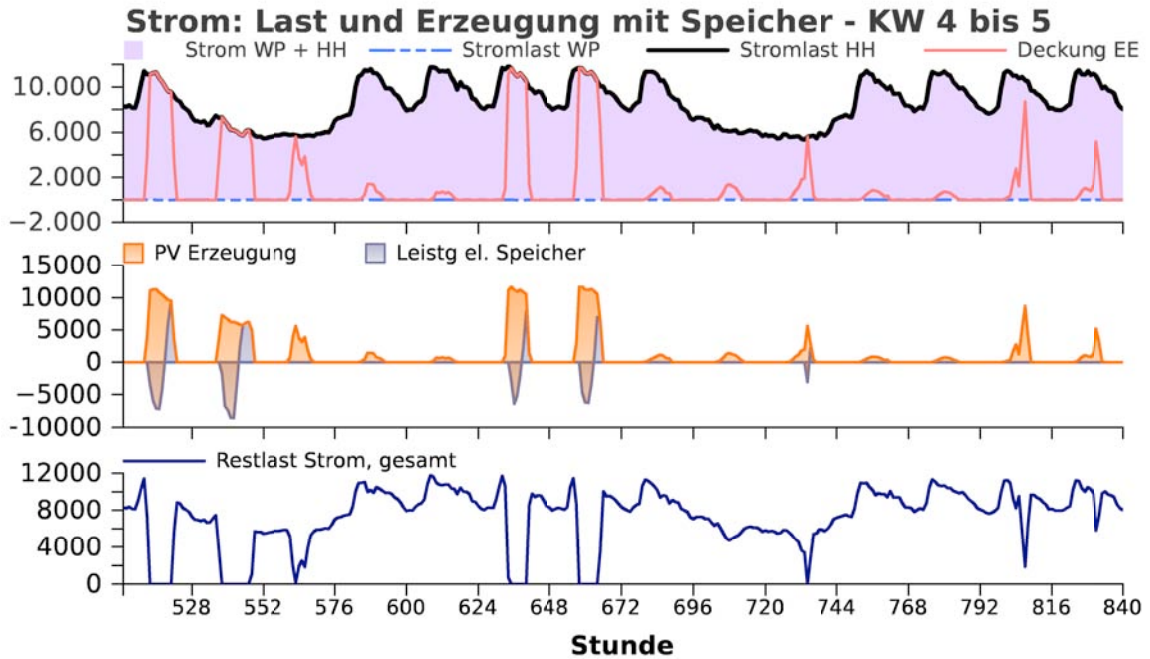


Abbildung 101: SRT 17, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

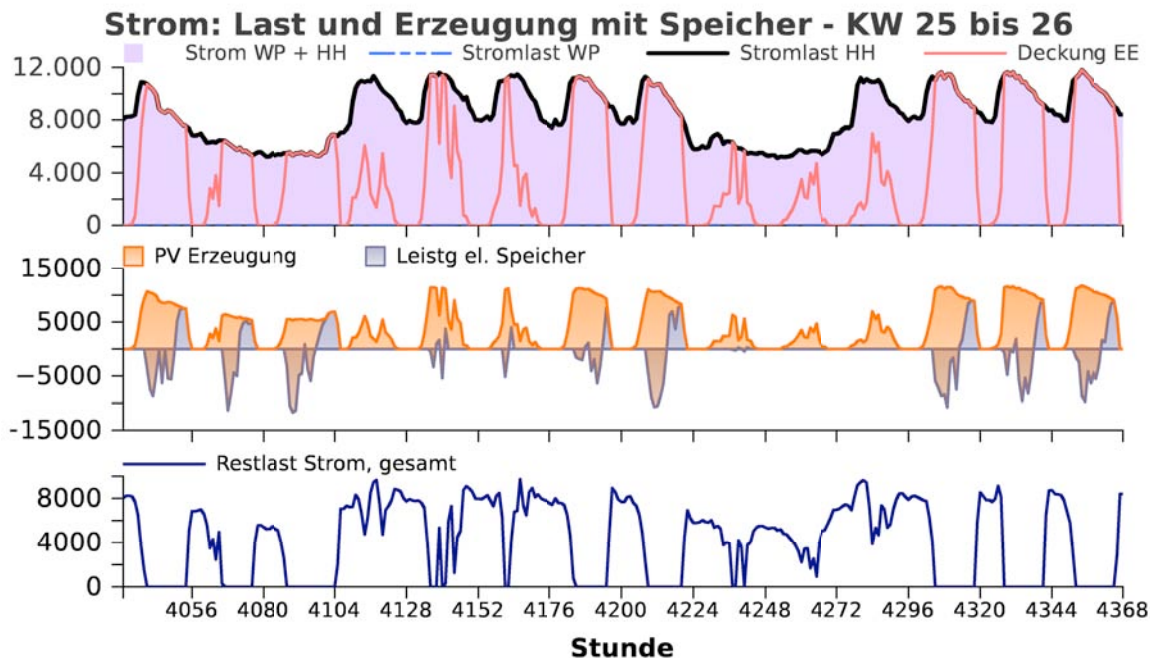


Abbildung 102: SRT 17, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**10.18 Stadtraumtyp Xa+ (SRT Xa+): Gewerbe Passivhausstandard**

**10.18.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum**

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können fast 12% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden, wird der zusätzliche Stromverbrauch der Wärmepumpen berücksichtigt, fällt der Anteil der PV aufgrund der geringen Wärmepumpennutzung um lediglich 0,2% ab. Der Strombedarf der Wärmepumpen beträgt 14% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Gewerbe Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	4.976.325,9	576.465,4	4.399.860,6	68.576,6	4.468.437,2
Anteile in %	100,0%	11,6%	88,4%	1,4%	88,6%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>11,6%</b>		<b>11,4%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 52: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Der nur geringe Installationsumfang der PV wirkt sich dahingehend aus, dass der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung relativ gering ausfällt. In der dynamischen Bilanzierung über alle vier Jahre erreicht die PV einen Deckungsanteil von 11,4% des Haushaltsstroms (nur 0,2% weniger als in der statischen Bilanz), der auch unter Berücksichtigung des Wärmepumpenstroms nur leicht absinkt (11,2%). Der recht geringe Beitrag der PV führt dazu, dass kaum Strom in benachbarte Netze exportiert werden muss. Der Umfang notwendiger Exporte beläuft sich auf lediglich 0,2%, gemessen am gesamten Stromverbrauch.

Gewerbe Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	4.976.325,9	576.465,4	4.399.860,6	-3.097,7
Anteile in %	100,0%	11,6%	88,4%	-0,1%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>4.976.325,9</b>		<b>4.410.182,1</b>	<b>4.471.534,9</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	<b>100,0%</b>		<b>88,6% (88,8%)</b>	<b>88,6%</b>
Überschüsse			-10.321,6	0,0
Anteile in % <sup>4)</sup>			-0,2% (-0,2%)	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>566.143,8</b>	<b>573.367,7</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>11,4% (11,2%)</b>	<b>11,4%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 53: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.



Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann hier keine merkliche Erhöhung des Deckungsbeitrags der Photovoltaik erreicht werden. Die in geringem Umfang auftretenden Erzeugungsüberschüsse ohne elektrische Speicher (0,2%, gemessen am Stromverbrauch des SRT) werden durch den Einsatz der elektrischen Speicher zwar vollständig vermieden, doch bleibt dies ohne nennenswerte Auswirkungen auf die Versorgungssituation.

Trotzdem treten Erzeugungsüberschüsse auf, die zu einer Lastumkehr im lokalen Verteilernetz führen. Die notwendige Exportleistung beläuft sich auf ca. 91 kW, was weniger als der Hälfte der maximalen Bezugslast entspricht. Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (214 kW ohne und 211 kW mit PV); der Einsatz der Wärmepumpen überkompensiert diesen Rückgang, so dass in der Summe eine maximale Bezugsspitzenlast von gut 215 kW auftritt (Tabelle 54).

Während ohne elektrische Speicher zeitweise in geringem Umfang Leistung in benachbarte Netze exportiert werden musste, kann diese Notwendigkeit durch die elektrischen Speicher vermieden werden. Allerdings war auch ohne Speicher der notwendige Leistungsexport deutlich geringer als der maximale Leistungsbezug aus dem Versorgungsnetz, sodass auch ohne elektrische Speicher keine Probleme hinsichtlich der Leistungsfähigkeit der Netze vorlagen. Ein effektiver Nutzen der elektrischen Speicher zeichnet sich für den Versorgungsbeitrag der Photovoltaik in diesem Stadtraumtyp (gut 11%) nicht ab.

Gewerbe Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	214,0	211,2	215,3	215,3
minimale Last <sup>1)</sup>	66,0	-91,2	-91,2	0,0

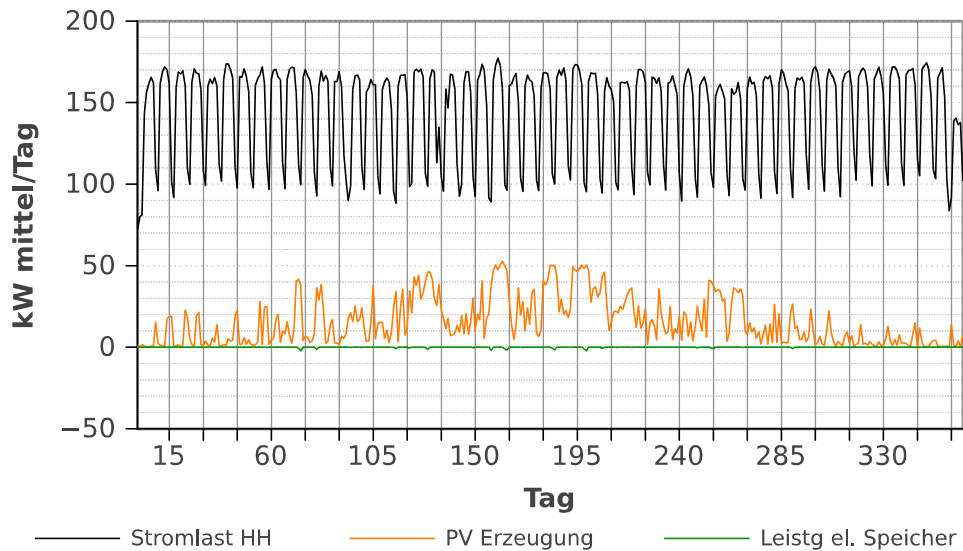
1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 54: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

### 10.18.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

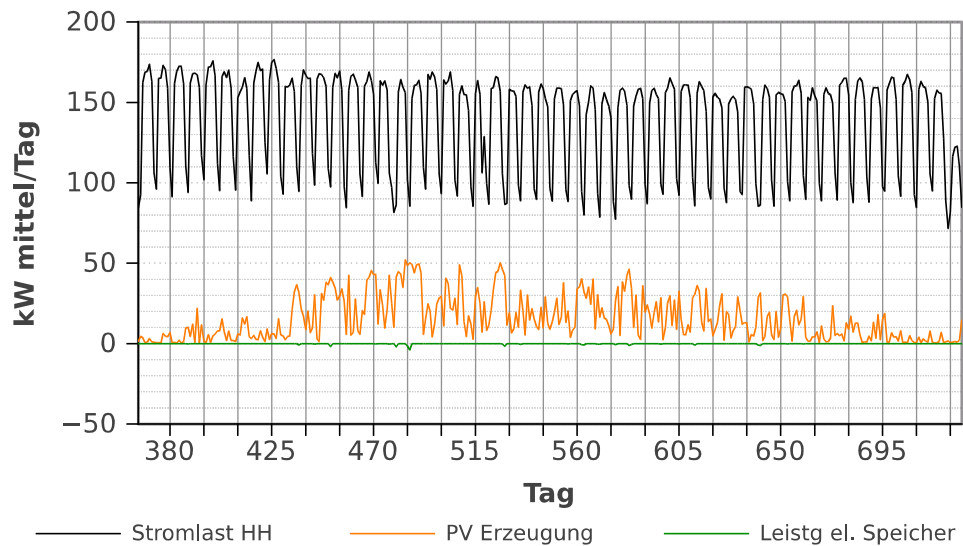
#### 10.18.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 103: SRT 18 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 104: SRT 18, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*

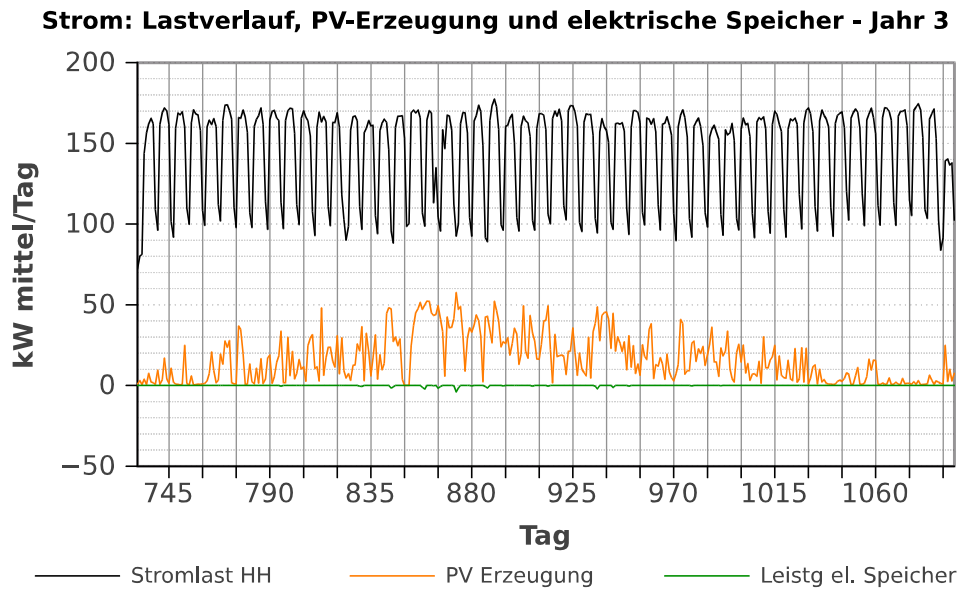


Abbildung 105: SRT 18, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

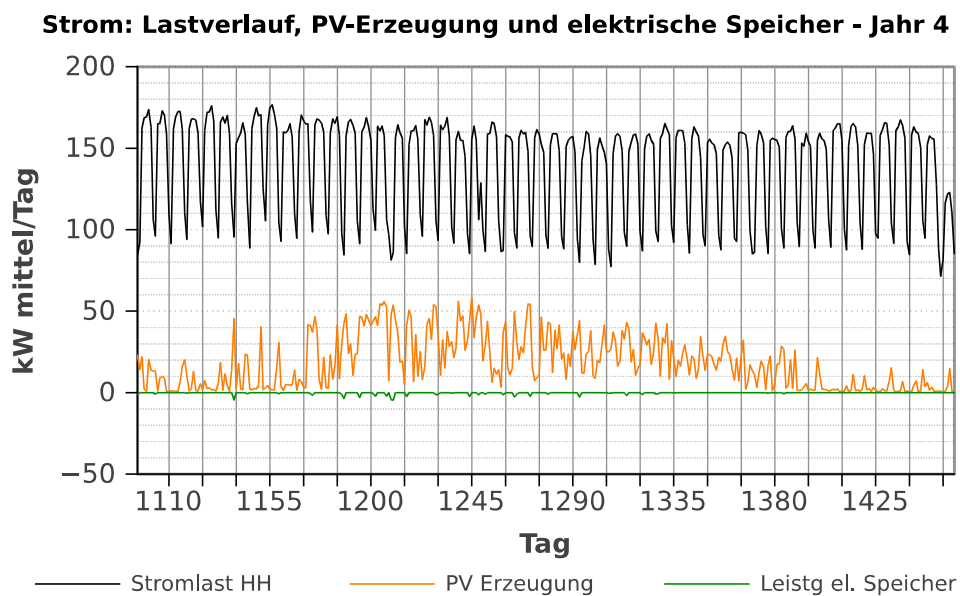


Abbildung 106: SRT 18 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.18.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

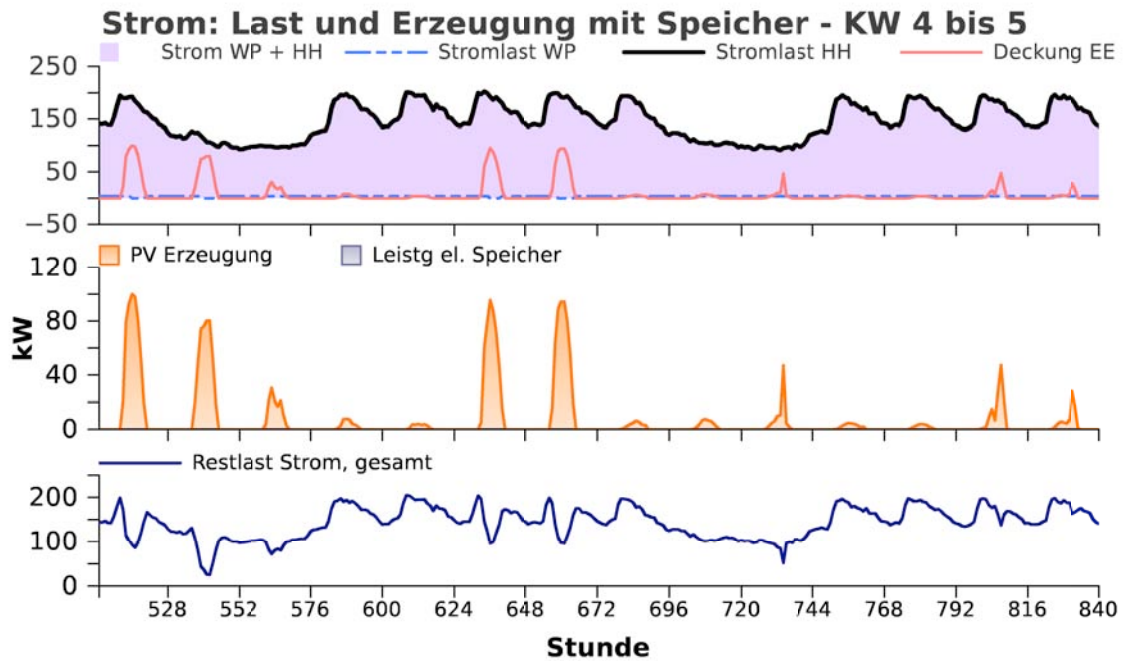


Abbildung 107: SRT 18, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

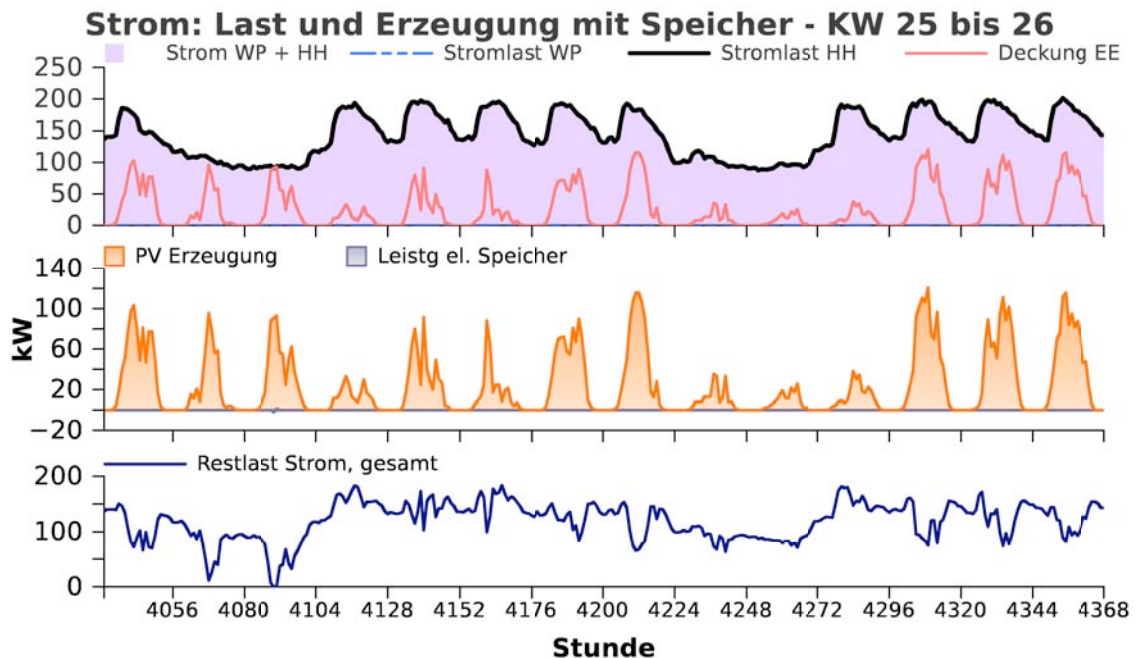


Abbildung 108: SRT 18, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

**10.19**      **Stadtraumtyp Xb (SRT Xb): Industrie**

Der Stadtraumtyp Industrie wurde in der Simulation nicht berücksichtigt.

## 10.20 Stadtraumtyp Xc (SRT Xc): Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen

### 10.20.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 31% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Zusätzlicher Stromverbrauch durch den Betrieb von Wärmepumpen findet nicht in nennenswertem Umfang statt, so dass der Anteil der PV davon praktisch unberührt bleibt. Der Strombedarf der Wärmepumpen trägt lediglich mit etwa 0,1% zur Erhöhung des allgemeinen Stromverbrauchs bei.

Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	85.698.724,2	26.856.538,5	58.842.185,7	107.025,1	58.949.210,8
Anteile in %	100,0%	31,3%	68,7%	0,1%	68,7%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>31,3%</b>		<b>31,3%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungsüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 55: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushalts- und auch am Gesamtstromverbrauch (inkl. Wärmepumpenstrom) erreicht die PV hier einen Anteil von 23,2%. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungsüberschüsse liegen bei einem Wert etwa 8% des Gesamtstromverbrauchs.

Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	85.698.724,2	26.856.538,5	58.842.185,7	-2.094.789,2
Anteile in %	100,0%	31,3%	68,7%	-2,4%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>85.698.724,2</b>		<b>65.815.642,7</b>	<b>61.043.999,9</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	<b>100,0%</b>		<b>76,8% (76,8%)</b>	<b>71,1%</b>
Überschüsse			-6.973.457,1	0,0
Anteile in % <sup>4)</sup>			-8,1% (-8,1%)	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>19.883.081,5</b>	<b>24.761.749,4</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>23,2% (23,2%)</b>	<b>28,9%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungsüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 56: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf knapp 29% angehoben werden; dies entspricht einer Steigerung des Deckungsbeitrags um fast 6%. Vorher (ohne Speicher) auftretende, vor Ort nicht nutzbare

Erzeugungsüberschüsse (8,1%) werden durch den Einsatz der elektrischen Speicher komplett vermieden.

Aufgrund der auftretenden Erzeugungsüberschüsse muss elektrische Leistung aus dem SRT heraus in benachbarte Stromnetze exportiert werden. Im Verlauf der vier Jahre liegt die maximal auftretende Leistung des Stromexports bei ca. 7.021 kW, was etwas weniger als dem Doppelten der maximalen Bezugslast von 3.686 kW entspricht. Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (3.631 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder leicht erhöht wird (3.638 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 57).

Durch die elektrischen Speicher kann zeitweise eine ausgeglichene Bilanz zwischen SRT-interner Stromerzeugung und dem Stromverbrauch erreicht werden. Das auftretende Lastminimum geht auf Null zurück (-7.021,3 kW ohne Speicher). Dementsprechend können Leistungsexporte in benachbarte Netzbereiche vermieden werden. Ohne Speicher übersteigt die maximal zu exportierende Leistung deutlich den Wert des maximalen Leistungsbezugs, so dass hier gegebenenfalls Probleme hinsichtlich der Leistungsfähigkeit des verbauten Verteilernetzes auftreten können. Damit zeigen sich die elektrischen Speicher im hier vorliegenden Fall (PV-Anteil von knapp 29%) als effektives Mittel zur Begrenzung der Netzbelastung durch die fluktuierende Stromerzeugung der Photovoltaik.

Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	3.686,1	3.630,8	3.637,8	3.637,8
minimale Last <sup>1)</sup>	1.135,9	-7.021,3	-7.021,3	0,0

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 57: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

### 10.20.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

#### 10.20.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**

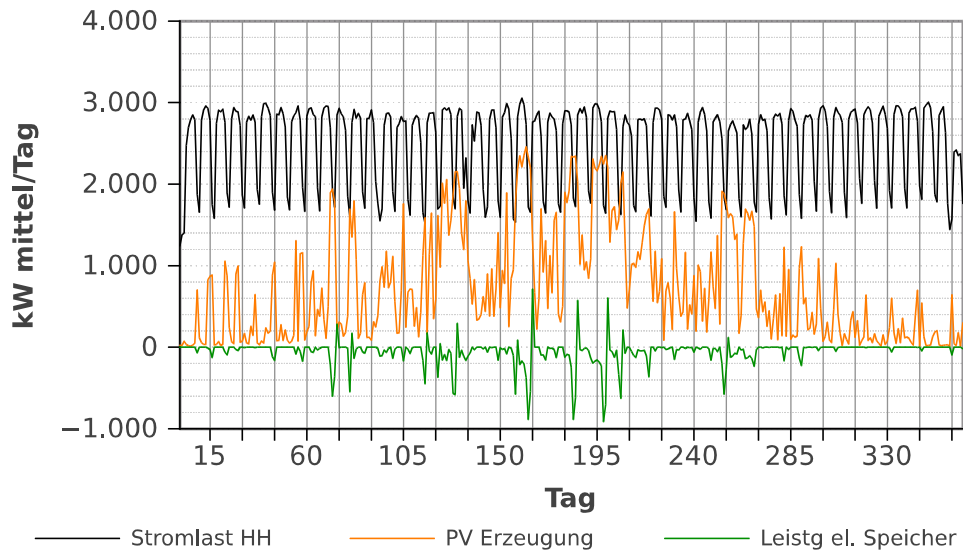


Abbildung 109: SRT 20 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**

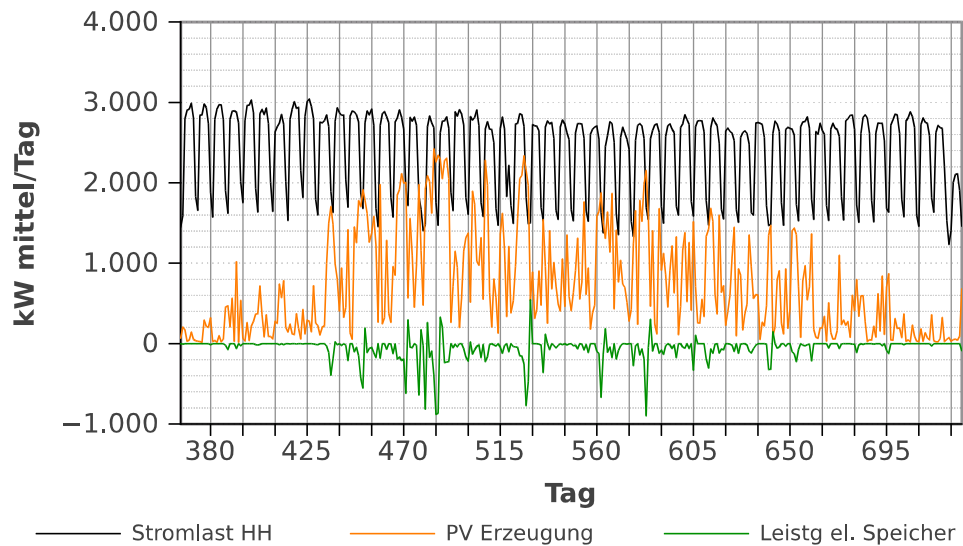


Abbildung 110: SRT 20, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.



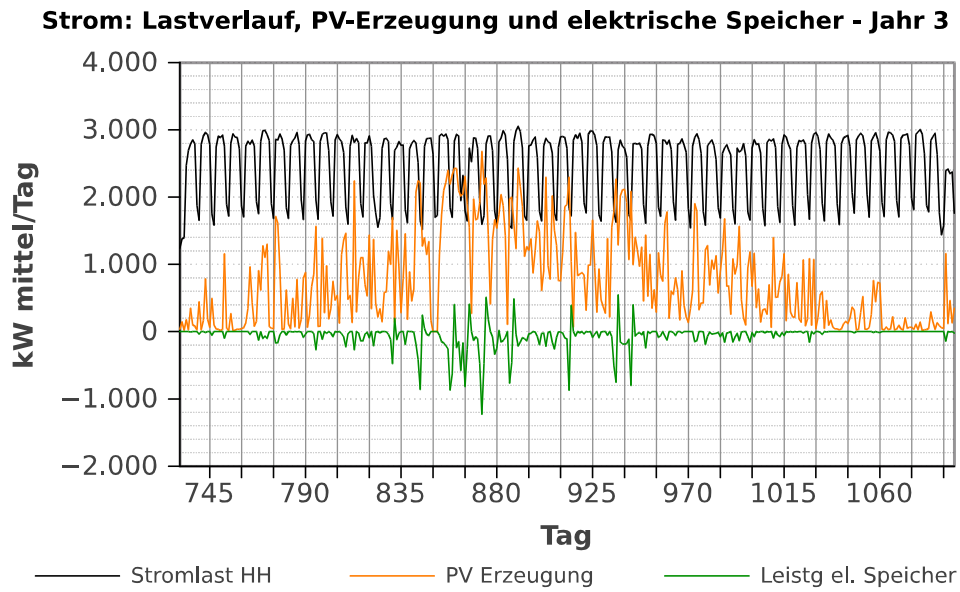


Abbildung 111: SRT 20, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

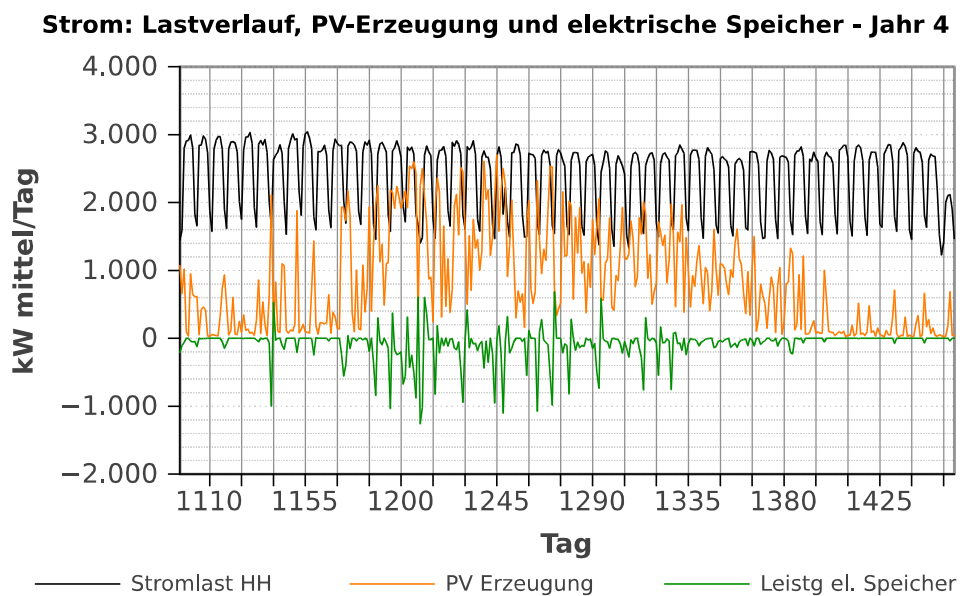


Abbildung 112: SRT 20, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.20.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

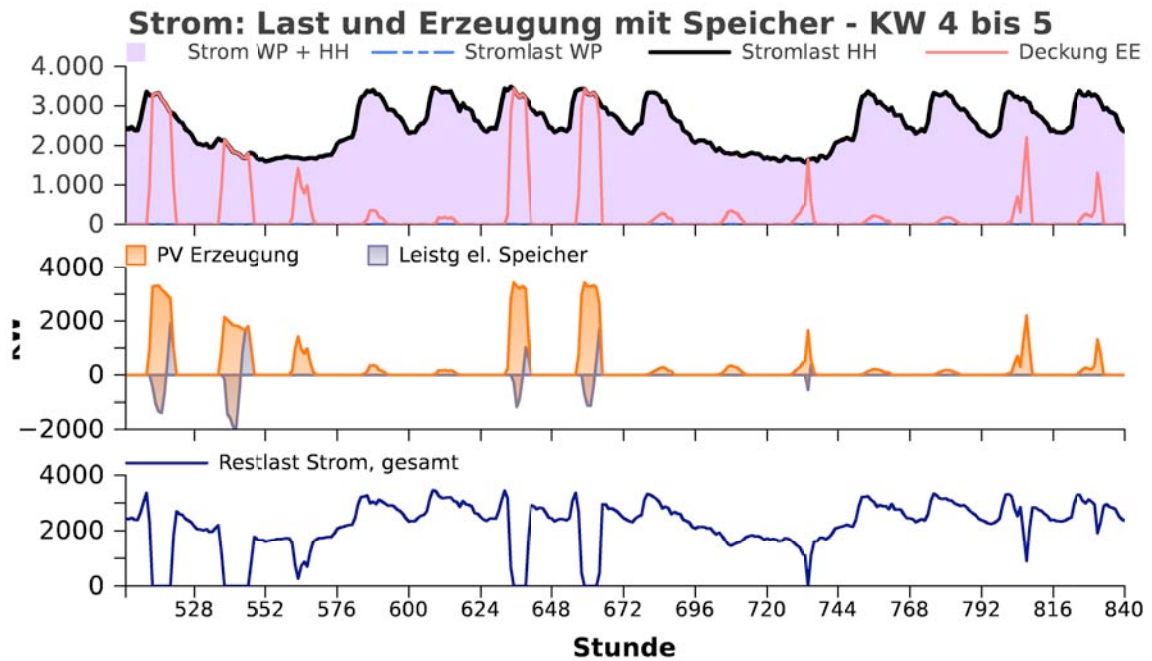


Abbildung 113: SRT 20, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

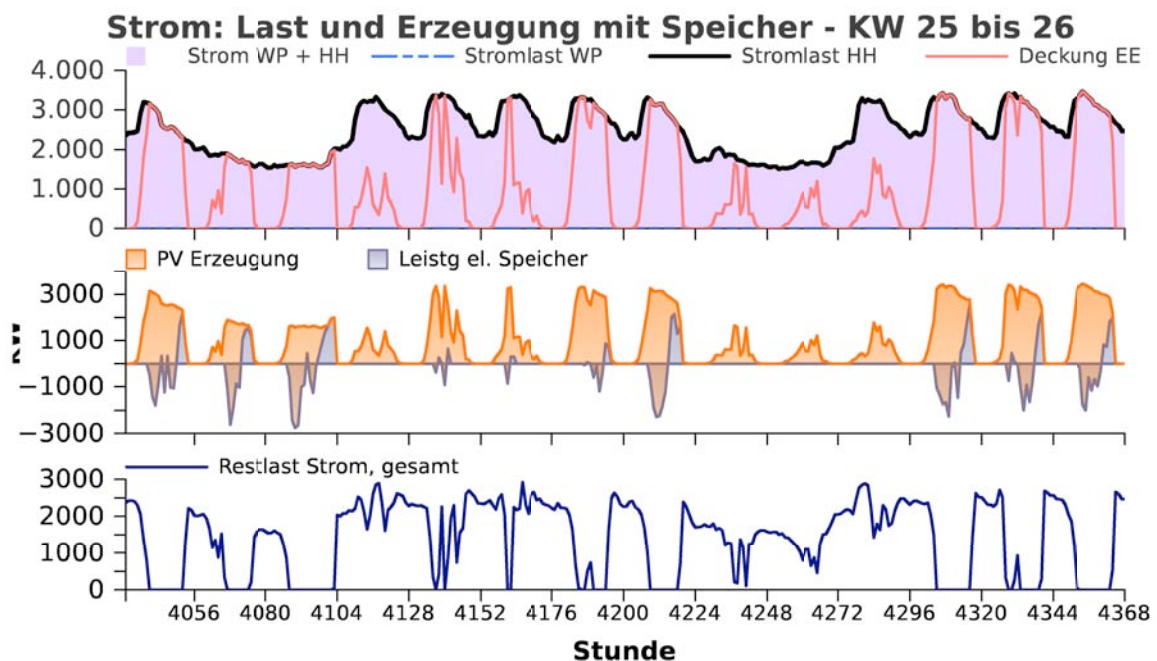


Abbildung 114: SRT 20, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 10.21 Stadtraumtyp Xc+ (SRT Xc+): Zweckbauten und öffentliche Einrichtungen Passivhausstandard

### 10.21.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

Der normale Stromverbrauch des Stadtraumtyps beträgt über vier Jahre hinweg etwa 4.840 MWh. Die zur Wärmebereitstellung eingesetzten Wärmepumpen erhöhen den Stromverbrauch um 1,1% (54 MWh), so dass der Gesamtstrombedarf des SRT bei 4.894 MWh liegt.

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 31% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden.

Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen Passivhausstandard	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	4.839.927,9	1.517.257,5	3.322.670,5	54.083,0	3.376.753,4
Anteile in %	100,0%	31,3%	68,7%	1,1%	69,0%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>31,3%</b>		<b>31,0%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 58: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

In der dynamischen Bilanzierung zeigt der Anteil, den die PV zur Lastdeckung erbringen kann, einen deutlichen Rückgang gegenüber der statischen Betrachtung. Gemessen am Haushalts- und auch am Gesamtstromverbrauch (inkl. Wärmepumpenstrom) erreicht die PV hier einen Anteil von 23,2%. Die lokal nicht nutzbaren Erzeugungüberschüsse liegen bei einem Wert etwa 8% des Gesamtstromverbrauchs.

Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	4.839.927,9	1.517.257,5	3.322.670,5	-118.347,7
Anteile in %	100,0%	31,3%	68,7%	-2,4%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>4.839.927,9</b>		<b>3.716.837,6</b>	<b>3.495.101,1</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	<b>100,0%</b>		<b>76,8% (77,0%)</b>	<b>71,4%</b>
Überschüsse			-394.167,1	0,0
Anteile in % <sup>4)</sup>			-8,1% (-8,0%)	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>1.123.090,4</b>	<b>1.398909,8</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>23,2% (23,0%)</b>	<b>28,6%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 59: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV auf knapp 28,6% angehoben werden; dies entspricht einer Steigerung des Deckungsbeitrags um 5,4%. Vorher (ohne Speicher) auftretende, vor Ort nicht nutzbare Erzeugungsüberschüsse (8,1%) werden durch den Einsatz der elektrischen Speicher komplett vermieden.

Durch die elektrischen Speicher kann zeitweise eine ausgeglichene Bilanz zwischen SRT-interner Stromerzeugung und dem Stromverbrauch erreicht werden. Das auftretende Lastminimum geht auf Null zurück (-397 kW ohne Speicher). Dementsprechend können Leistungsexporte in benachbarte Netzbereiche vermieden werden. Ohne Speicher übersteigt die maximal zu exportierende Leistung deutlich den Wert des maximalen Leistungsbezugs, so dass hier gegebenenfalls auf mögliche Probleme hinsichtlich der Leistungsfähigkeit des verbauten Verteilernetzes hin geprüft werden muss. Damit zeigen sich die elektrischen Speicher im hier vorliegenden Fall (PV-Anteil von knapp 29%) als effektives Mittel zur Begrenzung der Netzbelastung durch die fluktuierende Stromerzeugung der Photovoltaik.

Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (3.631 kW), der durch den Einsatz der Wärmepumpen wieder mehr als kompensiert wird (3.638 kW inkl. Wärmepumpenstrom) (Tabelle 60). Auch durch den Einsatz der elektrischen Speicher kann die Bezugsspitzenlast nicht verringert werden.

Zweckbauten u. öffentl. Einrichtungen	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	208,2	205,1	210,9	210,9
minimale Last <sup>1)</sup>	64,2	-396,7	-396,7	0,0

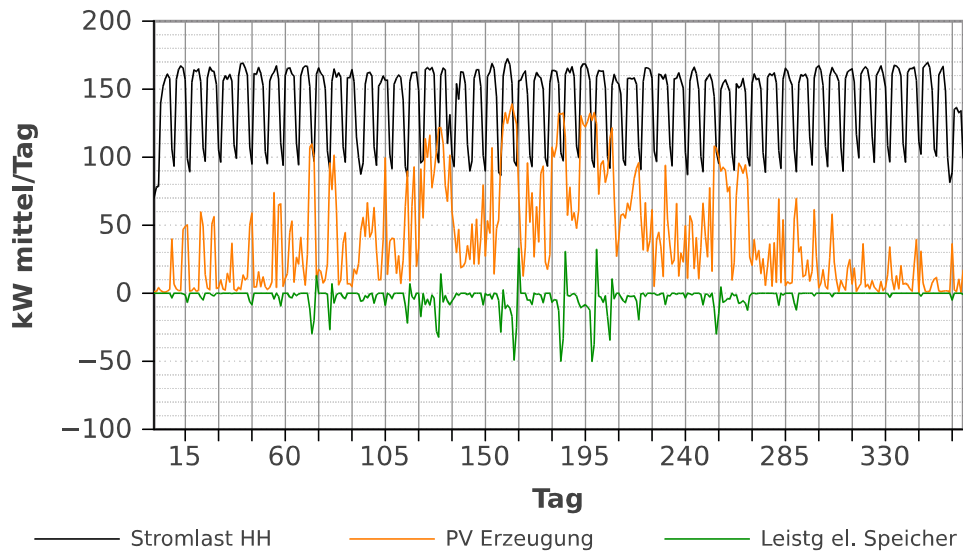
1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungsüberschuss

Tabelle 60: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungsüberschüsse.

### 10.21.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

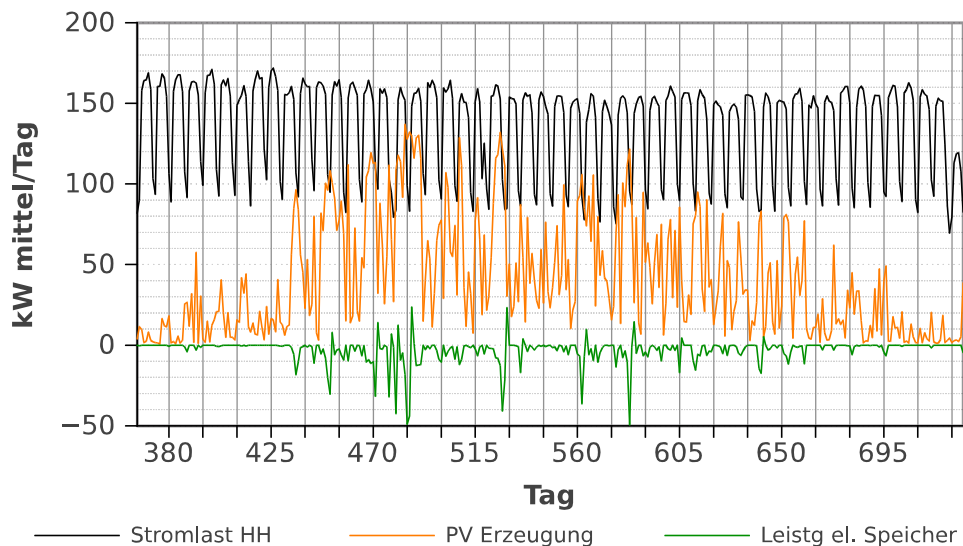
#### 10.21.2.1 Strom

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 1**



*Abbildung 115: SRT 21, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.*

**Strom: Lastverlauf, PV-Erzeugung und elektrische Speicher - Jahr 2**



*Abbildung 116: SRT 21, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.*

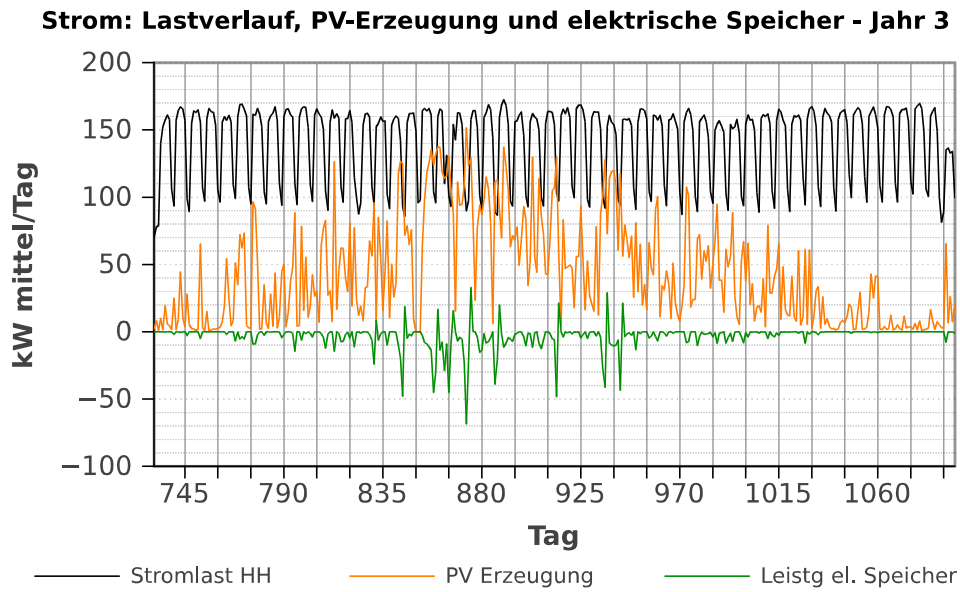


Abbildung 117: SRT 21, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

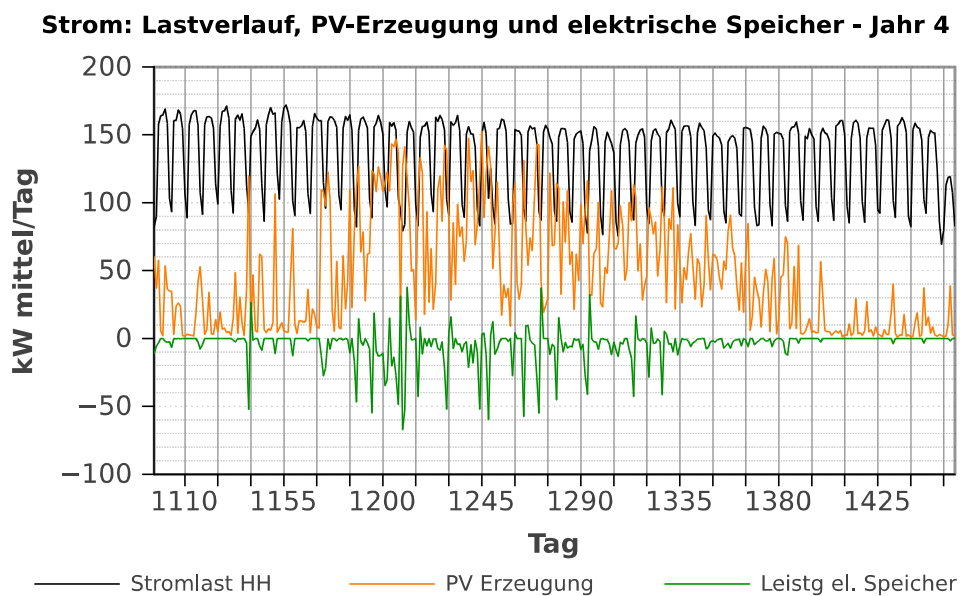


Abbildung 118: SRT 21, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.21.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

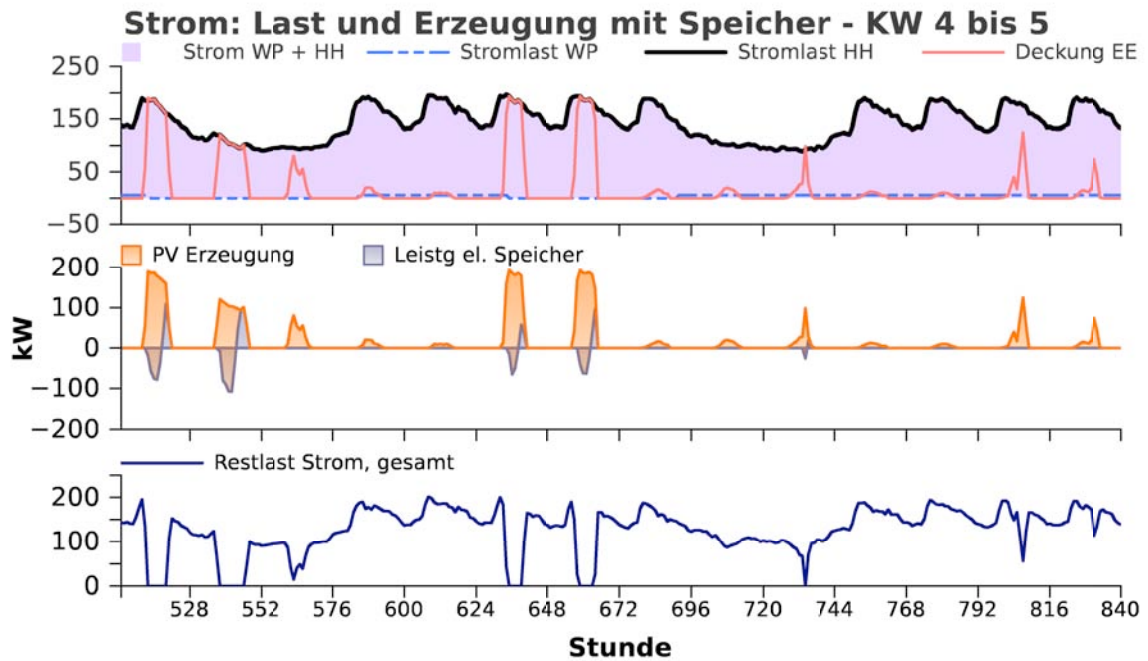


Abbildung 119: SRT 21, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

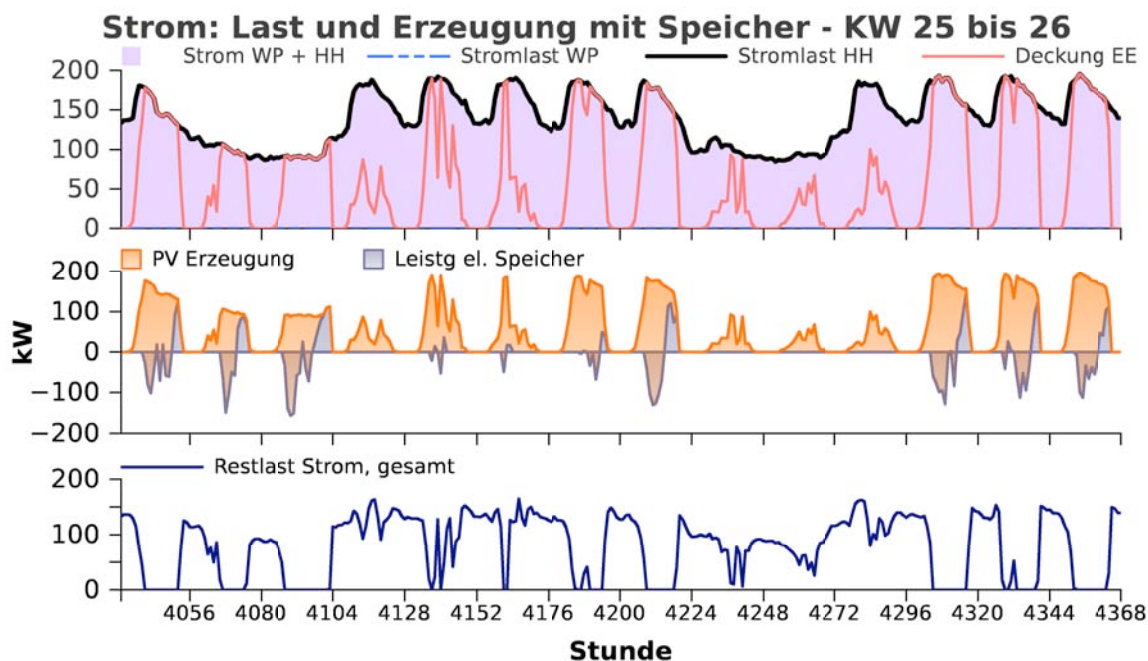


Abbildung 120: SRT 21, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 10.22 Stadtraumtyp Xd (SRT Xd): Gewerbe in Mischgebieten

### 10.22.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können gut 13% des Strombedarfs der Haushalte aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Zusätzlicher Strombedarf aus dem Betrieb von Wärmepumpen kommt kaum hinzu, so dass der Anteil der PV auch bei Berücksichtigung dieses Mehrverbrauch praktisch unverändert bleibt. Der zusätzliche Strombedarf der Wärmepumpen beträgt 0,7% des allgemeinen Stromverbrauchs der Haushalte.

Gewerbe in Mischgebieten	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	16.383.756,1	2.151.593,1	14.232.163,0	122.515,7	14.354.678,7
Anteile in %	100,0%	13,1%	86,9%	0,7%	87,0%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>13,1%</b>		<b>13,0%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 61: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Der nur geringe Installationsumfang der PV wirkt sich dahingehend aus, dass der Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung relativ gering ausfällt. In der dynamischen Bilanzierung über alle vier Jahre erreicht die PV einen Deckungsanteil von 12,7% des Haushaltsstroms (nur 0,4% weniger als in der statischen Bilanz), der auch unter Berücksichtigung des Wärmepumpenstroms nur leicht absinkt (12,6%). Der recht geringe Beitrag der PV führt dazu, dass auch kaum Strom in benachbarte Netze exportiert werden muss. Der Umfang notwendiger Exporte beläuft sich auf lediglich 0,4%, gemessen am gesamten Stromverbrauch.

Gewerbe in Mischgebieten	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	16.383.756,1	2.151.593,1	14.232.163,0	-19.764,2
Anteile in %	100,0%	13,1%	86,9%	-0,1%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>16.383.756,1</b>		<b>14.298.002,3</b>	<b>14.374.442,8</b>
Anteile in % <sup>4)</sup>	<b>100,0%</b>		<b>87,3% (87,4%)</b>	<b>87,1%</b>
Überschüsse			-65.839,3	0,0
Anteile in % <sup>4)</sup>			-0,4% (-0,4%)	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>2.085.753,8</b>	<b>2.131.828,9</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>12,7% (12,6%)</b>	<b>12,9%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 62: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann der Deckungsbeitrag der PV lediglich um 0,2%, auf 12,9% angehoben werden. Vorher in geringem Umfang



notwendige Stromexporte in benachbarte Netzbereiche können durch den Einsatz elektrischer Speicher vermieden werden. Der geringe Nutzen der elektrischen Speicher rechtfertigt den dafür notwendigen Aufwand im hier vorliegenden Fall offensichtlich nicht.

Trotzdem treten Erzeugungsüberschüsse auf, die zu einer Lastumkehr im lokalen Verteilernetz führen. Die notwendige Exportleistung beläuft sich auf ca. 382 kW, was etwas mehr als der Hälfte der maximalen Bezugslast (705 kW) entspricht. Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (705 kW ohne und 695 kW mit PV); der Einsatz der Wärmepumpen kompensiert diesen Rückgang beinahe wieder, so dass in der Summe eine maximale Bezugsspitzenlast von gut 702,5 kW auftritt (Tabelle 63).

Durch die elektrischen Speicher kann die Minimallast auf Null gesenkt werden. Insgesamt resultiert aus dem Einsatz der elektrischen Speicher hier keinerlei Nutzen bezüglich der Vermeidung von Netzbelastungen, da die notwendigen Leistungsexporte auch ohne elektrische Speicher deutlich unter dem maximalen Leistungsbezug liegen, d.h. die vorhandene Kapazität ist in jedem Fall ausreichend dimensioniert.

Gewerbe in Mischgebieten	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	704,7	695,2	702,5	702,5
minimale Last <sup>1)</sup>	217,2	-381,9	-381,9	0,0

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 63: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

## 10.22.2 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

### 10.22.2.1 Strom

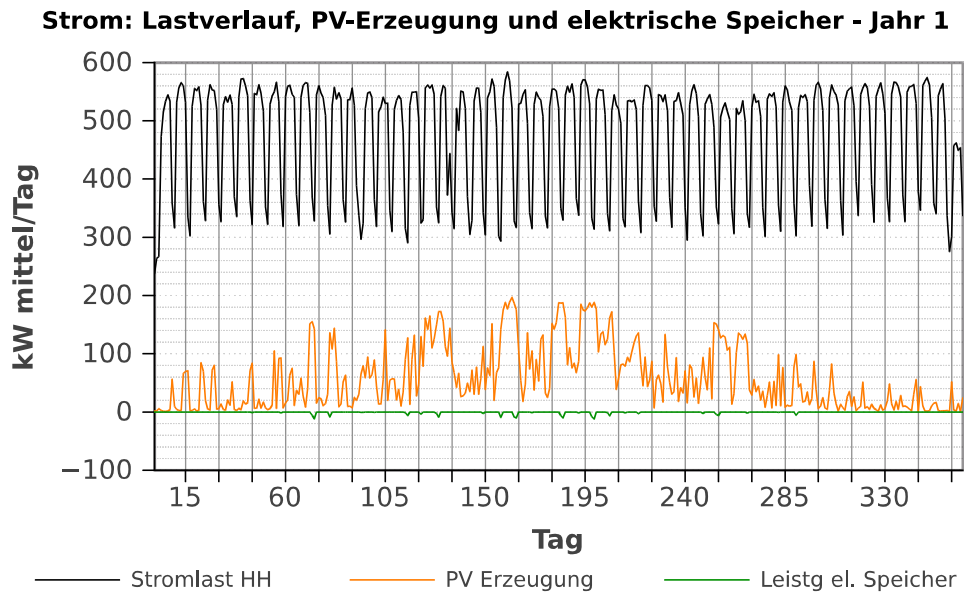


Abbildung 121: SRT 22 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

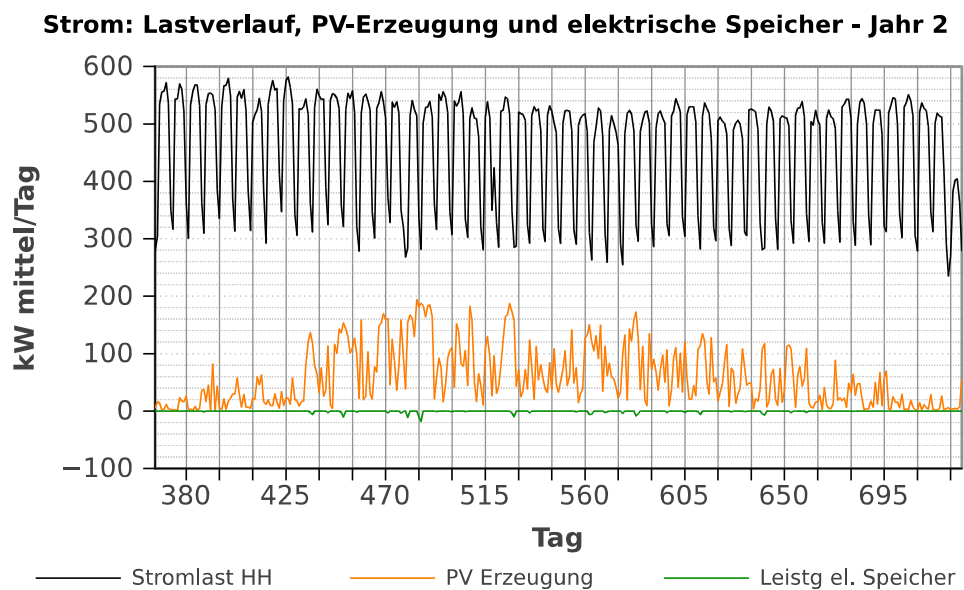


Abbildung 122: SRT 22, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

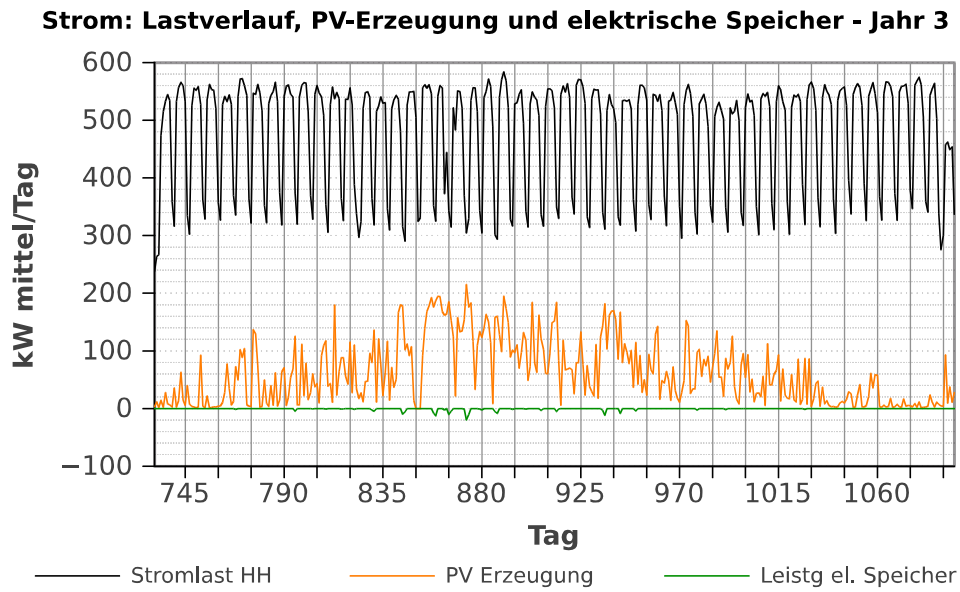


Abbildung 123: SRT 22, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

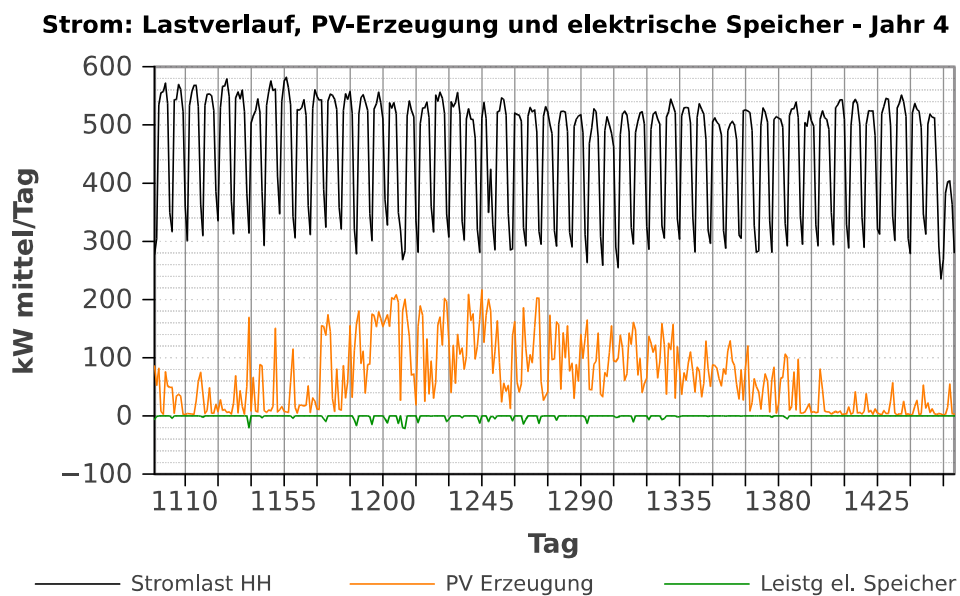


Abbildung 124: SRT 22, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.

10.22.2.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

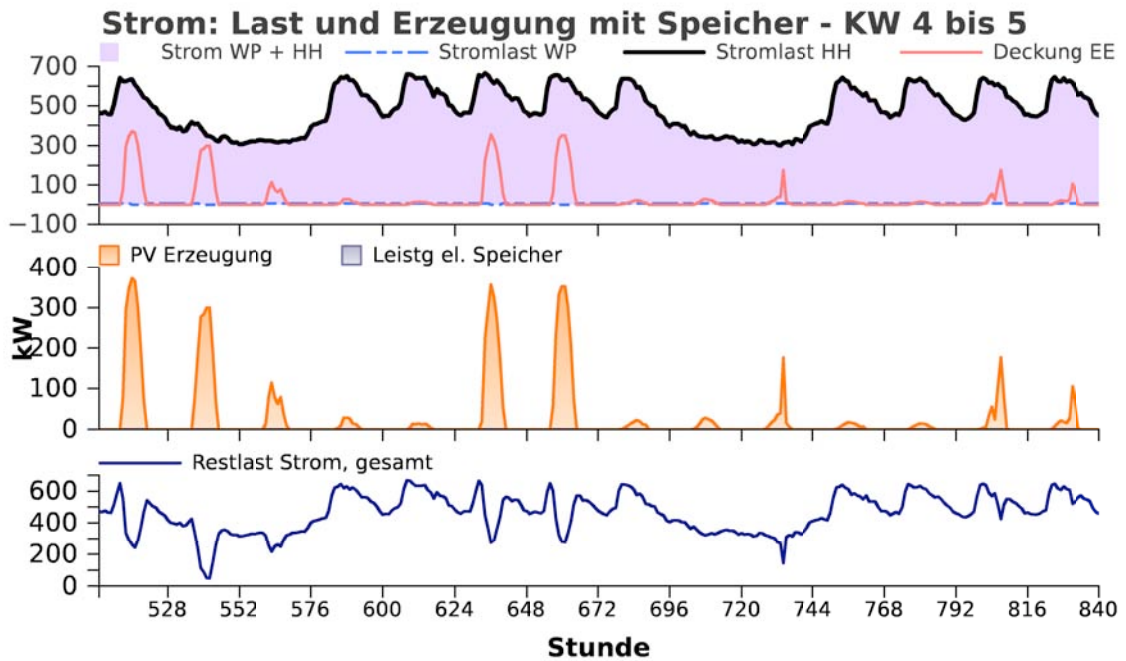


Abbildung 125: SRT 22, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

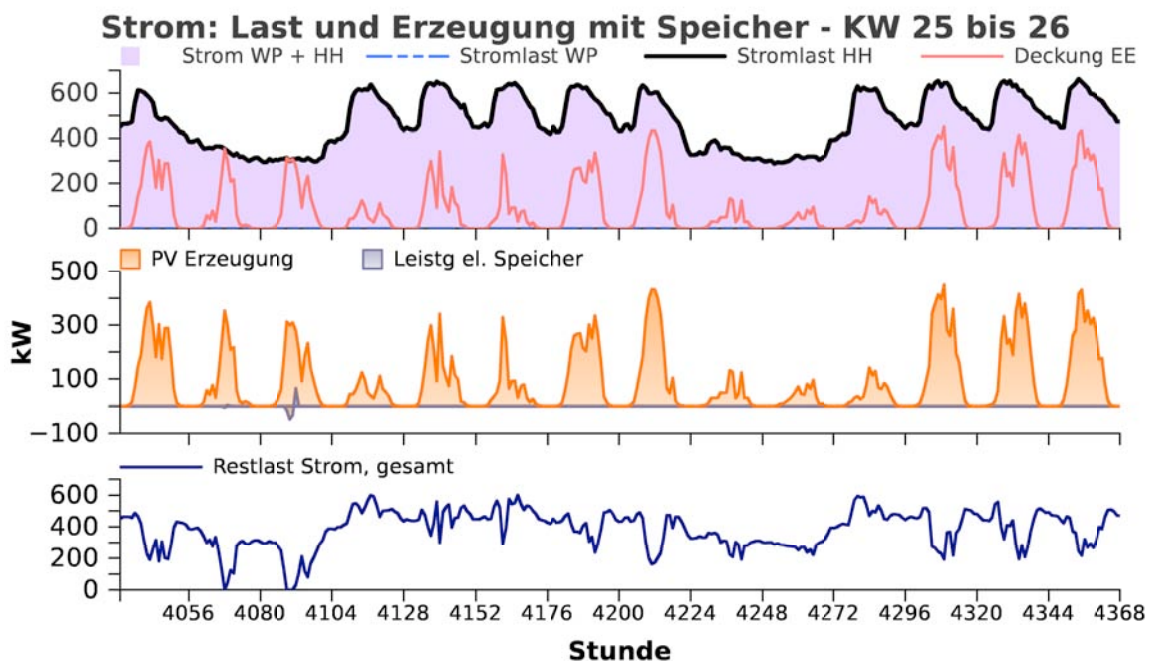


Abbildung 126: SRT 22, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 10.23 Stadtraumtyp S1 (SRT S1): Schumacherbauten 1920-30er

### 10.23.1 Bilanzierung für den gesamten simulierten Zeitraum

In der statischen Bilanzierung über den gesamten Zeitraum von vier Jahren hinweg können 9,2% des Strombedarfs aus der Erzeugung der Photovoltaik gedeckt werden. Wärmepumpen werden in diesem Stadtraumtyp nicht verwendet.

Schumacherbauten 1920-30er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV1)	Stromverbrauch Wärmepumpen	Mengenbilanz nach Wärmepumpen
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	8.769.779,8	811.099,2	7.958.680,6	0,0	7.958.680,6
Anteile in %	100,0%	9,2%	90,8%	0,0%	90,8%
<b>Gesamtdeckungsgrad aus SRT-interner Erzeugung</b>			<b>9,2%</b>		<b>9,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

Tabelle 64: Statische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen und SRT-interne Erzeugung aus PV.

Der nur geringe Installationsumfang der PV wirkt sich dahingehend aus, dass praktisch kein Unterschied zwischen statischer und dynamischer Bilanzierung vorhanden ist. Fast die ganze Stromerzeugung aus der Photovoltaik kann zur lokalen Deckung des Strombedarfs genutzt werden. Leistungsüberschüsse treten nur in unwesentlichem Umfang auf. Dementsprechend fällt auch die in andere Netzgebiete abzusetzende Energiemenge sehr klein aus: insgesamt müssen lediglich 2.962 kWh von angrenzenden Netzen aufgenommen werden. Bezogen auf den Strombedarf des Stadtraumtyps bedeutet dies einen Anteil von 0,3‰ (Promille).

Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann kein nennenswerter Anstieg des Deckungsanteils der Photovoltaik erreicht werden.

Schumacherbauten 1920-30er	Stromverbrauch SRT	PV-Erzeugung	Mengenbilanz Stromverb. - PV <sup>1)</sup>	Beitrag Stromspeicher <sup>2)3)</sup>
Alle 4 Jahre	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Energiemenge	8.769.779,8	811.099,2	7.958.680,6	-889,0
Anteile in %	100,0%	9,2%	90,8%	0,0%
<b>Last (Defizit)</b>	<b>8.769.779,8</b>		<b>7.961.643,1</b>	<b>7.959.569,7</b>
<b>Anteile in %<sup>4)</sup></b>	<b>100,0%</b>		<b>90,8% (90,8%)</b>	<b>90,8%</b>
Überschüsse			-2.962,4	0,0
Anteile in % <sup>4)</sup>			0,0% (0,0%)	0,0%
<b>Lastdeckung (dynamisch)</b>			<b>808.136,8</b>	<b>810.210,2</b>
<b>Deckungsgrad (dynamisch)<sup>4)</sup></b>			<b>9,2% (9,2%)</b>	<b>9,2%</b>

1) Negative Werte in der Bilanzierung bedeuten einen Erzeugungüberschuss, positive Werte ein bestehendes Defizit

2) Die Dimensionierung der Stromspeicher entspricht in der Speicherkapazität dem durchschnittlichen Stromverbrauch eines Tages (24 Std. Speicher)

3) Die Energiemenge des Speichers beziffert die entstehenden Speicherverluste

4) Deckungsgrade in Klammern mit Stromverbrauch der Wärmepumpen, bei Stromspeicher immer inkl. Wärmepumpenstrom.

Tabelle 65: Dynamische Bilanzierung der Energiemengen - allgemeiner Stromverbrauch, Strombedarf der Wärmepumpen, SRT-interne Erzeugung aus PV und Stromspeicher.

Trotzdem treten Erzeugungüberschüsse auf, die zeitweise zu einer Lastumkehr im lokalen Verteilernetz führen. Die notwendige Exportleistung beläuft sich auf ca. 69 kW,

was weniger als einem Zehntel der maximalen Bezugslast entspricht. Insgesamt führt die Stromerzeugung der PV nur zu einer leichten Verringerung der Bezugsspitzenlast (833 kW ohne und 830 kW mit PV, Tabelle 66).

Sind ohne elektrische Speicher zeitweilig Leistungsexporte in benachbarte Netz- bereiche in geringem, für die Leistungsfähigkeit des vorhandenen Netzes unkritischem Umfang notwendig, können diese durch die elektrischen Speicher vollständig ver- mieden werden. Die Speicher tragen hier aber weder zur Vermeidung kritischer Netzbelastungen bei, noch kann ein merklicher Anstieg des Deckungsbeitrags der PV verzeichnet werden. Demnach kann hier nicht davon ausgegangen werden, dass der notwendige Aufwand für die Stromspeicherung durch den Nutzen gerechtfertigt ist.

Schumacherbauten 1920-30er	Stromverbrauch SRT	nach PV-Erzeugung	nach Wärmepumpen	nach Stromspeicher
Jahr 1	[kW]	[kW]	[kW]	[kW]
maximale Last	833,2	829,9	829,9	829,9
minimale Last <sup>1)</sup>	86,1	-68,7	-68,7	0,0

1) negative Lastwerte entsprechen einem Erzeugungüberschuss

Tabelle 66: Jahreshöchstlasten an den jeweiligen Bilanzierungsstellen, Lasten und Erzeugungüberschüsse.

Der komplette Wärmebedarf des Stadtraumtyps wird durch Wärmenetze bereitgestellt. Folglich kommen in diesem Stadtraumtyp weder solarthermische Anlagen noch Wärmepumpen zum Einsatz. Die Darstellung und Bilanzierung der Wärmeversorgung erfolgt im Rahmen der Darstellung der Wärmenetze.

10.23.1.1 Dynamik von Verbrauch und Erzeugung

10.23.1.1.1 Strom

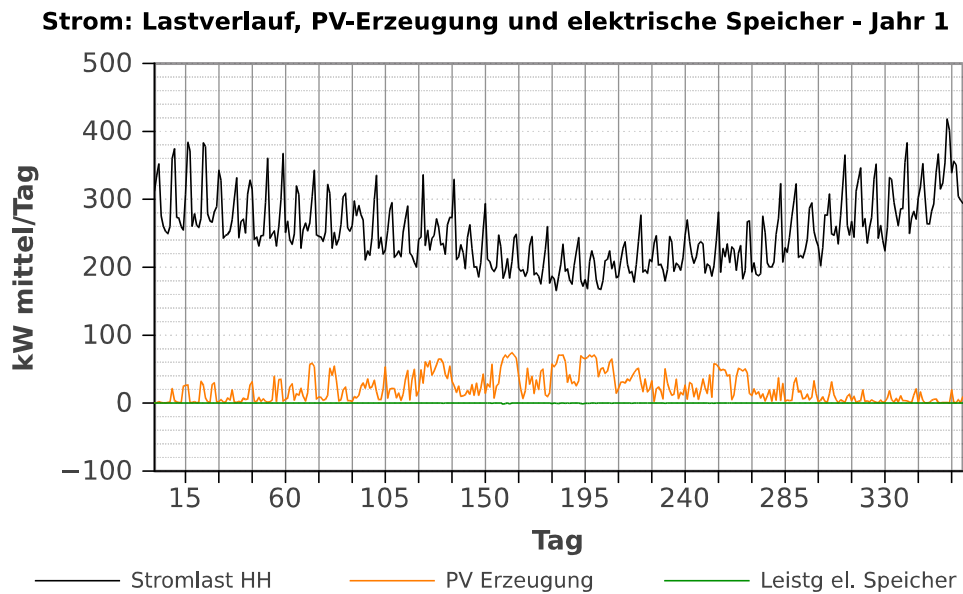


Abbildung 127: SRT 23 Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr1.

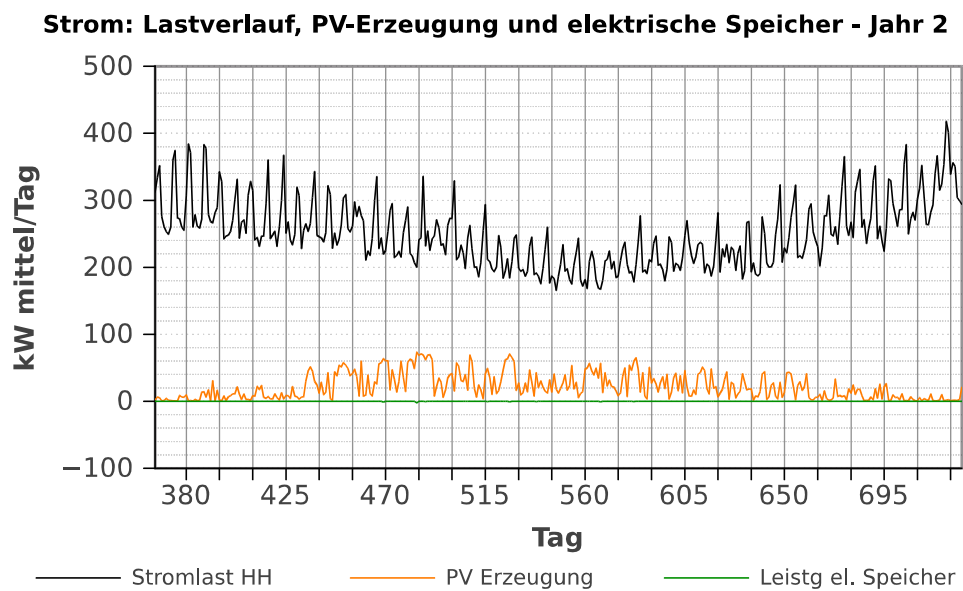


Abbildung 128: SRT 23, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr2.

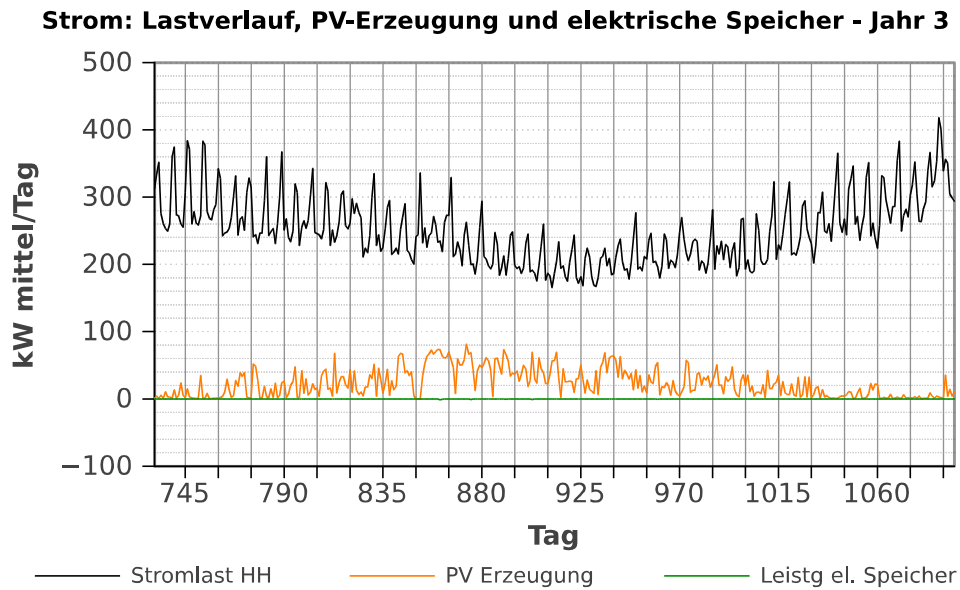


Abbildung 129: SRT 23, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 3.

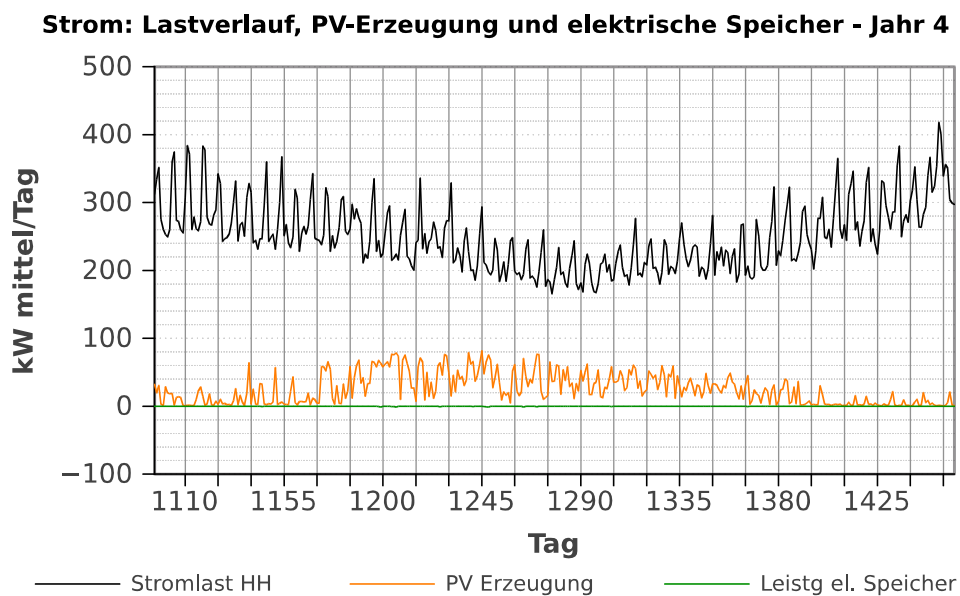


Abbildung 130: SRT 23, Strom: Tagessummen von Verbrauch und PV Erzeugung - Jahr 4.



10.23.1.2 Beispiele höher aufgelöster Darstellungen der Stundenwerte

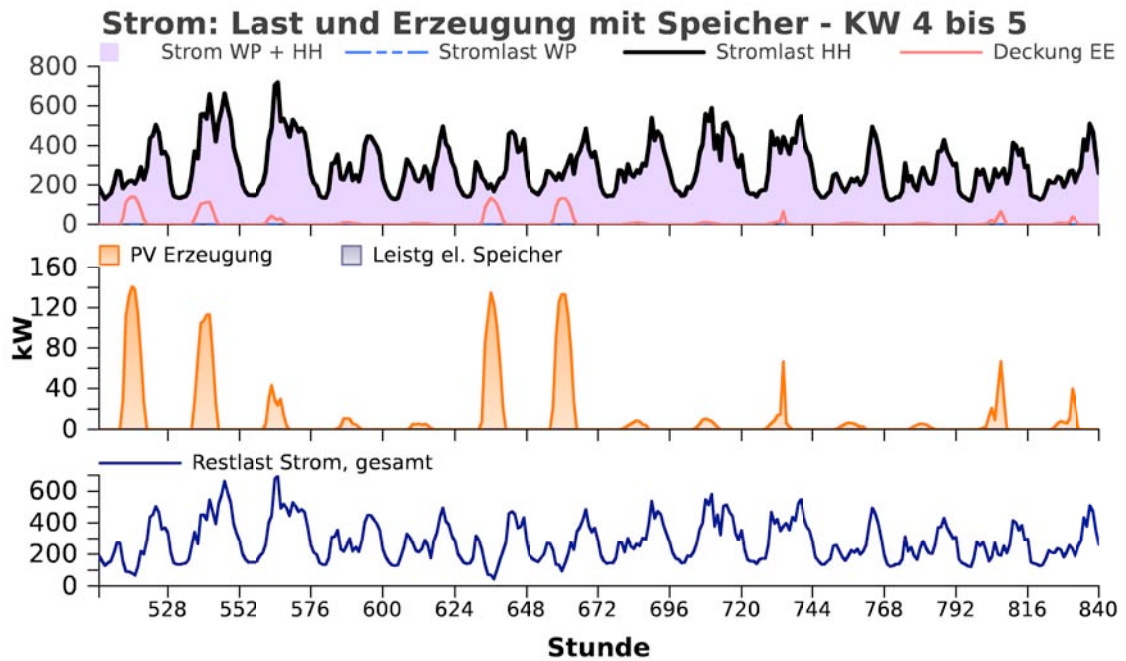


Abbildung 131: SRT 23, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 4. und 5. Kalenderwoche des ersten Jahres.

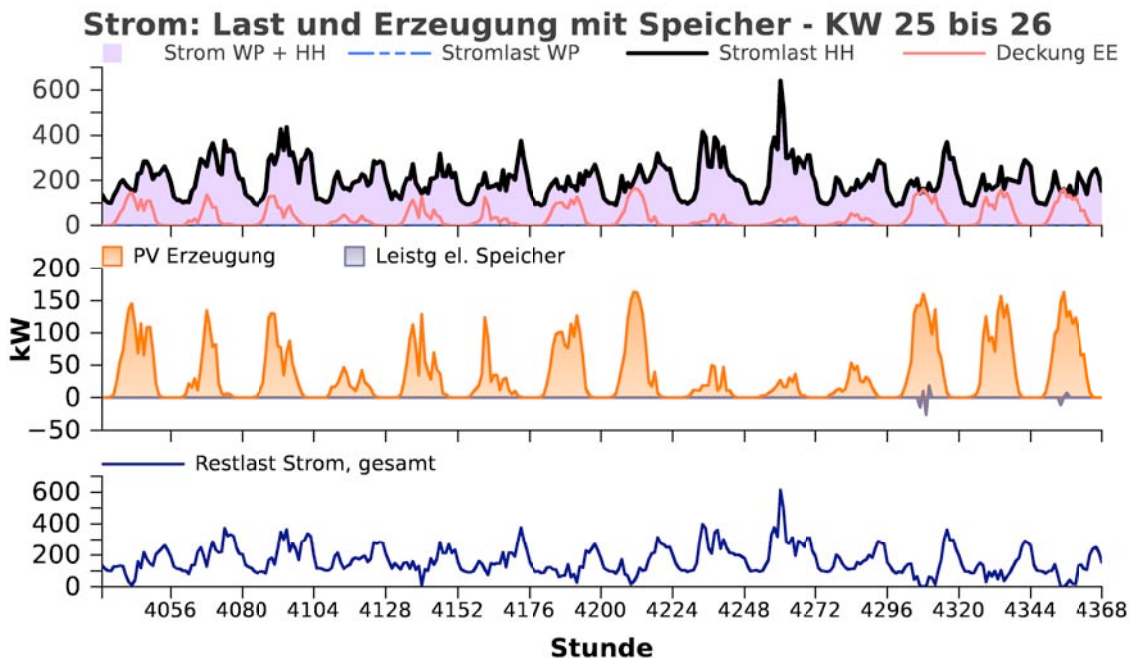


Abbildung 132: SRT 23, Strom: Verlauf von Last und Erzeugung in der 25. und 26. Kalenderwoche des ersten Jahres.

## 11. Zusammenfassung der Gesamtergebnisse mit dezentralen elektrischen Speichern

Die unterschiedlichen Nutzungsbedingungen für Solarenergie in den verschiedenen Stadtraumtypen, die variierende Gewichtung zwischen dem jeweiligen Einsatz von Photovoltaik und Solarthermie und unterschiedliche strukturelle Gegebenheiten führen in den Stadtraumtypen zu einer großen Spreizung in Bezug auf die möglichen Deckungsbeiträge für Strom und Wärme.

Trotz des teilweise geringen Beitrags der Photovoltaik kommt es in allen Stadtraumtypen ohne elektrische Speicher zu Leistungsüberschüssen, d.h. es erfolgt eine Umkehr der Lastflussrichtung in den lokalen Versorgungsnetzen. Durch den Einsatz dezentraler elektrischer Speicher kann diese Situation in den meisten Stadtraumtypen verhindert werden. Lediglich bei den Stadtraumtypen mit den höchsten PV-Beiträgen treten noch nicht lokal nutzbare Erzeugungsüberschüsse auf, wobei auch hier die zu exportierende Strommenge teils deutlich über dem jeweiligen lokalen Stromverbrauch liegt. Trotzdem kann sich - auch mit Speichern - keiner der Stadtraumtypen selbst versorgen; insgesamt überwiegen überall die Zeiten, in denen die eigene Erzeugung nicht zur Deckung der vorliegenden Last ausreicht, fehlende Leistung also aus dem Energieverbund Wilhelmsburg oder aus umgebenden Netzbereichen bezogen werden muss.

	Strombedarf	Anteil an Strombedarf	PV- Erzeugung	PV lokale Nutzung / Export
	in MWh		in MWh	
	572.036,2		201.938,9	
	Strommenge		PV-Anteile	
	in MWh	in %	in %	in %
<b>Mengenbilanzierung (statisch)</b>				
Strombedarf Haushalte in SRT	569.423,8	100,0%	35,5%	100,0%
Wärmepumpenstrombedarf in SRT	2.612,4	0,5%	7.730,0%	
Gesamtstrombedarf SRT	572.036,2	100,5%	35,3%	100,0%
ungedeckter Strombedarf	370.097,3	64,7%		
gedeckter Strombedarf	201.938,9	35,3%		
<b>Versorgungsbilanzierung nur Haushaltsstrom (dynamisch)</b>				
Restlast nach PV	437.353,4	76,8%		
Gedeckt durch PV	132.070,5	23,2%	23,2%	65,4%
Überschüsse nach PV	69.868,5	12,3%		34,6%
<b>Versorgungsbilanzierung inkl. Wärmepumpen (Gesamtstrom, dynamisch)</b>				
Restlast nach Wärmepumpen	439.917,7	76,9%		
Gedeckt durch PV	132.118,5	23,1%	23,1%	65,4%
Überschüsse nach Wärmepumpen	69.820,5	12,2%		34,6%
<b>Versorgungsbilanzierung inkl. Stromspeichern (Gesamtstrom, dynamisch)</b>				
Restlast nach Stromspeichern	395.578,6	69,2%		
Gedeckt durch PV	176.457,7	30,8%	30,8%	87,4%
Überschüsse nach Stromspeichern	6.418,9	1,1%		3,2%

Tabelle 1: Bilanzierung, PV-Anteile und lokale Nutzung der Photovoltaik über alle Stadtraumtypen.

Neben der Vernetzung der Stadtraumtypen untereinander ziehen die Stadtraumtypen auch einen Vorteil aus der Verwendung elektrischer Speicher: während der Strombedarf der Stadtraumtypen ohne Speicher zu gut 23% aus der lokalen PV-Erzeugung gedeckt werden konnte, führt der Einsatz elektrischer Speicher zu einem

Anstieg des PV-Anteils auf knapp 31% (plus ca. 8%). Deutlicher noch fällt der Unterschied in Bezug auf lokal nicht nutzbare Erzeugungsüberschüsse aus, die sich von 12,2% (gemessen am Gesamtstrombedarf) auf lediglich 1,1% verringern. Auch der lokale Nutzungsgrad des PV-Stroms erfährt durch die Verwendung der Stromspeicher eine deutliche, positive Veränderung: ohne Speicher musste etwa ein Drittel der PV-Stroms exportiert werden. Die Stromspeicher reduzieren diesen Anteil auf 3.2%. In der Folge steigt der Anteil des vor Ort genutzten PV-Stroms von gut 65% auf über 87% an.

Zusammen mit der über Wilhelmsburg verteilten und auf dem Energieberg stattfindenden Erzeugung aus Windenergie, weiteren Photovoltaikanlagen auf Energieberg und Energiebunker, in Kirchdorf Süd und in Wilhelmsburg verteilten Projekten sowie in lokale Wärmenetze eingebundene KWK-Anlagen, kann in der Gesamtbetrachtung der simulierten vier Jahre deutlich mehr Strom in Wilhelmsburg erzeugt werden, als insgesamt in dieser Zeit verbraucht wird.

Dabei fallen zwar die Einzelbilanzen der Jahre recht unterschiedlich aus, doch in jedem einzelnen der vier simulierten Jahre wird in Wilhelmsburg deutlich mehr Strom erzeugt, als verbraucht wird.

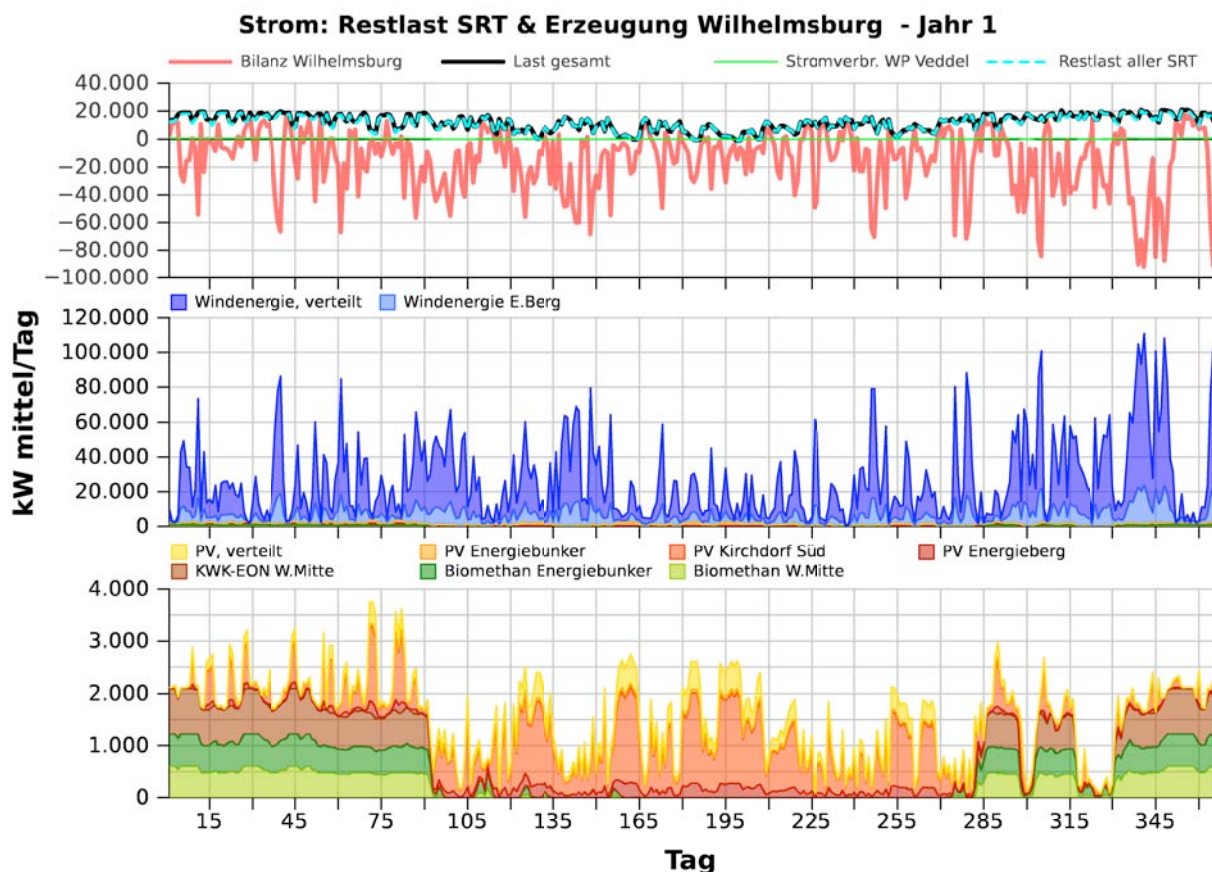


Abbildung 1: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadraumtypen, Jahr 1.

Die aus der Restlast der Stadraumtypen (Abbildung 1, gestrichelte, cyanfarbene Linie im oberen Diagramm) und dem Stromverbrauch der Wärmepumpen in der Veddel (grüne Linie) resultierende Gesamtstromlast für Wilhelmsburg (schwarze Linie) wird

nur unmaßgeblich durch den Stromverbrauch der Wärmepumpen beeinflusst. Die Gesamtstrombilanz für Wilhelmsburg (rote Linie im oberen Diagramm) weist vorwiegend Stromüberschüsse auf (negativer Wertebereich), reicht aber gelegentlich nahe an den Verlauf der Gesamtlast heran, was bedeutet, dass nur ein geringer Teil der vorliegenden Last aus eigener Erzeugung gedeckt werden kann.

Der Verlauf der Erzeugung aus KWK-Anlagen folgt dem Verlauf des Wärmebedarfs und somit dem weitgehenden Verlauf der Außentemperaturen. Deutlich zeichnet sich auch der Zeitraum der „Heizsaison“ ab. Die gesamte Leistung der KWK-Anlagen ist jedoch so gering, dass deutliche Auswirkungen auf die Versorgungssituation nicht zu beobachten sind. Da der Verlauf sich in allen vier simulierten Jahren stark gleicht, wird im Weiteren nicht mehr näher auf den Beitrag der KWK eingegangen.

Die weiteren Abbildungen zeigen die Verläufe für die Jahre 2, 3 und 4. Unterschiede treten aufgrund der wetterbedingten Schwankungen der fluktuierenden Erzeugung auf, die sich auch unmittelbar auf die Strombilanz für Wilhelmsburg auswirken.

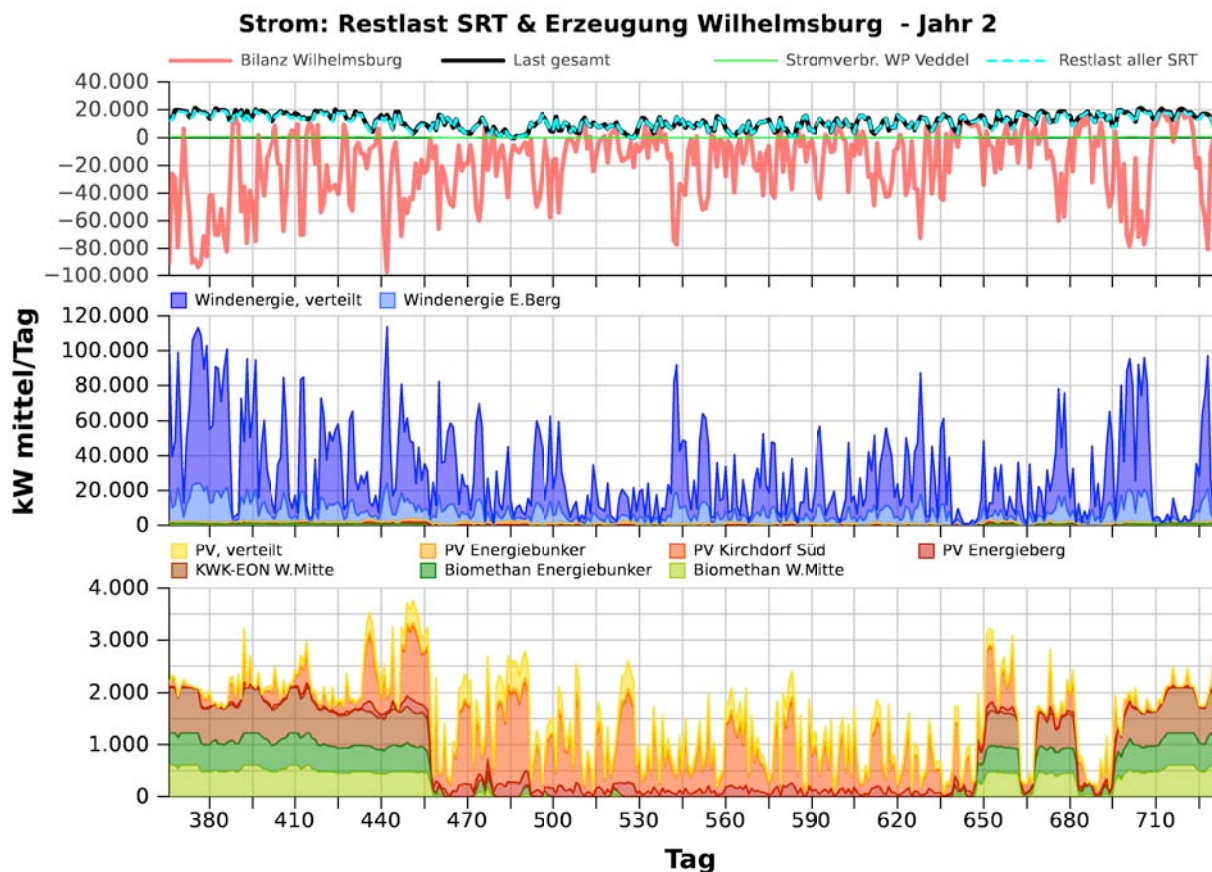


Abbildung 2: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 2.

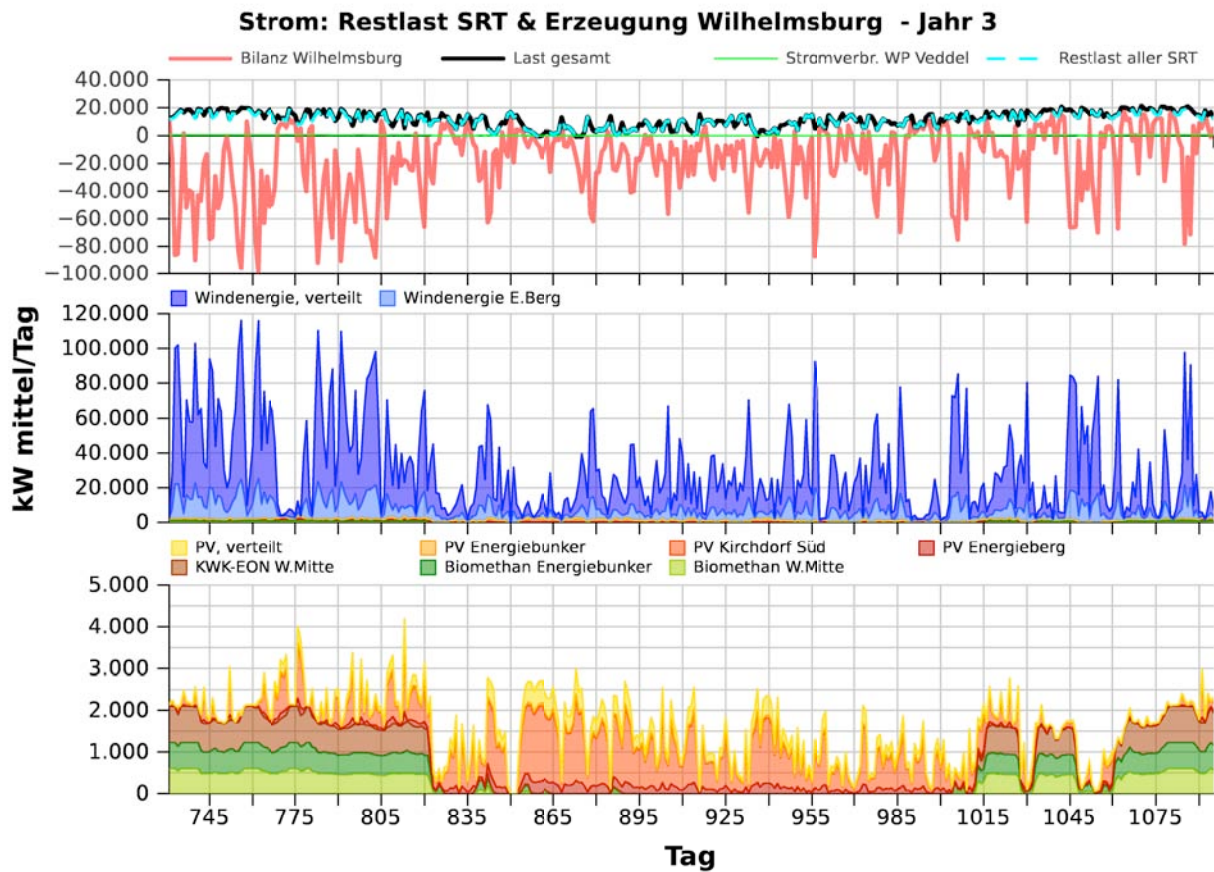


Abbildung 3: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 3.

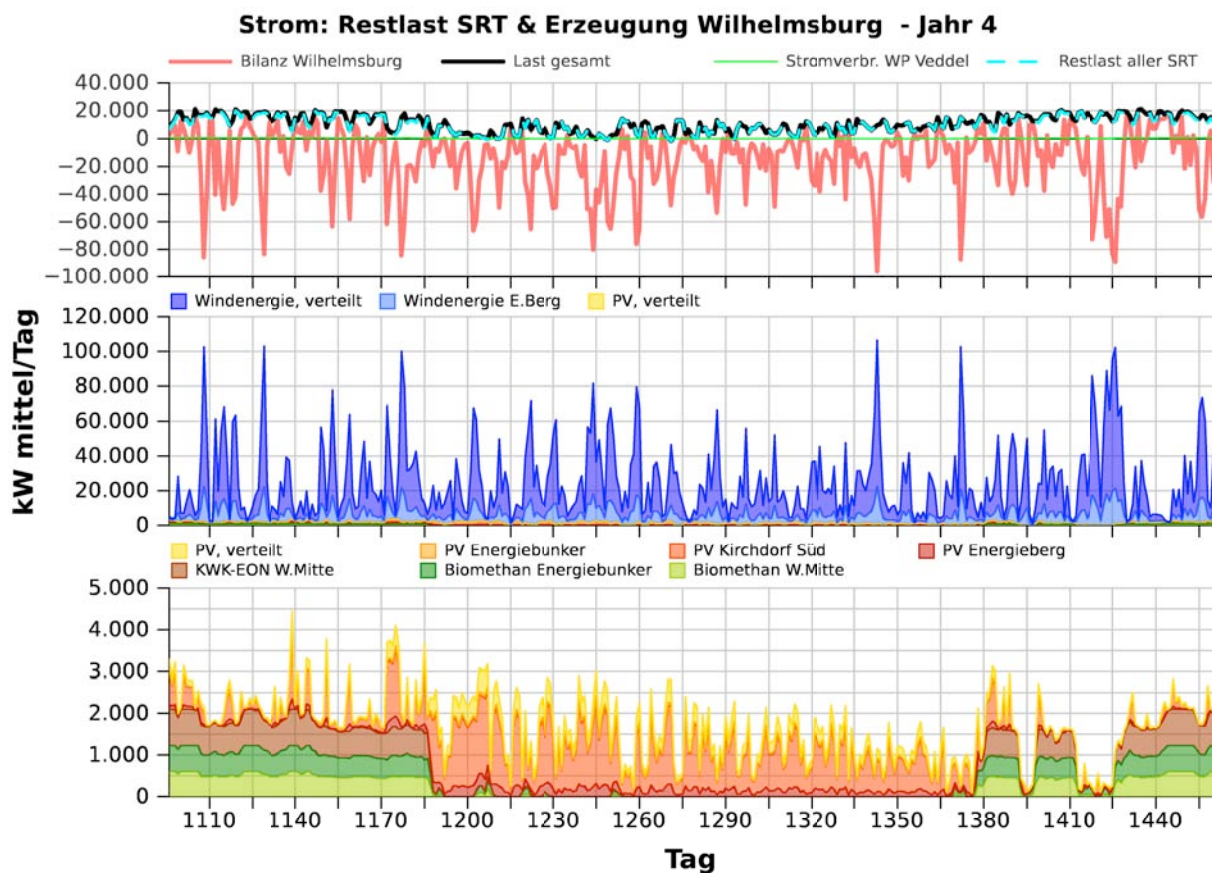


Abbildung 4: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung ausserhalb der Stadtraumtypen, Jahr 4.

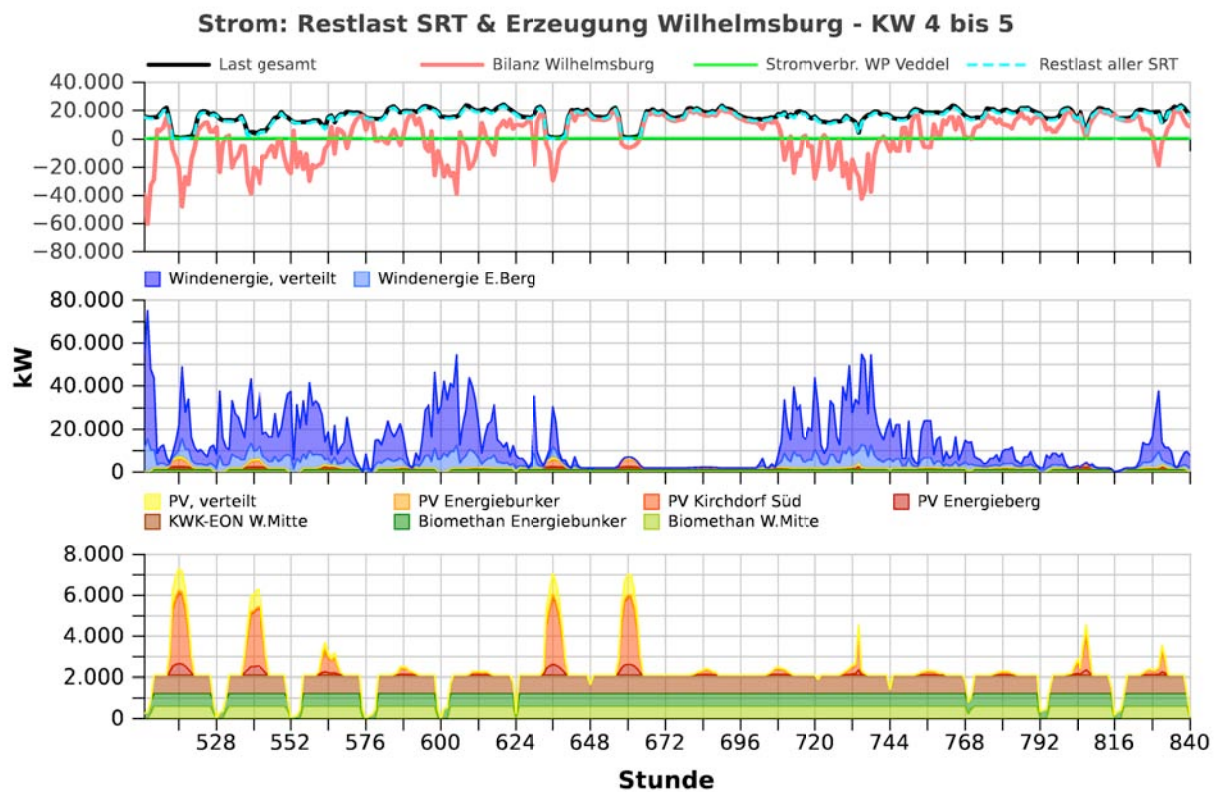
Insgesamt kann nicht von einer autarken Vollversorgung gesprochen werden. In allen Jahren muss häufig Leistung aus vorgelagerten Netzen zur Lastdeckung bezogen werden. Auch weist die Versorgung die typischen Merkmale eines Versorgungssystems mit hohen Anteilen fluktuierender Erzeugung auf: die maximal an vorgelagerte Netze abzusetzende Leistung übersteigt den maximalen Leistungsbezug deutlich.

### 11.1 Darstellung ausgewählter Wochen in höherer Auflösung

Der folgende Abschnitt zeigt eine Abbildung der Gesamtversorgung Wilhelmsburgs in einer höheren Auflösung. Dargestellt sind jeweils Abschnitte von 2 Wochen, jeweils für die 4. bis 5. und die 25. bis 26. Woche eines Jahres, entsprechend den jeweiligen Zeiträumen Ende Januar/Anfang Februar sowie Ende Juni.

#### 11.1.1 Jahr 1

Geprägt ist der dargestellte Zeitraum zu Beginn des ersten Jahres durch ein mäßiges Angebot an Windenergie, gepaart mit dem nur geringen Angebot an Solarenergie zu dieser Jahreszeit (Abbildung 5). Um die Mitte des dargestellten zweiwöchigen Zeitraum kommt es zu einem länger andauernden Ausfall der Erzeugung aus Windenergie aufgrund des schwachen Windes. Während dieser Zeit verläuft die Gesamtbilanz für Wilhelmsburg sehr nahe an der Gesamtlast, da lediglich die KWK-Anlagen geringfügig zur Lastdeckung beitragen.



*Abbildung 5: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 1, Wochen 4 und 5.*

Auch während der Sommerwochen des ersten Jahres ist der Ertrag der Windenergie recht gering, jedoch deutlich wechselhafter als in den Wochen zu Beginn des Jahres (Abbildung 6). Längeren Flautezeiten stehen vereinzelt hohe Leistungsspitzen der Windenergie gegenüber, die jedoch selten länger als ein paar Stunden andauern. Die Photovoltaik liefert größtenteils hohe Erträge, jedoch fallen die Leistungsspitzen größtenteils in eine Zeit, in der schon die Photovoltaik innerhalb der Stadtraumtypen mehr Strom erzeugt, als zeitgleich dort verbraucht wird. Hieraus resultieren dann vor allem höhere Stromexporte aus Wilhelmsburg heraus.

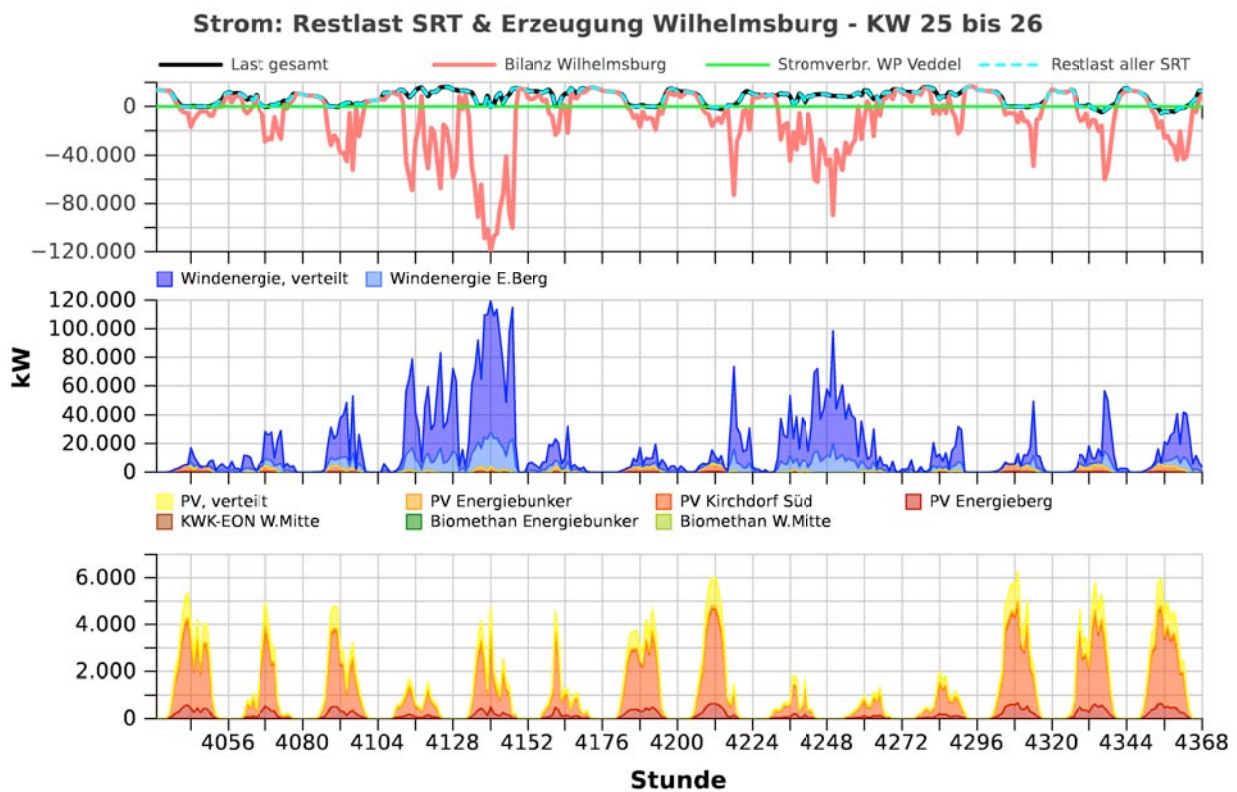


Abbildung 6: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 1, Wochen 25 und 26.

### 11.1.2 Jahr 2

Bis auf eine etwa drei Tage andauernde Flaute während der ersten Woche, weist die Windenergie zu Beginn des zweiten Jahres (4. und 5. KW) gute Erträge mit hohen Spitzenleistungen auf, die öfter auch über längere Zeiten andauern (Abbildung 7). Die Photovoltaik steuert gelegentlich kurz andauernde Leistungsspitzen bei. Auch hier ist die Versorgungsbilanz hauptsächlich durch den Ertrag der Windenergie geprägt: fällt diese aus, so verläuft die Bilanz nahe der Gesamtlast, liefert die Windenergie hohe Erträge, resultieren daraus recht schnell hohe Stromexporte.



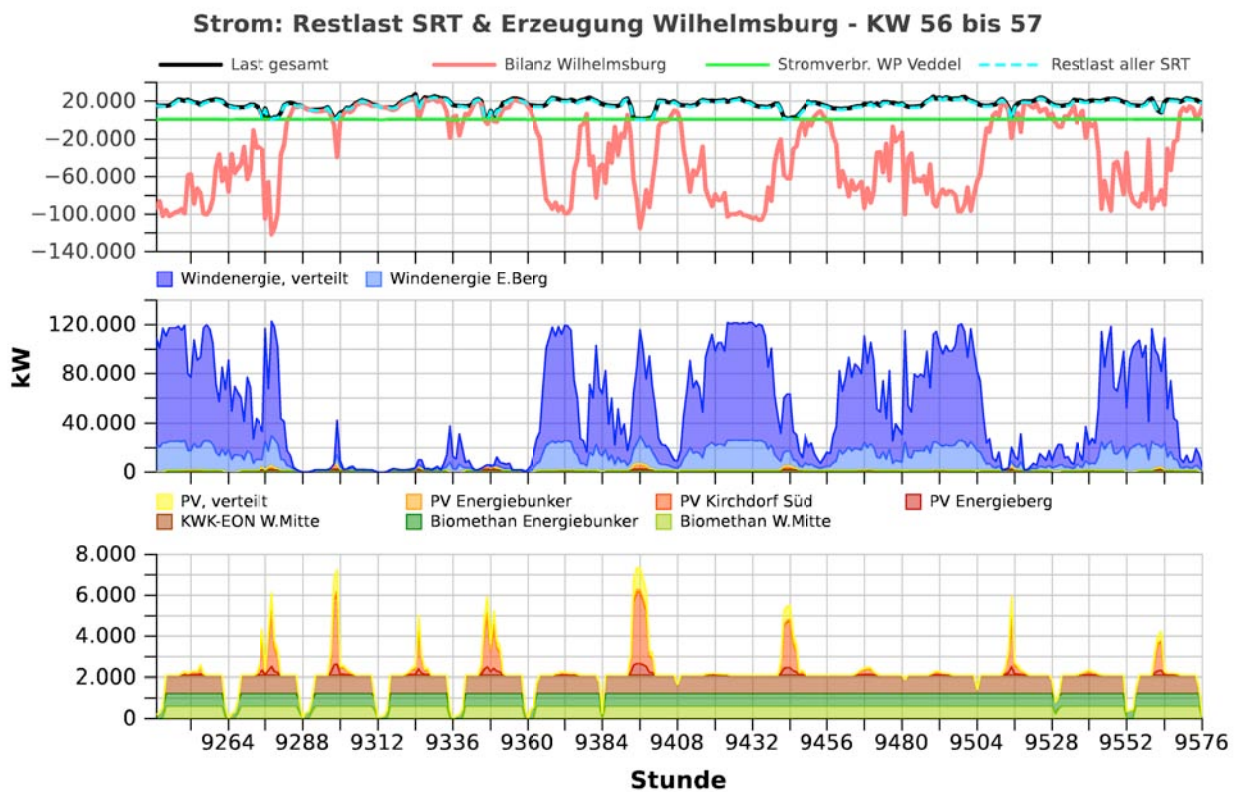


Abbildung 7: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 2, Wochen 4 und 5.

In den zwei Sommerwochen des zweiten Jahres kommt es bis in die zweite Woche hinein zu einem beinahe Totalausfall der Windenergie (Abbildung 8). Während dieser Zeit treten nur kurzfristig höhere Erzeugungsleistungen der Windenergie auf. Für die Photovoltaik zeigt sich ein durchwachsendes Bild, in dem gelegentlich höhere Erzeugungsleistungen auftreten, die jedoch von großen Schwankungen begleitet werden. In der Regel fallen die Erzeugungsspitzen von Windenergie und Photovoltaik zusammen; dementsprechend hoch fallen die notwendigen Stromexporte zu diesen Zeiten aus.

Etwa zu Beginn des zweiten Drittels der zweiten Woche zieht die Erzeugung der Windenergie deutlich an und verläuft ab dann auch wesentlich konstanter, als dies in den vorangegangenen Tagen zu beobachten war. In der Folge ist der restliche Zeitraum des dargestellten Abschnitts stark durch kontinuierliche Erzeugungsüberschüsse geprägt (Stromexport). Nur noch gelegentlich fällt die fluktuierende Erzeugung auf Werte nahe Null ab. Zu diesen Zeiten muss die Stromversorgung dann weitgehend durch den Strombezug aus angrenzenden Netzgebieten gesichert werden.

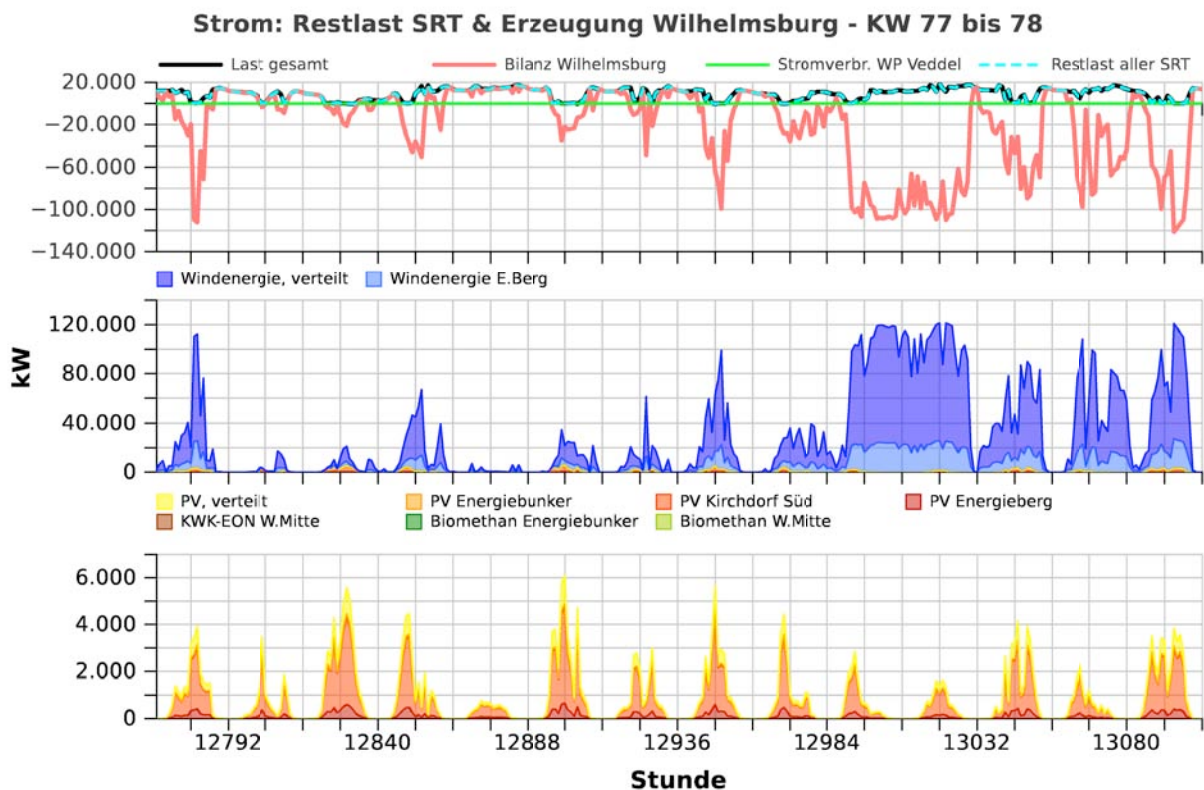


Abbildung 8: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 2, Wochen 25 und 26.

### 11.1.3 Jahr 3

Am Beginn des dritten Jahres (wiederum die 4. und 5. KW) zeigt sich die Windenergie wechselhaft: zwei, jeweils längeren Zeitabschnitten mit konstant hohen Erzeugungsleistungen stehen auch zwei längere Zeitabschnitte mit geringer Erzeugung gegenüber, in denen nur gelegentlich höhere Erzeugungsspitzen auftreten (Abbildung 9). Bis auf eine Erzeugungsspitze zur Mittagszeit des dritten Tages, muss die Photovoltaik im dargestellten Zeitraum im wesentlichen als „abwesend“ bezeichnet werden.

Durch die, im Vergleich zur maximal auftretenden Last, hohe installierte Leistung der Windenergie ist der dargestellte zweiwöchige Zeitraum dennoch maßgeblich durch Erzeugungsüberschüsse geprägt.

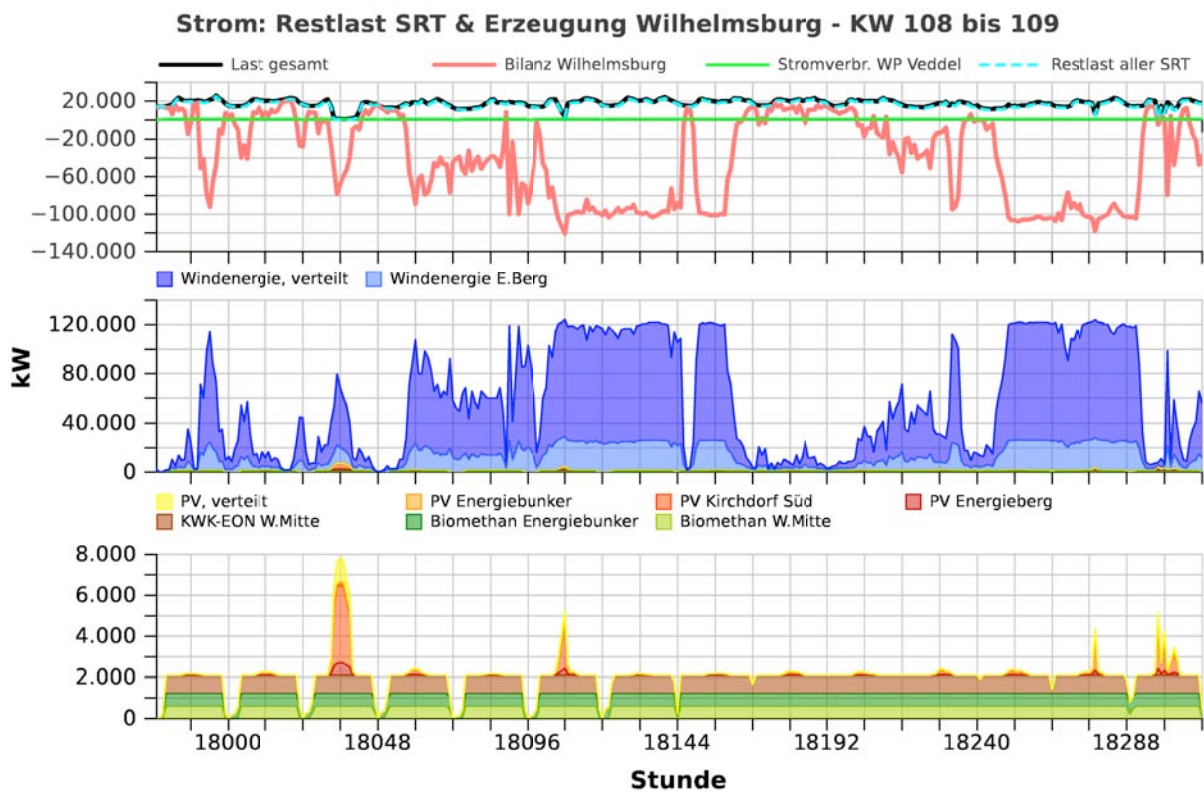


Abbildung 9: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 3, Wochen 4 und 5.

Die zwei Sommerwochen des dritten Jahres (Abbildung 10) sind vor allem durch eine gute Erzeugungssituation der Photovoltaik gekennzeichnet. Es werden durchweg bis auf wenige Ausnahmen hohe Leistungen erreicht, die oftmals auch recht konstant anliegen (konstant im Sinne des mit dem Lauf der Sonne variierenden Angebots). Die Erträge der Windenergie schwanken häufig zwischen niedrigen und moderaten bis hohen Leistungen und korrelieren auffällig stark mit der Sonneneinstrahlung. Dementsprechend präsentiert sich auch der Verlauf der Strombilanz für Wilhelmsburg, die häufig und regelmäßig zwischen Erzeugungsüberschüssen und Erzeugungsdefiziten wechselt.

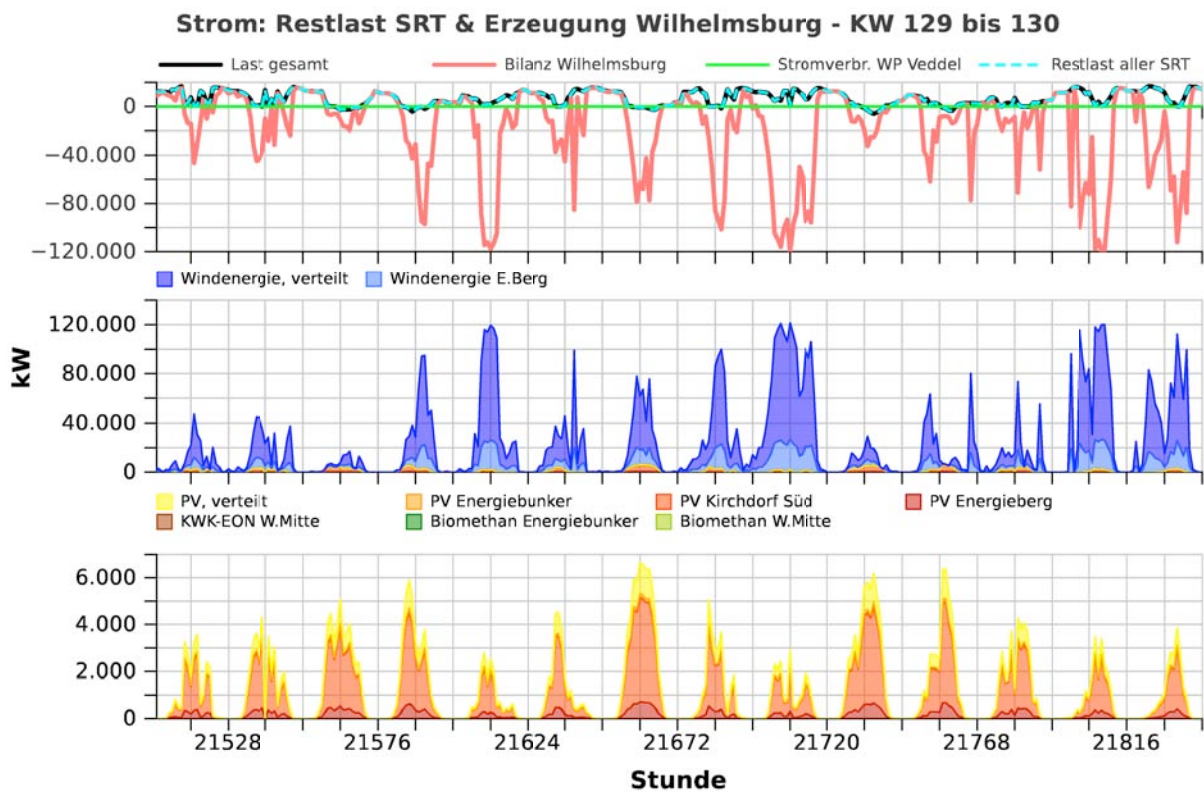


Abbildung 10: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 3, Wochen 25 und 26.

#### 11.1.4 Jahr 4

Nur in der ersten, der 4. und 5. Kalenderwoche des vierten Jahres treten längere Zeiten mit guter Windenergieerzeugung auf (Abbildung 11). Vom Ende der 4. KW bis zum Ende des dargestellten Zeitraumes können durchgängig nur geringe Leistungsbeiträge aus der Windenergie erzielt werden. Typisch für diese Jahreszeit zeigt sich der Verlauf der Photovoltaik: gelegentlich treten um die Mittagszeit deutliche Leistungsbeiträge hervor, die überwiegende Zeit aber bleibt der PV-Ertrag aber aus.

Die Erzeugungssituation spiegelt sich unmittelbar im Verlauf der Strombilanz für das Gesamtgebiet von Wilhelmsburg.

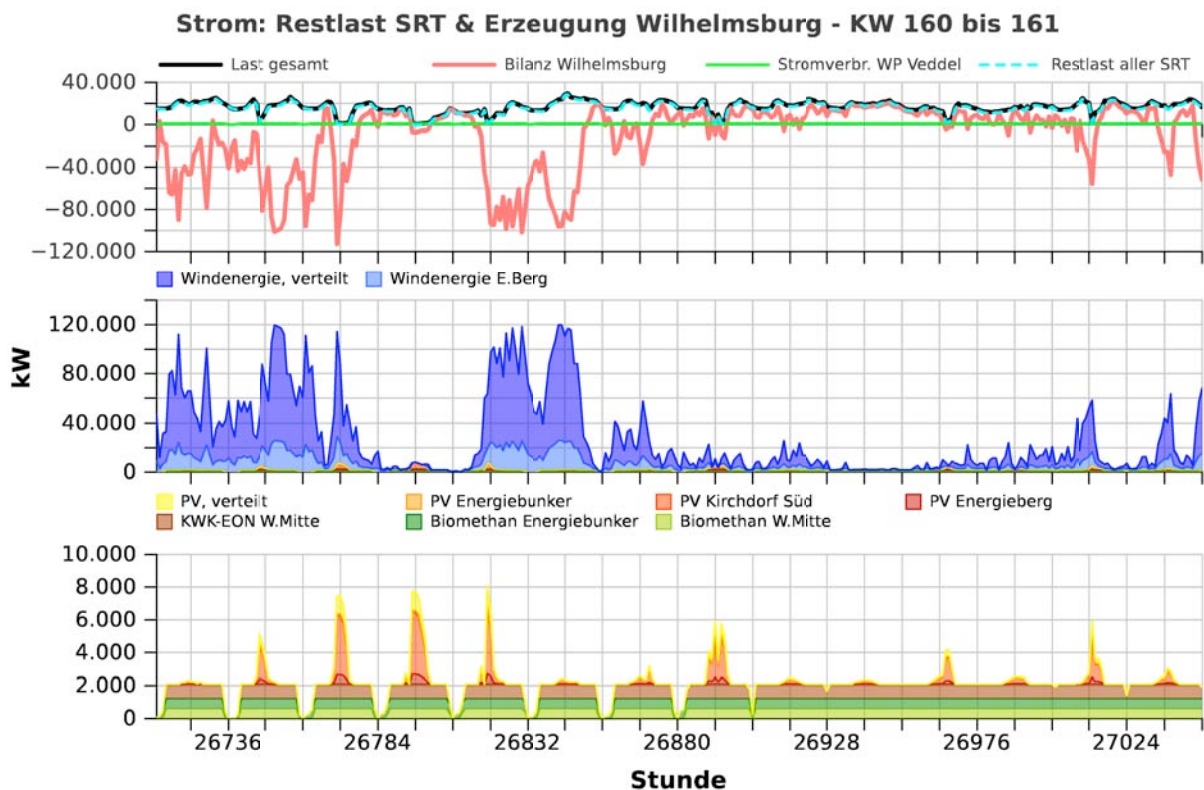


Abbildung 11: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 4, Wochen 4 und 5.

In den zwei Sommerwochen zur Mitte des vierten Jahres zeigt sich ein schon bekanntes Bild: die Bedingungen für die photovoltaische Stromerzeugung sind überwiegend gut, einige Tage weisen jedoch nur geringe PV-Leistungen auf (Abbildung 12). Die Windenergie zeigt sich wechselhaft und korreliert stark mit dem Solarstrahlungsangebot. Sowohl der Verlauf der Photovoltaik, als auch der der Windenergie spiegeln sich deutlich im Verlauf der Strombilanz wider: bei schwachem Solar- und Windangebot muss vorwiegend Leistung aus benachbarten Netzen bezogen werden, ein gutes Angebot an Solarstrahlung und/oder Wind wird von Stromexporten begleitet.

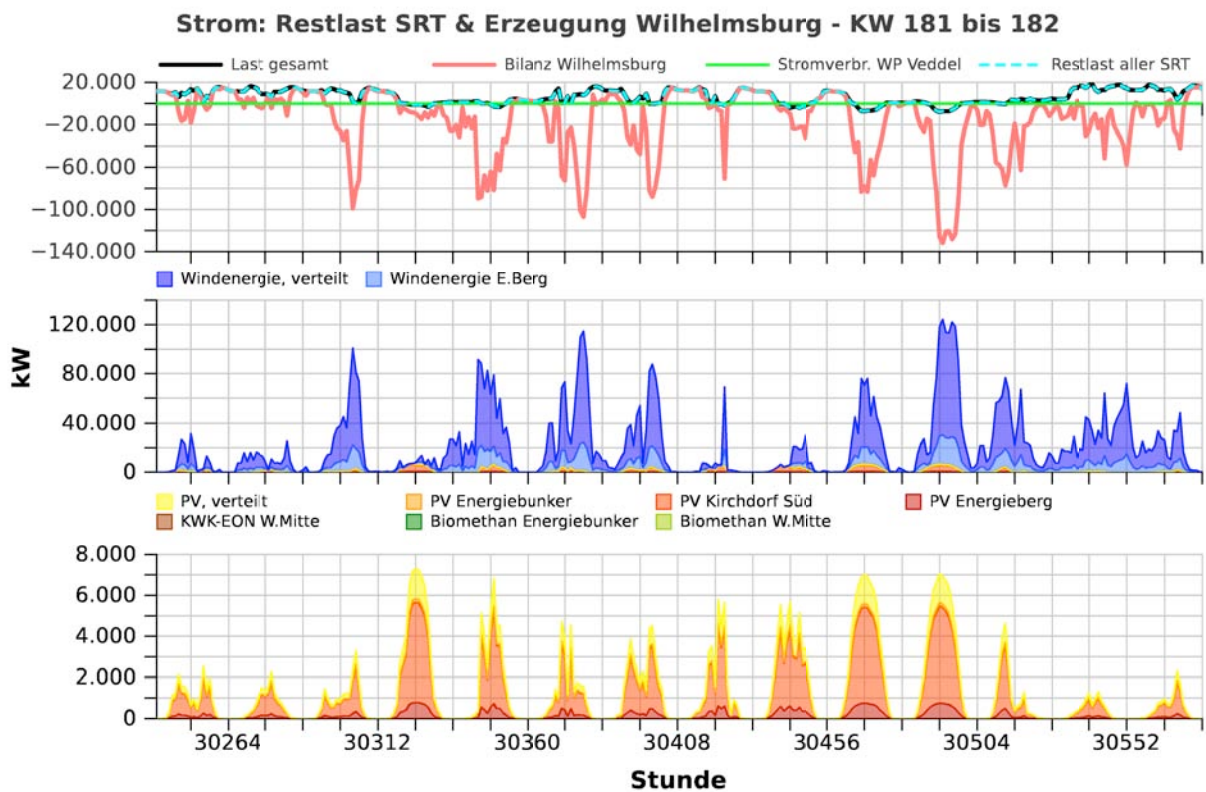


Abbildung 12: Gesamtversorgung Wilhelmsburg: Restlast aller SRT und EE-Erzeugung außerhalb der Stadtraumtypen, Jahr 4, Wochen 25 und 26.

# Impressum

im Auftrag der:

Internationalen Bauausstellung  
IBA Hamburg GmbH  
Am Zollhafen 12  
20539 Hamburg

Projektleitung IBA Hamburg:  
Karsten Wessel

Redaktion:

**A L R E N E**  
Ingenieurbüro

ALRENE Ingenieurbüro  
Am Brink 3  
22929 Kasseburg  
info@alrene.eu

Autoren:

Stefan Peter, München  
Dr. Alexa Lutzenberger, Kasseburg

Kasseburg, Juli 2013

Bildnachweis Titelseite:  
IBA Hamburg / [www.luftbilder.de](http://www.luftbilder.de)

# Als Stromnetz Hamburg GmbH haben wir die Zukunft der Stadt im Blick

---

Wir sind für sie da! 24 Stunden am Tag, sieben Tage die Woche, 365 Tage im Jahr – und immer einen Schritt voraus.

Die Erstellung der  
Stromstudie wurde  
unterstützt durch  
die Stromnetz  
Hamburg GmbH.