



## Schlussbericht

### Vorhaben: „Wohnen am Campus“ in Berlin-Adlershof Wärmeversorgung aus einem Rücklauf-Niedertemperaturnetz mit Einbindung von regenerativen Energien

Förderprojekt Nr.: 03ET1155A und 03ET1155B

Laufzeit: 01.09.2012 bis 31.08.2019

Berichtszeitraum: 01.09.2012 bis 31.08.2019

im Clustervorhaben: „HighTech-LowEx: Energieeffizienz Berlin-Adlershof 2020“

Gefördert vom



im 6. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung

Förderschwerpunkt: EnEff: Wärme

Verbundprojekt: Messkonzept/Monitoring mit der TU Dresden

Antragsteller: BTB GmbH  
**Blockheizkraftwerks-, Träger- und Betreibergesellschaft mbH Berlin**  
Gaußstraße 11, 10589 Berlin  
Sitz Berlin, AG Berlin-Charlottenburg, HRB 33691

TU Dresden  
**Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik**  
01062 Dresden

Ansprechpartner: BTB GmbH / Dipl.-Ing. Andreas Reinholz  
Tel. +49 30 349907-72 / E-Mail: andreas.reinholz@btb-berlin.de

TU Dresden / Prof. Dr.-Ing. Clemens Felsmann  
Tel. +49 351 46337685 / E-Mail: clemens.felsmann@tu-dresden.de

Datum: 20.03.2020

## Abkürzungsverzeichnis

AVB Fernwärme	Allgemeine Versorgungsbedingungen Fernwärme
BHKW	Block-Heiz-Kraft-Werk
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
EEWärmeG	Erneuerbare Energien-Wärme-Gesetz
EFH	Einfamilienhaus
GEG	Gebäude Energie Gesetz
FW	Fernwärme
HANEST	HausAnschluss- und NetzEinspeiseSTation HANEST (© TU Dresden)
HAST	HAusSTation
iKWK	Innovative Kraft-Wärme-Kopplung
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
NEST	NetzEinspeiseSTation
MAG	Membranausdehnungsgefäß
MFH	Mehrfamilienhaus
MNG	Membran-Ausdehnungsgefäß
Pu	Pumpe
R&I Schema	Rohrleitungs- und Instrumentenfließschemas
RL	Rücklauf
SDB	Sicherheitsdruckbegrenzer
STA	Solarthermische Anlage
STW	Sicherheitstemperaturwächter
TWE	Trinkwassererwärmung
Ve	Ventil
VL	Vorlauf
WMZ	Wärmemengenzähler
WÜ	Wärmeübertrager
WÜST	WärmeübertragerSTation

## Inhaltsverzeichnis

1	Kurzdarstellung	6
1.1	Aufgabenstellung	6
1.2	Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde	7
1.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	7
1.4	Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde	12
1.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen	17
2	Eingehende Darstellung	19
2.1	Projektbeschreibung	19
2.2	AP1 Planung und Lastenheft	21
2.2.1	Anforderungen des Entwicklungsträgers	21
2.2.2	Verhandlungen mit den Investoren	22
2.2.3	Auswirkungen auf den Bau des Versorgungsnetzes	24
2.3	AP2 Errichtung	25
2.3.1	Bau des Wärmenetzes	25
2.3.2	Bau der Pilot-HANEST an der TU Dresden	26
2.3.3	Bau der HANEST Baywobau, Haus 4	26
2.3.4	Bau der Solaranlage Baywobau, Haus 4	27
2.3.5	Bau der BTB-eigenen Solar-HAST Laborgh/HOWOGE	27
2.3.6	Bau der BTB-eigenen Solar-HAST Newton-Projekt	28
2.3.7	Abwärmenutzung aus einem Serverschrank bei der Wohnungsgesellschaft Treptow Nord eG: CLOUD&HEAT	28
2.4	Verwendung und erzielte Ergebnisse (AP3 Monitoring, AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)	29
2.4.1	Ziele und Ergebnisse des Vorhabens	29
	Ziele	29
	Ergebnisse	29
2.4.2	Wesentliche Elemente	30
	Konkurrenzfähige Durchsetzung der Fernwärme gegenüber dem leitungsgebundenen Energieträger Gas und regenerativen Alternativen der Investoren	30
	„Wärmewende im Quartier“- Attraktivität regenerativer Alternativen Investoren	30
	Warmmietenneutralität	31
	Realisierung dezentrale Solarthermieanlagen durch Gebäudeeigentümer	31
	Ausrüstung von ausgewählten Hausübergabestationen mit erweiterter Messtechnik	32
2.4.3	Niedertemperaturnetz (AP3 Monitoring, AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)	32
2.4.4	Solaranlage Baywobau Haus 4 (AP3 Monitoring, AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)	37
2.4.5	HANEST Baywobau Haus 4 (AP3 Monitoring, AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)	41
2.4.6	Solar-Anlage und Solar-HAST Laborgh/HOWOGE (AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)	49
2.4.7	Solar-Anlage und Solar-HAST Baugruppe Newtonprojekt (AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)	53
2.4.8	Bilanzielle Bewertung der HANEST Baywobau und der Solar-HAST Laborgh/HOWOGE (AP3 Monitoring, AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)	55
2.5	Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	61
2.6	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit	61

2.7	Voraussichtlicher Nutzen / Verwertungsplan (AP4: Verwertung)	61
2.7.1	Handlungsempfehlungen für Versorger	62
2.7.2	Handlungsempfehlungen für Akteure	65
2.8	Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet bei anderen Stellen	67
2.9	Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse nach Nr. 11	69
	Literaturverzeichnis	73

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Bauablauf "Wohnen am Campus" Status der Wärmeversorgung seitens der BTB .....	12
Abbildung 2: Darstellung der allgemeinen Betriebszustände einer HANEST [10] .....	15
Abbildung 3: „Wohnen am Campus“ Geplante Gebäudetypologie 2012 und 2014.....	20
Abbildung 4: „Wohnen am Campus“ Fertiggestellte Gebäude 2018.....	21
Abbildung 5: Baugebiet "Wohnen am Campus" Foto: Andreas Reinholz .....	24
Abbildung 6: R&I Schema WÜST; TU Dresden.....	33
Abbildung 7: Ansicht WÜST (links) und Detail mit temporäre. Volumenstrommessung (rechts); Fotos: TU Dresden .....	34
Abbildung 8: Temperaturen an der Wärmeübertragerstation; TU Dresden .....	35
Abbildung 9: Volumenströme WÜST; TU Dresden.....	36
Abbildung 10: Niedertemperaturnetz "Wohnen am Campus"; BTB.....	37
Abbildung 11: Solarkollektoren einschließlich Anbindeleitungen auf dem Dach; Fotos: Julia Raab .....	38
Abbildung 12: Verschaltung der Kollektoren Anlage Baywobau Haus 4; [1] .....	38
Abbildung 13: Beispielhafte Anordnung von Entlüftern in der Solarthermieranlage Baywobau Haus 4; Fotos: Julia Raab .....	39
Abbildung 14: Hydraulischer Abgleich mittels Regulierventilen und beispielhafte Gesamtansicht der Kollektoranbindung in der Solarthermieranlage Baywobau Haus 4; Fotos: Julia Raab .....	39
Abbildung 15: Rohrdämmung und Durchflussprüfung über TacoSetter in der Solarthermieranlage Baywobau Haus 4; Fotos: Julia Raab .....	40
Abbildung 16: R&I Schema zur Einbindung der Solaranlage in die HANEST Baywobau Haus 4; [1].....	40
Abbildung 17: R&I Schema Feldanlage HANEST Baywobau Haus 4 mit Bilanzgrenzen; TU Dresden .....	42
Abbildung 18: Tagesverlauf mit den vier HANEST-Betriebszuständen, 01. Juni 2019; TU Dresden [1] .....	44
Abbildung 19: Diagramm zur TR3.1-Überwachung zur Gewährleistung der Abnehmersversorgung, 27. Juni 2018; TU Dresden [1].....	46
Abbildung 20: Solaranlage Laborgh/HOWOGE; Foto: Ritter XL Solar .....	49
Abbildung 21: Solaranlage Laborgh / HOWOGE; BTB.....	50
Abbildung 22: Speicher und Anbindung der Solaranlage Laborgh/HOWOGE (vor der Wärmedämmung); Foto: Dr. R. Meißner, Ritter XL Solar .....	51
Abbildung 23: R & I Schema Solar-HAST Laborgh / HOWOGE; BTB .....	51
Abbildung 24: Rechnerische Bilanz aus Solarwärme, Bezug Fernwärme und Fernwärme-Einspeisung Solaranlage Laborgh/HOWOGE; Ritter XL Solar .....	52
Abbildung 25: Bilanz Kollektorfelder Solaranlage Laborgh/HOWOGE; Ritter XL Solar .....	52
Abbildung 26: Ertrag und Verluste Kollektorfelder Solaranlage Laborgh/HOWOGE; Ritter XL Solar .....	52
Abbildung 27: Ertrag und Verluste Kollektorfelder Solaranlage Laborgh/HOWOGE; Ritter XL Solar .....	53
Abbildung 28: Solaranlage Newtonprojekt; AHLISA GmbH.....	54
Abbildung 29: R & I -Schema Baugruppe Newtonprojekt; BTB.....	55
Abbildung 30: Bilanzraum für Wärmebilanzierung HANEST Baywobau; [1].....	56
Abbildung 31: Verbrauch und Verluste der bidirektionalen Anlage HANEST „Baywobau“ (107,8m <sup>2</sup> ); [13].....	57
Abbildung 32: Kumulierte Wärmeerträge und –bezüge 2018/19, TU Dresden.....	58
Abbildung 33: Verbrauch und Verluste der bidirektionalen Anlage Solar-HAST „LABORGH/Howoge“ (618 m <sup>2</sup> ); (Heidt, Jul. 2019).....	59

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Meilensteine im Projekt „Wohnen am Campus“ .....	8
Tabelle 2: Bauablauf „Wohnen am Campus“ seitens der BTB .....	10
Tabelle 3: Übersicht zu den Sensordaten an der WÜST; TU Dresden.....	34
Tabelle 4: Wärmemengen und Systemkennzahlen der Solaranlagen vom 01.07.18-01.07.19; [13] .....	60
Tabelle 5: Zahlenmäßiger Nachweis der wesentlichen Kosten (gemäß letztem Änderungsbescheid, vorläufiger Stand: 11.Februar 2020).....	61

# 1 Kurzdarstellung

## 1.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des EnEff Wärme-Vorhabens „Wärmeverbundnetz Wohnen am Campus“ hat die BTB die Möglichkeit der Fernwärmeversorgung eines kleinteiligen Niedrigenergie-Wohngebietes (kompletter Neubau) untersucht, dass in der zunächst vorgesehenen Gebäudetypologie eine sehr niedrige Wärmedichte aufwies. Das Wohngebiet „Wohnen am Campus“ hatte einen deutlich niedrigeren Wärmebedarf als im Allgemeinen für Fernwärmeversorgung notwendig erachtet wird. Da es keine Fernwärmesatzung gibt, muss sich das Konzept im Wärmemarkt durchsetzen. Darüber hinaus sollten die Energiekonzepte der Bauherren/Nutzer<sup>1</sup> bezüglich eigenerzeugter regenerativer Energie aufgenommen werden und die Möglichkeiten der Überschusseinspeisung in das Wärmeverbundnetz Wohnen am Campus genutzt werden.

Ziel war der Aufbau eines Niedertemperaturnetzes mit Anbindung an den Rücklauf des vorgelagerten Fernwärmenetzes, das es den Nutzern im Wohngebiet "Wohnen am Campus" in Berlin-Adlershof ermöglicht, den Überschuss aus eigenerzeugter regenerativer Energie in das Verbundnetz Wohnen am Campus mithilfe von dafür geeigneten Hausstationen einzuspeisen und damit die Ausnutzung der regenerativen Energien zu verbessern (BTB FKZ: 03ET1155A). Dadurch können bis zu 19 % Primärenergie eingespart werden.

Das vorliegende Forschungsprojekt leistet hierzu einen eigenen innovativen Beitrag, in dem die Wärmeversorgung des neu zu errichtenden städtischen Quartiers in Berlin-Adlershof über ein durch Kraft-Wärme-Kopplung versorgtes Fernwärmenetz erfolgt, wobei in besonderer Weise auf die dezentrale Einspeisung von regenerativer Überschusswärme aus solarthermischen Anlagen in die Wärmeverteilung sowie die dazugehörige Netzoptimierung fokussiert wird. Die beispielhafte Umsetzung im Projektgebiet wird im Rahmen eines Monitorings über mindestens zwei Heizperioden messtechnisch begleitet (Förderprojekt TU Dresden FKZ: 03ET1155B).

Die Verbindung der Fernwärmeversorgung aus dem Rücklauf mit der Einspeisung regenerativer Energie ins Netz über bi-direktionale Hausstationen ist der neue und innovative Ansatz dieses Projektes. Als Ergebnis des Vorhabens wurden für das Projekt Wohnen am Campus in Berlin-Adlershof Handlungsempfehlungen für die Akteure erwartet, die eine wirtschaftlich und ökologisch sinnvolle Erschließung dieses kleinteiligen Gebietes unter Berücksichtigung von Fernwärme und dezentraler regenerativer Energieeinspeisung erlauben und für vergleichbare Projekte anwendbar sind.

Die Ergebnisse des Projektes sind auf vergleichbare kleinteilige Gebiete mit niedrigen Wärmestromdichten, in denen die Fernwärme unter den derzeitigen wirtschaftlichen und technischen Randbedingungen noch nicht zum Einsatz kommt und daher die umweltschonenden Effekte der Kraft-Wärme-Kopplung noch nicht wirksam werden, übertragbar. Die Erkenntnisse zur dezentralen Einspeisung lassen sich auch unabhängig von der Art der Wärmequelle in anderen Projekten mit verteilten Wärmequellen vielfältig nutzen.

---

<sup>1</sup> Allein aus Gründen der Lesbarkeit wird im Folgenden das generische Maskulinum verwendet. Gemeint sind damit stets alle Geschlechter.



mischen Wärmeerzeugung durch die Einzeleigentümer mit garantierter Aufnahme der überschüssigen Energie sollte weitere Anschlussargumente liefern.

Tabelle 1: Meilensteine im Projekt „Wohnen am Campus“

Meilenstein	Geplante Fälligkeit gemäß Arbeitsplan	Tatsächliche Fälligkeit nach Abschluss	Erläuterung (Gründe für mögliche Änderungen, kurze Darstellung der ergriffenen Maßnahmen zur termingerechten Erreichung)
Beginn des Förderprojektes	01.01.2012	01.01.2013	Projektlaufzeit 01.01.2013 bis 31.08.2015 (abweichend zum Antrag) Verschiebung des gesamten Zeitplans um 1 Jahr
WISTA Workshop „Wohnen am Campus“		Mär. 2012	Ursprünglich geplant mit 120 Einfamilienhäusern
Beginn Trassenbau Haupttrasse (AP1)	Jul. 2012	Aug. 2013	2012/2013 Errichtung der Straßen durch Entwicklungsträger bei gleichzeitiger Verlegung von Leitungen durch Versorger
Inbetriebnahme zentrale Wärmeübergabestation (AP2)	Mai 2013	Sep. 2013	Verzögerung seitens des Entwicklungsträgers, Anbahnung eines Paradigmenwechsels beim Bebauungskonzept
Beginn Monitoring (AP3)	Mär. 2017	Jun. 2018	Es haben sich aufgrund der verzögerten Inbetriebnahme der HANEST Einschränkungen im Umfang des Betriebsmonitorings ergeben.
Projektverlängerung	31.8.2015	31.08.2017	Projektlaufzeit 01.01.2013 bis 31.08.2017 (abweichend zum Antrag) Antrag auf kostenlose Projektverlängerung bis 31.08.2017 Entwicklung des Baufeldes verzögerte sich durch Umplanungen beim Entwicklungsträger und dem späteren Baubeginn der Investoren.
Inbetriebnahme HANEST für Townhäuser (AP2)	Mai 2013	/	Nur ca. ¼ (36 Stück) der ursprünglich geplanten EFH wurden gebaut, daher sind die 10 kleinen HANEST entfallen. Die Eigentümer zeigten kein Interesse an Solarthermieeinspeisung, da die Fernwärme ökologisch konkurrenzfähig ist. Hinzu kam ein Planungs- und Verkaufsstopp seitens des Entwicklungsträgers für ca. ein Jahr, begründet mit der Notwendigkeit für Berlin für mehr Geschosswohnungsbau an Stelle von Einfamilienhäusern Somit wurde gar keine HANEST benötigt.
HANEST Townhäuser Auswertung Heizperiode 1 und Anlagenoptimierung (AP3)	Jul. 2013	/	Die Investoren der EFH konnten nicht vom Bau einer HANEST für Townhäuser überzeugt werden.
Pilot HANEST Auswertung Heizperiode 1 und Anlagenoptimierung (AP3)	/	März 2018	Ersatzweise wurde zu Simulationszwecken und für regelungstechnische Verbesserungen eine erste HANEST Station in der TU Dresden installiert. Die hydraulische Einbindung und Regelung wurde von der TU Dresden entwickelt. Inbetriebnahme Jan. 2014

Meilenstein	Geplante Fälligkeit gemäß Arbeitsplan	Tatsächliche Fälligkeit nach Abschluss	Erläuterung (Gründe für mögliche Änderungen, kurze Darstellung der ergriffenen Maßnahmen zur termingerechten Erreichung)
Inbetriebnahme HANEST für Geschoßgebäude (AP2)	Aug. 2013	Mai 2017	<p>Die Vergabe dieser Baufelder an Investoren wurde 2014-2016 abgeschlossen. Statt der geplanten fünf HANEST wurde nur eine HANEST für den Investor Baywobau kostenlos errichtet. Bei anderen Investoren bestand kein Interesse an Solarthermieeinspeisung aufgrund der ökologisch konkurrenzfähigen Fernwärme.</p> <p>Die HANEST Baywobau (Nachfolger WEG) wurde hydraulisch und regelungstechnisch von TU Dresden entwickelt.</p> <p>Inbetriebnahme HANEST Baywobau Haus 4 Mai 2017,                      Inbetriebnahme Solareinspeisung Mai 2017                      Inbetriebnahme ohne funktionseinschränkende Mängel 27.06.2018</p> <p>Zwei weitere HAST für Investor Laborgh / Nachfolger HOWOGE (vormals Baugruppe Newton-Projekt Plus-Energiehäuser) wurden errichtet. Das Baugruppenkonzept ist ein so langwieriger Prozess, dass 2/3 des Baufeldes von Baugruppe Newton-Projekt rückabgewickelt und an klassischen Bauträger Laborgh verkauft wurden. Die Solarthermieeinspeisung erfolgt hier nicht in das Niedertemperaturnetz, sondern in Rücklauf des Hauptnetzes, da nachträgliche Anschlusskosten zu hoch waren.</p> <p>Inbetriebnahme Solar-HAST Laborgh/HOWOGE 1.3.2017,                      Inbetriebnahme der Solareinspeisung HOWOGE Mai 2017                      2017, Regelbetrieb Solareinspeisung Sep. 2017                      (Auswertung Jahr 1 06/2017 bis 05/2018 und Jahr 2 06/2018 bis 05/2019 von Errichter Ritter-Solar)</p> <p>Inbetriebnahme Solar-HAST Baugruppe Newton Jan. 2018,                      Inbetriebnahme der Solaranlage Sep. 2019                      bisher noch keine Solareinspeisung ins Fernwärme-Netz</p>
Projektverlängerung	31.08.2017	31.08.2019	<p>Projektlaufzeit 01.01.2013 bis 31.8.2019 (abweichend zum Antrag)</p> <p>Antrag auf kostenlose Projektverlängerung bis 31.08.2019</p> <p>Aufgrund von Verzögerungen bei den Bauvorhaben der Investoren ging der erste solarthermische Einspeiser erst im Sommer 2017 in Betrieb. Die geplante 2-jährige Monitoringphase konnte daher auch erst im Sommer 2017 beginnen.</p>
Auswertung Heizperiode 1 (06/2015-05/2016) und Anlagenoptimierung (AP3)	Aug. 2013	/	Keine betriebsfähigen Anlagen zur Auswertung vorhanden
Auswertung Heizperiode 2 (06/2017-05/2018) und Anlagenoptimierung (AP3)	Jun. 2014	Jun. 2017	Auswertung der solaren Einspeisung HANEST (teilweise) und Solar-HAST Laborgh/HOWOGE/ (Errichter Ritter-Solar)
Auswertung Heizperiode 3 (06/2018-05/2019) und Anlagenoptimierung (AP3)	Mär. 2015	Jun. 2018	Auswertung der solaren Einspeisung HANEST und Solar-HAST Laborgh/HOWOGE (Errichter Ritter-Solar)
Verwertung und Dokumentation (AP4) (AP5)	3. Quartal 2015	Jun. 2017 Jun. 2018 Dez. 2019	Auswertung Heizperiode 1 Auswertung Heizperiode 2 Auswertung Bilanzjahr und temporärer Messzeiträume Diplomarbeit Raab [1] und Studienarbeit Beigl [2]

BTB TU Dresden

Von Mai 2012 bis Juni 2013 ließ der Entwicklungsträger die Straßen errichten. In diesem Zusammenhang mussten die Versorger die Leitungen für Medien (wie Fernwärme und Gas) mitverlegen.

Kurz nach dem Beginn der Errichtung der Townhäuser erfolgte ein Planungs- und Verkaufsstopp durch den Entwicklungsträger für ca. ein Jahr. Hintergrund war eine Vorgabe des Berliner Senats aufgrund der politischen Entscheidung, dass Berlin mehr Geschosswohnungsbau benötigt. Zu diesem Zeitpunkt waren Straßen und Versorgungsnetze fertiggestellt, konzipiert für Einfamilienhäuser statt klassischem Geschosswohnungsbau. Die Anzahl der geplanten Townhäuser wurde zugunsten von Geschosswohngebäuden deutlich reduziert. Im ursprünglichen Antrag wurde die maximal mögliche Zahl der Einsatzfälle für Einspeisestationen mit 10 in Townhäusern und 5 in Geschosswohngebäuden angegeben. Die Anzahl der möglichen Einspeisestationen im Gebiet fiel nun insgesamt deutlich geringer aus: 0 für Townhäuser; 1 HANEST und später 2 Solar-HAST für Geschosswohngebäude. Der BTB kamen unter den veränderten Rahmenbedingungen die vorgesehenen Leistungsreserven beim Ausbau des Niedertemperaturnetzes zugute. Die drei Anschlussstationen mit Einspeisemöglichkeiten für Geschosswohngebäude (1 HANEST und 2 Solar-HAST) konnten jedoch aufgrund des Zeitverzugs bei der Vergabe der Baufelder und der Bebauung nur an den Rücklauf des vorgelagerten Fernwärmenetzes (110/55°C) angeschlossen werden. Die Anschlusskosten an das bereits im Zuge des Straßenbaus verlegte Niedertemperaturnetz wären nicht vertretbar gewesen.

Zeitgleich wurde die erste HANEST im Labor der TU Dresden aufgebaut und dort unter möglichst realen fernwärme- und solarseitigen Bedingungen getestet. Die HANEST wurde hydraulisch und regelungstechnisch von der TU Dresden entwickelt. Auf dem Prüfstand wurden mögliche zu erwartende Lastzustände simuliert und getestet. Dadurch sollte vermieden werden, dass Probleme bei versorgten Kunden auftreten und zu Akzeptanzproblemen führen.

Die Bewerbung der Investoren (Wohnungsbaugesellschaften, Wohnungsbaugenossenschaften, Baugruppen und andere private Bauträger) und die Vergabephase zogen sich deutlich länger hin, als ursprünglich vom Entwicklungsträger erwartet. Die Vergabe der Baufelder an Investoren wurde insgesamt von 2013 bis 2017 durchgeführt.

Tabelle 2: Bauablauf „Wohnen am Campus“ seitens der BTB

Datum	Ereignis (Inbetriebnahme meint hier die Aufnahme der Kundenversorgung)	Ort
27.02.12	BTB-interne Projektfreigabe für die Haupttrasse und Zentrale Wärmetauscherstation (hydraulische Trennung zwischen Fernwärme und Niedertemperaturnetz)	
12.07.12	Auftragserteilung Haupttrasse	
07.06.13	Auftragserteilung Zentrale Wärmetauscherstation (WÜST)	
30.07.13	Inbetriebnahme Haupttrasse	Katharina-Boll-Dornberger-Str. und Konrad-Zuse-/Newton-Str.
01.09.13	Inbetriebnahme Zentrale WÜST	Abram-Joffe-Str.
25.09.13	Inbetriebnahme Integrator Gebäude 1	Groß-Berl.-Damm
05.12.13	Inbetriebnahme First Home	Abram-Joffe-Str.
24.09.14	Inbetriebnahme Integrator Gebäude 2	Groß-Berl.-Damm
01.12.14	Inbetriebnahme Bonava Haus A	Newtonstraße

Datum	Ereignis (Inbetriebnahme meint hier die Aufnahme der Kundenversorgung)	Ort
04.02.15	Inbetriebnahme Einfamilien-Musterhaus	Newtonstraße
30.09.15	Inbetriebnahme Bonava Haus C+D	Katharina-Boll-Dornberger-Str.
05.10.15	Inbetriebnahme Charlottenburger Baugenossenschaft	Groß-Berl.-Damm
24.11.15	Inbetriebnahme Degewo (gewobe)	Abram-Joffe-Str.
01.03.16	Inbetriebnahme Bonava Haus B	Newtonstraße
26.05.16	Inbetriebnahme WBG Altglienicke Nr. 12	Konrad-Zuse-Str.
26.07.16	Inbetriebnahme Bonava Haus E+F+G	Katharina-Boll-Dornberger-Str.
11.08.16	Inbetriebnahme WBG Altglienicke Nr. 16	Konrad-Zuse-Str.
24.08.16	Inbetriebnahme Townhäuser 1 BA: 7 Häuser von 08.02.16 bis 24.08.16	Newtonstraße
16.09.16	Inbetriebnahme Baywobau Haus 1	Konrad-Zuse-Str.
14.10.16	Inbetriebnahme Stadt und Land	Katharina-Boll-Dornberger-Str.
17.11.16	Inbetriebnahme Baywobau Haus 2	Newtonstr.
16.12.16	Inbetriebnahme WBG Treptow-Nord	Newtonstr.
01.03.17	Inbetriebnahme Baywobau Haus 4 (HANEST)	Wilhelm-Hoff-Str.
01.03.17	Inbetriebnahme Laborgh/Howoge (Solareinspeisung Ritter Solar-HAST BTB)	Newtonstr.
13.03.17	Inbetriebnahme Townhäuser 2 BA: 9 Häuser von 22.11.16 bis 13.03.17	Newtonstraße
01.04.17	Inbetriebnahme WBG Altglienicke Nr. 20	Konrad-Zuse-Str.
01.06.17	Inbetriebnahme Baywobau Haus 3	Konrad-Zuse-Str.
30.01.18	Inbetriebnahme Baugruppe Newtonprojekt (noch ohne Solareinspeisung in Solar-HAST)	Newtonstr.
26.03.19	Inbetriebnahme Wood Cubes für die HOWOGE	Newtonstr.

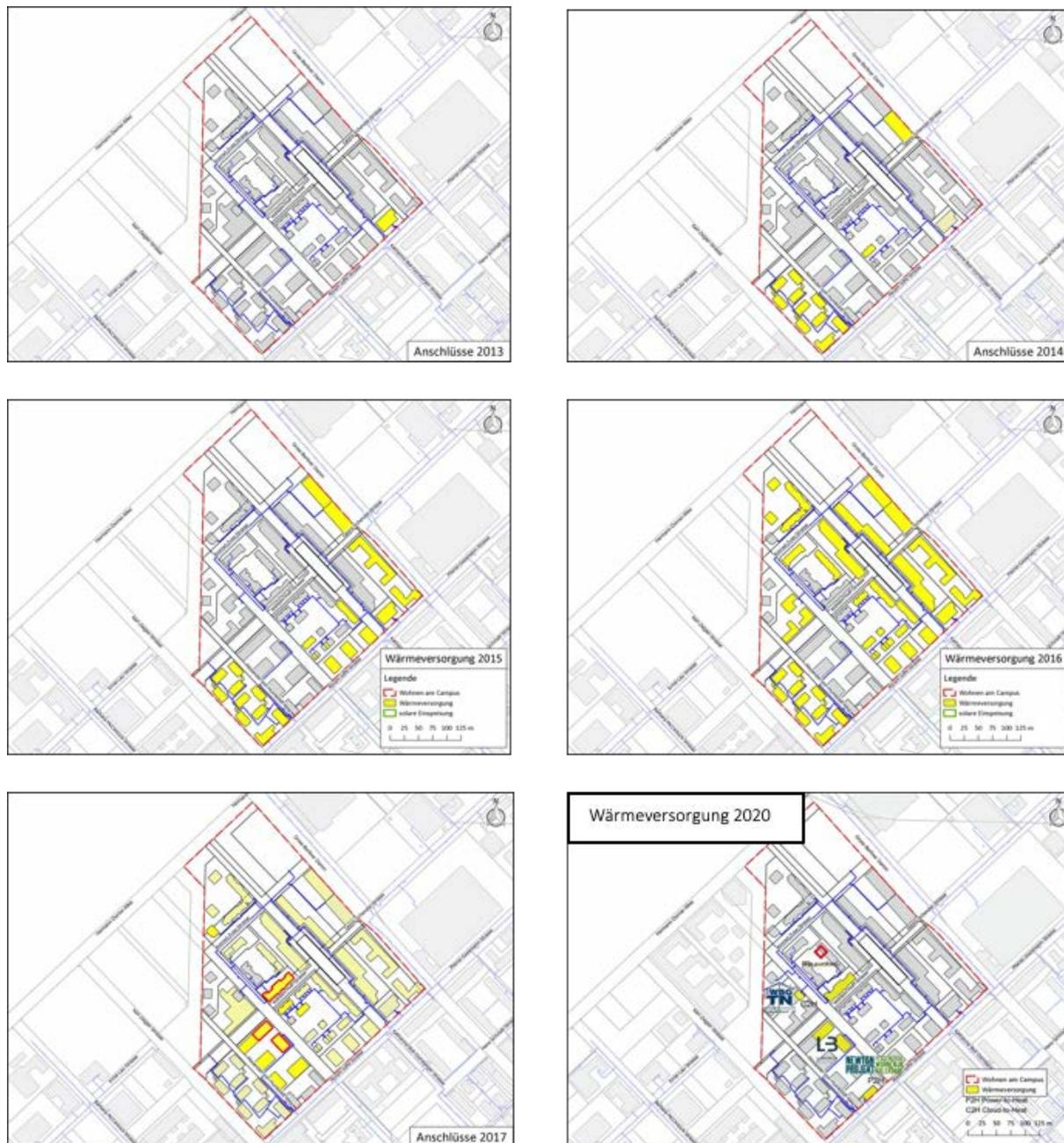


Abbildung 1: Bauablauf "Wohnen am Campus" Status der Wärmeversorgung seitens der BTB

#### 1.4 Wissenschaftlicher Stand, an den angeknüpft wurde

Aus dem Forschungsvorhabens „LowEx-Fernwärme: Multilevel District Heating“ (FKZ: 0327400B) [3] sind die Rückwirkungen von abgesenkten Netztemperaturen und die zentrale Einbindung der Solarthermie auf die zentralen Erzeugereinheiten bekannt. Es hat sich gezeigt, dass es in den sogenannten LowEx-Netzen möglich ist, dass bei der regenerativen Neuausrichtung der Nah- und Fernwärmeversorgung von der technisch eher einfach zu realisierenden Rücklaufanhebung zur echten Versorgung auf Vorlauftemperatur-Niveau übergegangen werden kann. Die Anwendung von dezentralen Solarthermieanlagen in Kombi-

nation mit LowEx-Fernwärmesystemen sorgt zudem für den nach EEWärmeG notwendigen Anteil an erneuerbaren Energien zur Wärmeversorgung. Solarthermische LowEx- Fernwärmesysteme, im Besonderen mit KWK-Wärmeerzeugern, deren Teillastwirkungsgrade von der mittleren Temperatur der Wärmeeinspeisung abhängen, bieten damit einen optimalen Synergieeffekt und ausreichend Fragestellungen für weiterführende Untersuchungen.

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie stellte in seinem Förderkonzept Energieeffiziente Fernwärmeversorgung fest: „Ähnlich dem Prinzip der Einspeisegewährung für erneuerbare Energien bei anderen leitungsgebundenen Energieträgern sollten auch Fernwärmenetze der Nachfrage mit geeigneten technischen Bedingungen, Betriebsweisen und vertraglichen Regelungen entsprechen.“ Bereits 1998 hatte der AGFW seinen Hinweis FW 441 – zu Möglichkeiten der Fernwärmeversorgung aus dem Rücklauf des Netzes herausgegeben.

In Europa existierten bereits eine Reihe Fernwärme-Projekte mit Solarenergieeinbindung über Langzeitenergiespeicher [4]. Der mit dem Förderprojekt verfolgte Ansatz der Kopplung von Niedertemperaturnetz mit der Möglichkeit der dezentralen solaren Einspeisung durch Dritte war in Deutschland zwar in der Förderstrategie des Bundes benannt, aber noch nicht verwirklicht. Die BTB führte zunächst eine Marktstudie am Beispiel des Rudower Felds durch [5] und weitere interne Studien zum Potential von Solaranlagen.

Mit dem Projekt „Wohnen am Campus“ bot sich eine greifbare Möglichkeit der Vertiefung. Die zu erwartende Wärmeleistungs-Liniendichte des Gebietes „Wohnen am Campus“ beträgt ca. 0,66 MW/km, nach herkömmlicher Lesart wird für die Wirtschaftlichkeit von Fernwärmenetzen etwa 1,5 MW/km genannt [6]. Die Wärmeabnahme-Liniendichte liegt bei ca. 800 kWh/(m·a), der deutsche Bundesdurchschnitt von Fernwärmenetzen liegt bei über 4.000 kWh/(m·a) [6]. Die Netzverluste eines Nah- oder Fernwärmenetzes sind für Wirtschaftlichkeit und Energieeffizienz ausschlaggebend. Prof. Dr.-Ing. Wolff und Dr.-Ing. Jagnow [6] geben an, dass realistische Verluste bei der Verteilung von Nah- und Fernwärmesystemen zwischen 5 bis und über 50 kWh/(m<sup>2</sup> a) bezogen auf die angeschlossene beheizte Nutzfläche bzw. einem typischen Netzwärmeverlust zwischen: 250 ... 600 kWh/(m·a) je m Trassenlänge liegen. Diefenbach bezifferte die Verteilverluste des Niedertemperaturnetzes auf etwa 15 kWh/(m<sup>2</sup>·a) Nutzfläche und damit auf knapp 60 % unter dem Mittelwert für Einfamilienhaussiedlungen niedriger Dichte [7]. Von daher war es eine spannende Frage, welche Werte sich für das Netz „Wohnen am Campus“ unter den gegebenen Voraussetzungen ergeben würden und welches Potenzial das Netz der BTB bieten würde. Die Auswertung des Jahres 2018 ergab Netzverluste in Höhe von ca. 9 kWh/(m<sup>2</sup> a) bezogen auf die beheizte Fläche bzw. 300 kWh/(m a) bezogen auf die Trassenlänge, also im unteren Bereich der von Prof. Dr.-Ing. Wolff angegebenen Bandbreite [6].

Die praktische Umsetzung des Vorhabens baut auf vorgeschaltete Studien der BTB (FKZ: 03ET1038B) [8] auf bzw. nimmt Bezug auf andere relevante Untersuchungen der TU Dresden (FKZ: 0327832C) [9]. Die für die dezentrale Einbindung regenerativer Wärme erforderlichen bi-direktional arbeitenden und intelligenten HANEST waren zum Zeitpunkt der Projektantragstellung nicht marktverfügbar. Im Rahmen des Projektes zur Dezentralen Einspeisung [10] (FKZ: 03ET1039B) wurden auf Grundlage von Simulationsuntersuchungen erste Prototypen und Versuchsmuster entwickelt.

### **Ergebnisse aus der vorangeschalteten Studie der TU Dresden zum Vorhaben (FKZ: 03ET1039B)**

Es wurde mit der sogenannten HANEST ein neuartiges Anlagenkonzept der kombinierten Hausanschluss- und Netzeinspeisestation für die dezentrale Integration von solaren Überschüssen in Fernwärmenetze entwickelt. Unter einer solchen Kombination von einer konventionellen Hausanschlussstation und einer Netzeinspeisestation (HANEST) wird eine Anlage verstanden, die die Funktionen

- zuverlässige Wärmeversorgung eines Abnehmers durch das Fernwärmenetz,
- Reduzierung des Fernwärmebezugs durch lokal bereitgestellte Solarwärme für den Eigenbedarf bis hin zur vollen Bedarfsdeckung des Abnehmers,
- Einspeisung überschüssiger, lokal bereitgestellter Solarwärme in das Fernwärmenetz

erfüllt.

Unter Berücksichtigung dieser prinzipiellen Rahmenbedingungen lassen sich die erwarteten Vorteile einer HANEST gegenüber dem parallelen Einsatz einer Hausstation (HAST) und einer Netzeinspeisestation (NEST) zusammenfassen:

- höhere Kollektorwirkungsgrade durch niedrigere Betriebstemperaturen der Solarthermieanlage im Fall der lokalen Bedarfsdeckung durch
  - niedrigere Zielvorlauftemperaturen der Solarthermieanlage für lokalen Bedarf gegenüber Netzvorlauftemperaturen bei der Einspeisung
  - niedrigere Rücklauftemperaturen der Solarthermieanlage, wenn Einspeisung und lokale Bedarfsdeckung zeitgleich ablaufen
- weniger Bauteile durch die gemeinsame Nutzung von Komponenten, die in getrennten Anlagen jeweils vorkommen.

Als weitere allgemeine Vorteile der dezentralen Einspeisung, als Kombination aus einer Solarthermieanlage und dem Fernwärmenetz, werden angesehen:

- die Nutzung der Kapazität des Fernwärmenetzes als Speicher
- die Platzeinsparung im Hausanschlussbereich durch den Wegfall eines Pufferspeichers
- die Nutzung der Verteilfunktion des Fernwärmenetzes auf viele Abnehmer, wodurch ein erhöhter Solarertrag erzielt werden kann.

Aus der Betrachtung der möglichen Betriebszustände einer HANEST in Abbildung 2 werden die zugrundeliegenden Stationskonzepte der HAST und der NEST erkennbar:

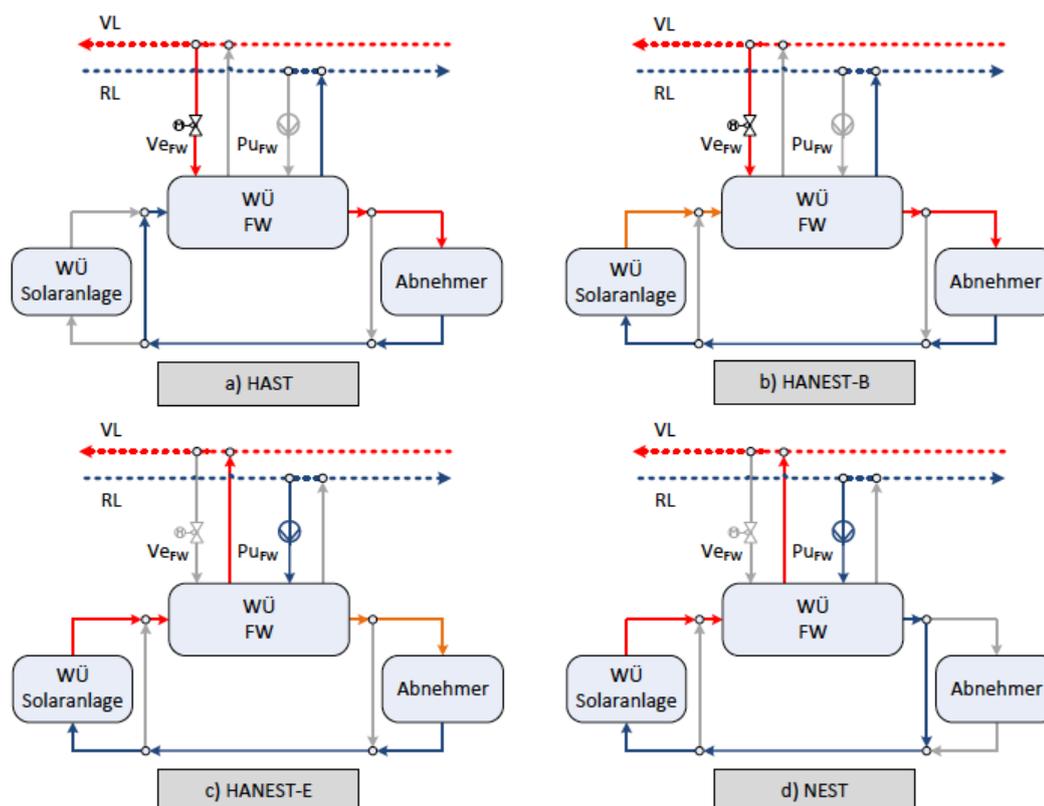


Abbildung 2: Darstellung der allgemeinen Betriebszustände einer HANEST [10]

Hierbei bedeuten:

**HAST:**

Es sind keine solaren Erträge vorhanden, so dass der Abnehmer aus dem Fernwärmenetz versorgt wird.

**HANEST-B:**

Es sind solare Erträge vorhanden, die den Abnehmerwärmebedarf nicht überschreiten oder gerade decken. Eine Unterversorgung wird durch zeitgleichen Fernwärmebezug verhindert. Dabei steht B für Bezug.

**HANEST-E:**

Es sind solare Erträge vorhanden, die den Abnehmerwärmebedarf übersteigen und die nötige Einspeisetemperatur wird erreicht. Dann wird eine zeitgleiche Fernwärmenetzeinspeisung und Abnehmerwärmebedarfsdeckung bewirkt. Dabei steht E für Einspeisung.

**NEST:**

Die solaren Erträge werden vollständig in das Fernwärmenetz eingespeist, da kein Abnehmerwärmebedarf vorliegt. Dabei ist es nicht notwendig, dass eine HANEST im Allgemeinen alle hier definierten Betriebszustände realisiert.

## Ergebnisse aus der vorangeschalteten Studie der BTB zum Vorhaben (FKZ: 03ET1038B)

Aus dem Vor-Projekt wurden vier maßgebliche Erkenntnisse gewonnen, die entscheidend für die Umsetzung der Fernwärmeversorgung in einem kleinteiligen Gebiet sind.

- 1) Die Trassenverlegung muss im Rahmen der allgemeinen Erschließung erfolgen, bevor die Straßendecke vom Entwicklungsträger geschlossen wird. Einsparungen durch innovative Verlegetechnik sind demgegenüber zu vernachlässigen. Ist die frühzeitige Verlegung nicht möglich, ist ein derartiges Versorgungsgebiet mit Fernwärme nicht mehr zu versorgen.
- 2) Die Primärenergiefaktoren für dezentrale Wärmeversorgungslösungen liegen im Bereich von 0,6 bis 0,7. Die ökologische Qualität des Fernwärmeprodukt ist nur durchsetzungsfähig im Wärmemarkt, wenn sie günstiger und damit preiswürdig ist. Daraus leitet sich für den Versorger ab, die Erzeugungsstrukturen über Kraft-Wärme-Kopplung hinaus mit einem regenerativen Anteil zu erweitern.
- 3) Die Verwendung von Solarthermie und die Kleinteiligkeit des Versorgungsgebietes „Wohnen am Campus“ machen ein Niedertemperaturnetz für die Versorgung erforderlich. Bei konventionellen Fernwärmertemperaturen von 110/55 °C wären die Wärmeverluste der inneren Verteilung aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht zu hoch, mit dem Niedertemperaturnetz (70/40 °C) werden die Verluste in einem vertretbaren Bereich liegen.
- 4) Aus der Vielzahl der von der BTB geführten Gespräche wurde festgestellt: es dient der Akzeptanz der Fernwärme in kleinteiligen Bereichen, die individuellen regenerativen Versorgungsansätze von Eigentümern und Baugruppen aufzunehmen und ermöglicht es ihnen, an der Energiewende zu partizipieren.
- 5) Die aus technischer Sicht optimale Lösung wäre ein 3-Leiter-Netz mit einem Wärmespeicher, der über den 3. Leiter, ausgeführt als druckloser Pendelleiter, innerhalb des Wohngebietes einen Ausgleich von angebotener und nachgefragter Energie bietet. Das niedriginvestive 2-Leiter-Netz mit geringeren Wärmeverlusten ist trotz seines ungünstigeren Temperaturverhaltens durch das fehlende Ausgleichsverhalten eines Speichers und einer etwas geringeren Primärenergieeinsparung durch höheren Drücke bei der Einspeisung und höhere Rücklauftemperatur zu den Solaranlagen die wirtschaftlichere Vorzugslösung der BTB mit der größeren Übertragbarkeit auf andere Anwendungsfälle.
- 6) Technische Varianten für die Solareinspeisung in das BTB-Wärmenetz wurden untersucht. Die Speicherung großer Wärmemengen stellt ein Schlüsselproblem des solaren Heizens dar. Hier wird die Problematik der zeitlichen Verschiebung des hohen Energieangebotes im Sommer und des winterlichen Heizwärmebedarfes besonders deutlich. Die Abstimmung zwischen Speicher- und Solaranlagengröße ist für ein effizient arbeitendes System von besonderer Bedeutung. Daher wurden im Rahmen einer Studienarbeit Untersuchungen zur wirtschaftlichen Speichergröße für Energieüberschüsse im Wohngebiet „Wohnen am Campus“ durchgeführt und die Wärmeverluste des Wärmenetzes simuliert [11].

## 1.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

**Heinrich-Böll-Stiftung, 2017:**

<https://www.boell.de/de/2017/11/14/aufbruchsstimmung-fuer-die-waermewende-berlin>

Auszug:

Über 90 Interessierte aus Wissenschaft, Politik, Verwaltung, (Energie-)Wirtschaft und Zivilgesellschaft nahmen am 10. Oktober 2017 am Strategieworkshop „Wärmewende Berlin 2030“ teil. Veranstaltet wurde der Workshop von der Heinrich-Böll-Stiftung in Kooperation mit dem Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), der Agentur für Erneuerbare Energien, sowie dem Projekt „Urbane Wärmewende“, das Elisa Dunkelberg und Bernd Hirschl in Kooperation mit der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz durchführen.

Workshop II: dezentraler Netzausbau, regenerative Erzeugung

Der Workshop II wurde von Herrn Boenigk moderiert, Salomé Klinger (Naturstrom AG) und Karl Meyer (BTB Blockheizkraftwerks-Träger- und Betreibergesellschaft mbH Berlin) stellten jeweils beispielhafte Praxisprojekte vor.

Karl Meyer, BTB schilderte ein Beispiel zum Aufbau eines Niedertemperaturnetzes mit solarer Einspeisung. Einleitend wies er darauf hin, dass zur Realisierung eines solchen Projektes vor allem der Wille entscheidend sei.

Die BTB GmbH wurde 1990 gegründet und betreibt ein Fernwärmeverbundnetz, das aufgrund eines großen Holzkraftwerks einen Primärenergiefaktor von 0,24 hat, sowie Stromnetze. Das Projekt „Wohnen am Campus“ das Meyer vorstellte, geht zurück auf das Jahr 2009. Die dort entstehenden Gebäude sollten mit Wärme versorgt werden. Da aufgrund des Erneuerbare Energien Wärmegesetzes (EEWärmeG) der Primärenergiefaktor finanziell bedeutsam wurde, war eine umfassendere Lösung gefragt. Da es in Berlin keinen Anschluss- und Benutzungszwang gibt, ist es oft schwierig, die Eigentümer/Innen von einer gemeinsamen Lösung zu überzeugen, „denn die bauen ihren Traum“. Daraus folgte für Meyer der Anspruch: „wir brauchen ein Netz, dass so gut ist, dass alle Lust haben, sich anzuschließen.“

Das Energiekonzept, das dort realisiert wurde, entstand 2011. Das Netz hat eine Temperatur von 65°C im Vorlauf und 40°C im Rücklauf. In dem Haus, das zuerst gebaut wurde, war es möglich, eine Übergabestation für die hydraulische Trennung zu installieren. Heute sind alle Gebäude an das Netz „ohne Anschluss und Benutzungszwang, angeschlossen, weil das Konzept der BTB für die Investoren schlüssig war. In das Netz eingespeist wird an drei Stellen. Eine zentrale Frage war dabei die Abrechnung, da viele Nutzer gleichzeitig Wärme abnehmen und einspeisen. Ihnen machte die BTB das Angebot, das Netz als Speicher zu verwenden. „Was sie einspeisen, können sie wieder entnehmen“ - durch diesen Ansatz ist es gelungen, vor Ort zu überzeugen. Für die BTB war das Projekt ein Experiment, dass das Unternehmen gerne ausprobieren wollte.

Die Nachfragen in der kurzen Fragerunde bezogen sich insbesondere auf die Übertragbarkeit und die Wirtschaftlichkeit des Projekts für die Betreibergesellschaft. Karl Meyer betonte, dass die Idee für vergleichbare Gebiete sehr gut geeignet sei und die BTB sie jederzeit nochmal realisieren würde. Die Wirtschaftlichkeit entsteht dann, wenn tatsächlich die meisten Haushalte angeschlossen sind.

**Atene Kom GmbH, 2019:**

<http://www.lowtemp.eu/events/outside-temperatures-drop-good-occasion-to-visit-german-best-practice-projects-in-sustainable-heating-supply/> | "pll\_switcher"

**Auszug:**

Das im Interreg Ostseeraumprogramm geförderte Projekt „LowTEMP“ zum nachhaltigen Ausbau der Fernwärmeversorgung hat Mitte Januar zum dritten Mal eine Studienreise für Projektpartner und interessierte Stakeholder aus den Partnerländern organisiert. Nachdem die Partner im vergangenen Jahr zu Vor-Ort-Besuchen in Dänemark und Schweden eingeladen waren, standen dieses Mal Besichtigungen und Vorträge zu beispielhaften Projekten der nachhaltigen Fernwärmeversorgung in Berlin und Brandenburg auf der Agenda. Die atene KOM, die im Projekt LowTEMP das Projekt-, Kommunikations- und Finanzmanagement umsetzt, hat die zweitägige Veranstaltung gemeinsam mit den Partnern der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus und dem Hamburger Zentrum für Energie, Bauen, Architektur und Umwelt (ZEBAU GmbH) organisiert.

Fast 40 Teilnehmer aus allen acht LowTEMP-Partnerländern trafen sich zum Auftakt der Veranstaltung in Berlin Adlershof, Deutschlands größtem Wissenschafts- und Technologiepark. Hier wird auch ein integriertes Energiekonzept umgesetzt, mit dem Ziel, den Primärenergieverbrauch im Quartier um mindestens 30 Prozent zu senken. Besonders hervorzuheben ist dabei das Niedertemperaturnetz für das neu errichtete Wohngebiet „Wohnen am Campus“. Hier wird die Versorgung eines Niedrigenergie-Wohnquartiers mit Fernwärme aus einem Blockheizkraftwerk (BHKW) umgesetzt. Im Vergleich zu dezentralen Lösungen (Gaskessel oder BHKW) können so bis zu 75 Prozent Primärenergie eingespart werden und verglichen mit klassischer Fernwärme ist eine Einsparung von circa 20 Prozent Primärenergie realisierbar. Neben Vorträgen und einem Besuch des Wohngebiets, hatten die Partner die Möglichkeit, die Power-to-Heat Anlage im Kraft-Wärme-Kopplungs-Heizkraftwerk der BTB GmbH zu besichtigen.

**The Szewalski Institute of Fluid-Flow Machinery in Gdansk, Polish Academy of Sciences, Prof. Dr.Ing.-habil. Adam Cenian**

Prof. Cenian ist der wissenschaftliche Leiter des im Interreg Ostseeraumprogramm geförderten Projektes „LowTEMP“ zum nachhaltigen Ausbau der Fernwärmeversorgung und betreut den polnischen Arbeitsteil an der TU in Gdansk. Im Anschluss an den vorgenannten Berliner Workshop erfolgte eine Einladung der TU Gdansk an Herrn Andreas Reinholz von der BTB zur Veranstaltung einer Lecture über das Low-Temp-Netz Wohnen am Campus in Gdansk.

Dieser Workshop wurde von der BTB am 14.03.2019 im Institute of Fluid-Flow Machinery an der Technischen Universität Gdansk durchgeführt.

**EUMB Pöschk GmbH & Co. KG, 2019:**

<https://www.berlin-spart-energie.de/detail/veranstaltung/innovative-energieversorgung-mit-waerme-und-kaelte-in-adlershof-79.html>

**Auszug:**

Berlin spart Energie – Aktionswoche „Tour Innovative Energieversorgung mit Wärme und Kälte in Adlershof“

Eine weitere Station der Tour ist das von der TU Dresden begleitete- und von Ingenieuren der BTB entwickelte Pilotprojekt „Niedertemperaturnetze“.

Im neuen Quartier "Wohnen am Campus" in Berlin-Adlershof werden rund 1.200 Wohnungen aus einem Niedertemperaturnetz mit Fernwärme der BTB versorgt. Das Niedertemperaturnetz ist an den Rücklauf des vorgelagerten Fernwärmenetzes angeschlossen. In diesem Pilotprojekt in Berlin Adlershof erprobt die BTB Möglichkeiten der partizipativen Wärmeversorgung. Denn die Nutzer haben die Möglichkeit, selbst erzeugte regenerative Energie aus solarthermischen Anlagen in das „kalte Nahwärmenetz“ einzuspeisen. Besichtigt wird exemplarisch ein Gebäude des HOWOGE-Projektes mit dem Namen „Powerhouse“.

### **Ostfalia Hochschule für angewandte Technik, 2019:**

Die Gebäudeseite der Solar-Anlage der Baugruppe Newtonprojekt in Verbindung mit der Solar-HAST der BTB wird vom Institut für energieoptimierte Systeme der Ostfalia Hochschule für angewandte Technik, Herr Prof.-Dr.-Ing. Lars Kühl im Rahmen der EnOB Forschungsinitiative begleitet. Im Projekt „Aktivsolare Wärme- und Stromversorgung von Plusenergiegebäuden mit rücklaufseitiger Fernwärmeanbindung“ [12] wird das Zusammenspiel der Gebäudetechnik mit der Fernwärme untersucht.

## 2 Eingehende Darstellung

### 2.1 Projektbeschreibung

Das neue Wohnquartier "Wohnen am Campus" in Berlin-Adlershof wird von der BTB aus einem Niedertemperaturnetz mit Fernwärme versorgt. Verschiedene regenerative Erzeuger können überschüssige Energie ins Fernwärmenetz einspeisen. Die Einspeisehausstationen wurden über zwei Heizperioden messtechnisch begleitet und regelungstechnisch optimiert.

Im Vergleich zu einer dezentralen Versorgung aus Klein-Blockheizkraftwerken werden rund 50 % Primärenergie eingespart.

Ziel:

Ziel des Projektes war die Versorgung des Gebietes „Wohnen am Campus“ mit Niedertemperatur-Fernwärme unter Berücksichtigung der Eigenerzeugung von regenerativen Energien durch ein Wärmeverbundnetz (demokratisches Netz). Ein Niedertemperaturnetz mit Anbindung an den Fernwärmearücklauf erlaubt den Nutzern, Überschüsse aus eigenerzeugter regenerativer Energie ins Netz einzuspeisen. Ein Monitoring durch die TU Dresden schließt sich an.

Eckdaten des Gebietes:

Das neue Wohngebiet entstand auf einer Fläche von rund 14 Hektar. Auf insgesamt 21 Baufeldern entstanden rund 1.200 Wohnungen. Waren zunächst mehr als 120 Einfamilienhäuser geplant, hat der Entwicklungsträger nach der Fertigstellung der Erschließungsstraßen auf die kontinuierlich steigende Einwohnerzahl Berlins reagiert und die ausgeschriebene Bebauung in Geschosswohngebäude umgewandelt. Nunmehr wurden nur noch 36 Einfamilienhäuser auf einem Baufeld gebaut, auf den anderen Baufeldern entstanden Geschosswohngebäude.

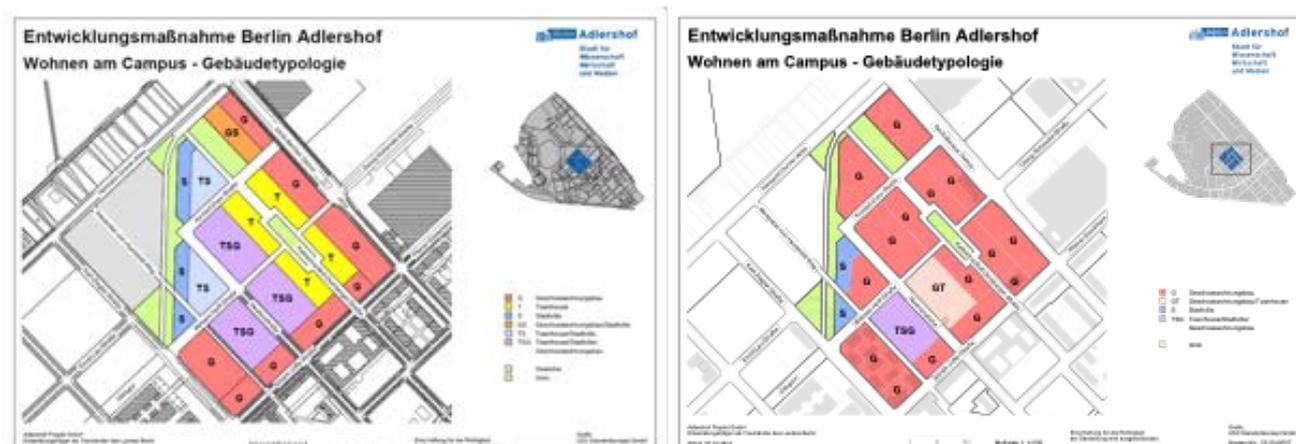


Abbildung 3: „Wohnen am Campus“ Geplante Gebäudetypologie 2012 und 2014

Es gibt keinen Fernwärmeanschluss- und Benutzungszwang, vielmehr steht die Fernwärme im Wettbewerb mit den anderen Energieträgern und setzte sich aufgrund ihrer ökologischen Qualität (Primärenergiefaktor 0,24) und ihrer Wirtschaftlichkeit durch. Der Fernwärme-Anschlussgrad beträgt zum Ende des Projektes 94 %. Ein Bauherr (Future Living Berlin) hat sich auf seinem Baufeld für eine dezentrale Lösung entschieden.

16 Investoren waren am Bau im Gebiet beteiligt:

- First Home
- Integrator (Tetris Adlershof)
- Bonava Deutschland
- Baywobau Berlin
- gewobe
- Charlottenburger Baugenossenschaft eG
- WBG Treptow Nord eG
- Laborgh Investment GmbH
- WEG Newtonprojekt (Baugruppe)
- HOWOGE Wohnungsbaugesellschaft mbH
- WBG Altglienicke eG
- Stadt und Land
- PLUS BAU Projektentwicklungs GmbH
- HIT
- Studentendorf Schlachtensee eG
- (Future Living Berlin)

Die Bebauung des Kerngebietes wurde 2017 abgeschlossen.

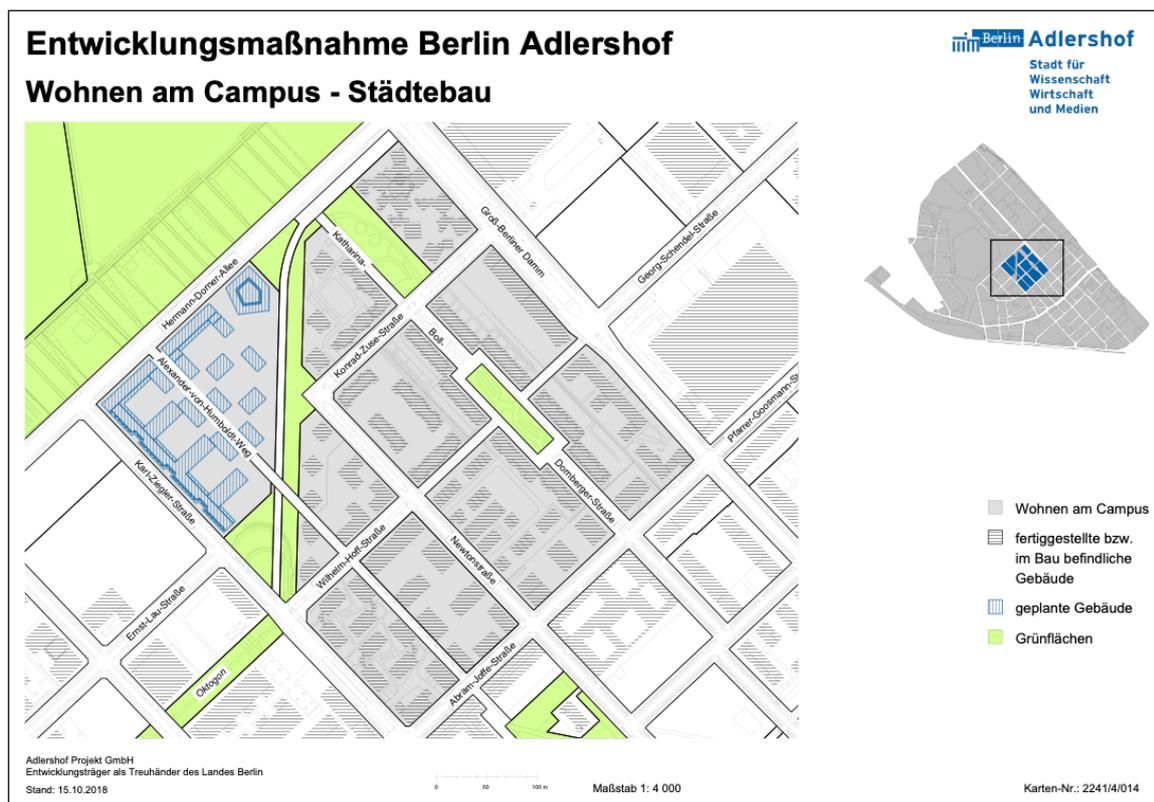


Abbildung 4: „Wohnen am Campus“ Fertiggestellte Gebäude 2018

## 2.2 AP1 Planung und Lastenheft

### 2.2.1 Anforderungen des Entwicklungsträgers

Einige Besonderheiten zeichnen das Projekt aus. Der Entwicklungsträger der Neubaumaßnahme gab eine Gebäudetypologie vor, die sehr kleinteilig mit über 120 Townhäusern geplant war. Nur an den Randbereichen des Gebietes waren Geschosswohngebäude zugelassen. Mit diesem Planungsstand wurden die Erschließungsstraßen begonnen und die Versorgungsunternehmen mussten die Leitungen verlegen. Aufgrund der Kleinteiligkeit und der niedrigen Wärmeanschlussdichte der Gebäude und den großen Netzlängen, die der Anschluss so vieler kleiner Gebäude erfordert, war die Fernwärmeversorgung des Gebietes BTB-intern umstritten.

In 2014 wurde die stetig wachsende Bevölkerung in Berlin von der Politik als dauerhafter Trend erkannt und die Wohnungsneubauplanungen angepasst. Auf den Entwicklungsträger in Adlershof hat der Berliner Senat Einfluss, da es sich um eine Landesgesellschaft handelt. Bezüglich der Bebauungsplanung des Gebietes „Wohnen am Campus“ wurde ein „Paradigmenwechsel“<sup>2</sup> durchgesetzt, der erfolgte nachdem die technische Infrastruktur in die Straßen gelegt wurde! Es erfolgte eine Überarbeitung der Gebäudetypologie, wobei entlang der Hauptstraßen nunmehr Geschosswohngebäude anstelle der Townhäuser geplant wurden. Das Konzept der Townhäuser wurde nur noch vom Bauträger NCC (Bonova) auf einem Baufeld weiter verfolgt.

<sup>2</sup> Zitat C. Hamm vom Entwicklungsträger WISTA

Nach einer Zeit der intensiven Umplanungen begannen die Baumaßnahmen 2015 und 2016 mit großer Intensität.

## 2.2.2 Verhandlungen mit den Investoren

Die Überzeugung der einzelnen Kunden von der Fernwärme durch stichhaltige ökologische und wirtschaftliche Gründe ist zwingend erforderlich, da in dem betreffenden Versorgungsgebiet kein Anschluss- und Benutzungszwang (alias Fernwärmesatzung) besteht und in den Erschließungsstraßen auch Gasleitungen und Stromleitungen als alternative Wärmeversorgungen verlegt werden. Darüber hinaus stehen die Medien Fernwärme, Gas und Strom in dem Versorgungsgebiet in strengem Wettbewerb. Jedem Eigentümer stehen alle Medien in ausreichender Kapazität zur Verfügung. Den Rahmen geben die gesetzlichen Bestimmungen (EnEV, EEWärmeG) vor. Zunehmend wird auch die "Story" ein bestimmendes Anschlussargument (Lokalität des Versorgers, wie wird die Wärme erzeugt, Sichtbarkeit des Versorgers im Bezirk, uvm.).

Das ursprünglich vorgeschlagene Konzept der BTB sah vor, dass die einzelnen Einfamilienhaus-Besitzer Energie selbst erzeugen können und die Fernwärme als Ergänzung zur Verfügung steht. Diese Eigentümer bevorzugen in der Regel eigene Lösungen und die Unabhängigkeit von Fernwärme und scheuen eine lange Vertragsbindung. Die BTB setzt dagegen auf Partizipation mit regenerativer Energie mit dem Ziel der Verbesserung der Ökobilanz. Solarthermie ist bei Einfamilienhäusern eine preiswerte Alternative hierfür.

Die Umplanung der Bebauung des Wohngebietes "Wohnen am Campus" hatte zwei Auswirkungen auf das Projekt. Die Abkehr von den Townhäusern änderte die Eigentümerstruktur grundsätzlich. Bei Projektbeginn ging die BTB davon aus, dass bei der Vielzahl der Einzeleigentümer von 120 geplanten Townhäusern einige (rund 10 %) das Angebot der eigenen solarthermischen Wärmeerzeugung in Verbindung mit der Fernwärme annehmen werden und somit eine relativ große Anzahl von HANEST-Einspeisestationen (ungefähr 10) im Niedertemperaturnetz installiert werden. Geschoßwohngebäude werden jedoch von Wohnungsbaugesellschaften und Wohnungsbaugenossenschaften oder von Projektentwicklungsgesellschaften gebaut. Diese Gesellschaften treten mit dem Versorger in Verhandlung über den Fernwärmeanchluss mit allen ökologischen und ökonomischen Details. Aufgrund der bereits sehr guten ökologischen Qualität der Fernwärme tritt die Bereitschaft zur weiteren regenerativen Energieerzeugung auf den Gebäuden bei diesen Investoren in den Hintergrund. Wirtschaftlich vergleichbar zu den konkurrierenden Versorgungsalternativen Gas und Strom muss die Fernwärme ohnehin sein. Damit läßt sich für diese Investoren allerdings kein ausreichender Anreiz für eine solarthermische Wärmeerzeugung mehr darstellen. Selbst unter Berücksichtigung der von der BTB in diesem Versorgungsgebiet angebotenen Möglichkeit der Einspeisung überschüssiger Wärme ins Fernwärmenetz und späterer Entnahme, was bereits die maximal mögliche Vergütung (nämlich mit dem vollen Wärmearbeitspreis anstelle der vermiedenen Brennstoffkosten) darstellt, ließ sich für die Investoren kein ausreichender wirtschaftlicher Anreiz darstellen (Kosten/Nutzen-Dilemma).

Während die Entwicklung des Wohngebietes nach der Umplanung Fahrt aufnahm und sich Investoren für die einzelnen Baufelder mit Geschoßwohngebäuden fanden, war bei keinem dieser Investoren eine Bereitschaft zur Investition in eine solarthermische Anlage zu finden. Aus diesen Gründen sind die vorgesehenen 10 kleinen HANEST für die Townhäuser entfallen. Von 5 vorgesehenen HANEST für die Geschoßgebäude konnten nur 3 verwirklicht werden.

Die zweite Auswirkung war eine massive zeitliche Verschiebung des Projektes. Ursprünglich bis Oktober 2015 geplant, war das Gebiet 2015 noch weitgehend eine leere Fläche. Um in dieser Zeit ohne Bautätig-

keit Erfahrungen mit der Solareinspeisung einer HANEST sammeln zu können, wurde in Abstimmung mit dem Fördergeber die erste HANEST (Version 1.0) bereits 2014 im Versuchslabor des Instituts für Energietechnik der TU Dresden aufgestellt. An dieser ersten Station sollten Erfahrungen gesammelt werden, die Regelungsstrategie entwickelt und Kinderkrankheiten entdeckt und abgestellt werden.

Im Entwicklungsgebiet „Wohnen am Campus“ waren Ende 2015 erst wenige Gebäude mit einer Anschlussleistung von ca. 22 % der Gesamtanschlussleistung des Netzes angeschlossen. Ende 2016 waren Gebäude mit ca. 64 % der Anschlussleistung am Netz.

Schließlich konnte die BTB mit dem Investor Baywobau eine Vereinbarung zur Errichtung einer HANEST erreichen. Die HANEST Baywobau Haus 4 hat die BTB auf eigene Kosten, unterstützt durch Fördermittel und ohne zusätzliche Kosten für Baywobau errichtet. Die HANEST wurde hydraulisch und regelungstechnisch von der TU Dresden entwickelt. Die Solar-Module sowie die Aufständerung und hydraulische Einbindung auf dem Dach wurden von der Firma Viessmann finanziert, als Anwendungsfall in Zusammenarbeit mit TU Dresden (Frau Dr. Rühling) / Viessmann (Herr Dr. Hafner). Der Projektentwickler Baywobau hat gemeinsam mit der Wohnungseigentümergeinschaft WEG die Grunddienstbarkeit für die Dachnutzung ermöglicht. Im Gegenzug hat BTB für die WEG die Investition für die Warmwasserbereitung und den Betrieb übernommen. Darüber hinaus wird die Wärme aus Solarthermie zu einem reduzierten Preis an die Wohnungseigentümergeinschaft abgegeben.

Zwei weitere Solar-HAST wurden von der BTB geplant, nachdem ein Baufeld an die Baugruppe Newton-Projekt zur Errichtung von Plus-Energiehäusern vergeben wurde. Die Fläche wurde vom Entwicklungsträger zu sehr günstigen Konditionen an diesen Bauträger verkauft, verbunden mit der Gegenleistung einer ökologischen Bauweise. Die Realisierung läuft bei Baugruppen in der Regel auf einen langwierigen Prozess hinaus, weil erst Mitglieder gesammelt werden und erst dann gebaut wird, wenn genügend Mitglieder gefunden wurden. Im Falle des Newton-Projektes war dieser Prozess so langwierig, dass zwei Drittel des Baufeldes von der Baugruppe rückabgewickelt und an einen klassischen Bauträger verkauft wurde, unter den gleichen Realisierungsbedingungen (günstiger Grundstückspreis, gegen ökologisch hochwertige Bauweise). Der neue Projektentwickler Laborgh sollte später an die Berliner Wohnungsbaugesellschaft HOWOGE verkaufen. Oberstes Ziel war es, dass schnell Mieter einziehen können.

Laborgh hat 5 Gebäude mit Photovoltaik- und Solarthermie-Anlagen errichtet. Die Solarthermieflächen sind, aufgrund der Notwendigkeit ein Nullenergiehaus zu bauen, so groß dimensioniert, dass eine Einspeisung in die Fernwärme erforderlich ist.

Mit der Baugemeinschaft Newton Projekt entstand ein Beispiel, in dem Bürger selbst zu Wärmeerzeugern werden und in das Wärmenetz einspeisen. Dieser Ansatz, mit Hilfe „**demokratischer Netzstrukturen**“ gemeinschaftlich zu bauen und gemeinschaftlich Energie zu erzeugen, ist neu. Das Wärmeversorgungskonzept wurde von Anfang an gemeinschaftlich vom Energieversorger BTB und dem Gebäudeeigentümer entwickelt.



Abbildung 5: Baugebiet "Wohnen am Campus" Foto: Andreas Reinholz

### 2.2.3 Auswirkungen auf den Bau des Versorgungsnetzes

Netzberechnungen auf Basis der ursprünglich geplanten 120 Townhäuser ergaben, dass mit den klassischen Netztemperaturen 110/55°C des Fernwärmenetzes die Wärmeverluste für eine wirtschaftliche Versorgung zu groß werden würden. Grund dafür sind die niedrigen Wärmebedarfe der Neubauten und die unverhältnismäßig großen Netzlängen. Die Lösung für die Wärmeverluste war die hydraulische Trennung des Netzes vom vorgelagerten Fernwärmenetz und möglichst niedrige Netztemperaturen. Als praktisch erreichbare Grenze in einem Gebiet mit unterschiedlichen Bauherren ergaben sich 65°C Vorlauf-temperatur, da in der zentralen Warmwasserbereitung 60°C vorgehalten werden müssen. Diese Temperatur kann dann unterschritten werden, wenn alle Bauherren die Warmwasserbereitung auf die Wohnungen dezentralisieren (Wohnungsstationen). Aufgrund der großen Anzahl unterschiedlicher Bauherren in diesem Gebiet mit unterschiedlichen Interessen, Meinungen und Erfahrungen ist dies hier nicht gelungen. Das Netz "Wohnen am Campus" wird daher mit 65/40°C gefahren.

Große Netzlängen, die in der Vielzahl kleiner Anschlussstellen begründet sind, lassen sich technisch kaum verhindern. Gegebenenfalls können über einen Blockanschluss und einem genossenschaftlich betriebenes Verteilnetz Synergien genutzt werden, in der Regel handelt es sich aber wohl eher um eine Umverteilung der Netzkosten. Bei einer Entwicklungsmaßnahme wie in Berlin-Adlershof kommt erschwerend hinzu, dass zuerst die Erschließungsstraßen gebaut werden, lange bevor der erste Investor feststeht. Das bedeutet letztlich, dass alle zur Planung des Netzes und zur Auslösung der Investitionen vorliegenden Gebäudeplanungen weitgehend unverbindlich sind. Oder um es etwas salopper auszudrücken: "Man hofft, dass irgendwann etwas ähnliches gebaut wird."

Die Versorgung einer hohen Anzahl von Gebäuden mit niedrigem Wärmebedarf erfordert ein Niedertemperatur-Netz, um hohe Wärmeverluste über lange Leitungsnetze zu vermeiden. Die Versorgung sollte deshalb aus dem Rücklauf des Versorgungsnetzes 110/55°C der BTB erfolgen. Um jederzeit die Versorgungssicherheit gewährleisten zu können, sollte eine Vorlaufeinspritzung vorgesehen werden. Zudem war ein Platz für eine Station zur hydraulischen Trennung der Netze erforderlich. Es war ein glücklicher Umstand, dass der dafür erforderliche Platzbedarf gut mit dem zuerst gebauten Gebäude des Baufeldes First Home zusammenpasste. Wäre dies nicht der Fall gewesen, hätte man eine unterirdische Betonstation in der Haupteerschließungsstraße inklusive Zu- und Abluft bauen müssen, deren Realisierbarkeit aufgrund der Platzverhältnisse in der Straße fragwürdig war. Die finanziellen Mehraufwendungen hätten das Projekt zusätzlich sehr belastet. Eine oberirdische Station auf den Baugrundstücken wurde vom Entwicklungsträger abgelehnt. Hier hat der Fernwärmeversorger eindeutig nicht die Durchsetzungskraft gegen-

über dem Projektentwickler wie z.B. der Stromnetzbetreiber. Dieser bekommt immer Platz für seine Stationen, da er bezüglich des Stromanschlusses eine Monopolstellung hat. Die Fernwärme hingegen hätte dann wahlweise ohne hydraulische Trennung als konventionelle Hochtemperaturversorgung (110/55°) arbeiten müssen oder die Versorgung wäre (auf Kosten der Umwelt, siehe Primärenergiefaktor) dezentral aus Gas erfolgt.

## 2.3 AP2 Errichtung

### 2.3.1 Bau des Wärmenetzes

Die grundlegenden Überlegungen zur Netzauslegung und -verlegeart wurden unter der vorgesehenen Prämisse „Bebauungstypologie mit 120 Townhäusern“ und der daraus resultierenden niedrigen Wärmedichte vorgenommen. Die konzeptionelle Arbeit (FKZ: 03ET1038B) [8] ergab als technisch optimale Lösung ein Drei-Leiter-Netz mit Wärmespeicher, die technisch und wirtschaftliche Gesamtbewertung führte zu einem Niedertemperatur-Zwei-Leiter-Netz, das aus dem Fernwärmerücklauf gespeist wird. Eine Ausführung aus vorgefertigten Kunststoffrohrleitungen musste aufgrund der Vielzahl der einzelnen Anschlüsse der Townhäuser verworfen werden. Die Niedertemperaturlösung ergab sich aus der Notwendigkeit (120 Townhäuser, niedrige Wärmedichte), die Netzverluste zum Erdreich zu reduzieren. So ergibt z.B. eine Auslegung auf 55/35°C eine Reduzierung der Netzverluste um ca. 50 % im Gegensatz zu den Fernwärmemetemperaturen 110/55°C.

Als Hauptproblem stellte sich heraus, dass die Netzverlegung zu einem Zeitpunkt erfolgen musste, an dem noch kein Baufeld (außer First Home) auf dem Gelände verkauft war. Die BTB war nun gezwungen, sich die Frage zu stellen: „Wie ist nun so ein Netz zu dimensionieren?“

BTB hat die grundlegende Entscheidung zur Verlegung eines Niedertemperaturnetzes aufgrund der Rahmendaten des Bebauungsplanes für das Gebiet getroffen und hat im Rahmen der Erschließungsarbeiten in den Hauptstraßen Fernwärmeleitungen verlegt, jedoch weitestgehend auf Vorstreckungen in die Grundstücke verzichtet. Nach den über langjährigen Erfahrungen der BTB liegen die Vorstreckungen doch immer falsch und müssen zurück- oder mindestens umgebaut werden. Erwartungsgemäß ist das auch im Baugebiet „Wohnen am Campus“, trotz aller Umsicht, wieder passiert.

Die BTB konnte den Veränderungen der Gebäudetypologie von Townhäusern hin zu Mehrfamilienhäusern mit den schon verlegten Leitungen nur gerecht werden, weil sie aus technisch-wirtschaftlichen Erwägungen heraus von vornherein Leistungsreserven vorgesehen hatte:

1. Vorlauftemperatureinspeisung (falls Temperaturen von über 55°C erforderlich werden würden - zur Sicherstellung der Versorgung mit Trinkwarmwasser)
2. Auslegung des Netzes auf PN16 um ggf. einen weiteren Maschenschluss zum Hauptnetz anlegen zu können (für das Niedertemperaturnetz hätte PN 10 oder PN 6 gereicht)

Mit diesen beiden Maßnahmen konnten Leistungsreserven vorgehalten werden, ohne das Netz selber größer dimensionieren zu müssen. Die Vorlaufeinspeisung zur Möglichkeit der Temperaturerhöhung über Rücklauftemperatur (55°C) erfolgte innerhalb der zentralen Station im Keller des First Home-Gebäudes. Die Auslegung auf PN 16 bedeutet eine Kostenerhöhung, diese ist jedoch niedriger als die Vergrößerung des Durchmessers des gesamten Netzes. Aufgrund dieses „Plan B“ konnte BTB das Netz „in die grüne Wiese“ legen (zum Verlegezeitpunkt gab es außer First Home noch nicht einen Kunden auf dem

Baufeld) und die Versorgung auch nach dem Paradigmenwechsel von Townhäusern zu Geschosswohngebäuden sicherstellen. Die Herstellung des Maschenschlusses ist nicht erforderlich geworden.

In 2012 und 2013 wurden die Haupttrassen in die beiden zentralen Erschließungsstraßen Katharina-Boll-Dornberger-Straße und Konrad-Zuse-Straße verlegt. Der erste Kunde wurde im Dezember 2013 abgeschlossen, der zweite und dritte Kunde folgte ein Jahr später im Oktober und Dezember 2014. Wobei hier zu beachten ist, dass der Anschluss die Inbetriebnahme der Bauwärmelieferung bedeutet, die reguläre Nutzung der Wohnungen erfolgte jeweils einige Monate später.

### 2.3.2 Bau der Pilot-HANEST an der TU Dresden

Bereits in 2013 reagierte BTB auf die sich abzeichnenden zeitlichen Verzögerungen und schlug dem Projektträger Jülich (PtJ) vor, die erste HANEST-Station im Institut für Energietechnik der TU Dresden aufzustellen. Dadurch wurde die TU Dresden in die Lage versetzt, die Station zur Solareinspeisung in ein Fernwärmenetz unter Laborbedingungen zu testen und die Funktionsfähigkeit zu prüfen und zu optimieren. Nach entsprechender Ausschreibung wurde als Stationslieferant die Fa. PEWO ausgewählt. Seit Anfang 2014 ist die HANEST-Station im Prüffeld des Instituts für Energietechnik im Einsatz. Eine ausführliche Beschreibung der HANEST, deren peripherer Anlagen sowie der Betriebserfahrungen finden sich im Abschlussbericht zum Forschungsprojekt „DEZENTRAL – Dezentrale Einspeisung in Nah- und Fernwärmesysteme unter besonderer Berücksichtigung der Solarthermie“ (FKZ: 03ET1039B) [10]. Es wird daher im Folgenden auf weitere Erläuterungen verzichtet.

### 2.3.3 Bau der HANEST Baywobau, Haus 4

Unter Berücksichtigung der von der TU Dresden gewonnenen Erkenntnisse sollte dann eine zweite HANEST-Station im Niedertemperaturnetz "Wohnen am Campus" zum Einsatz kommen. Das Problem war nur, dass kein Investor bereit war, in eine Solarthermieanlage zu investieren. Die BTB-Fernwärme war in der Kombination aus konkurrenzfähigem Wärmepreis und sehr guter ökologischer Qualität (zertifizierter Primärenergiefaktor von 0,24) bereits ein so gutes Produkt, das aus Sicht der Investoren weiterer Aufwand keinen wirtschaftlichen Sinn mehr machte. An dieser Stelle drohte dem Projekt die Gefahr, keinen Anwendungsfall unter realen Bedingungen in einem Gebäude im Niedertemperaturnetz zu finden, insbesondere da sich auch das Zeitfenster für die Planung und den Aufbau einer Solaranlage auf den Neubauten verkürzte. Die einzige Lösung zu diesem Zeitpunkt war, dass BTB selbst in den Aufbau einer Solaranlage investiert und diese auf dem Dach eines Gebäudes errichtet und betreibt. Nach intensiven Diskussionen zwischen Projektleitung und Geschäftsführung der BTB wurde hierfür ein Budget in Höhe von 25.000 Euro bereitgestellt. An dieser Stelle wurde dankenswerterweise von Frau Dr. Rühling (Institut für Energietechnik an der TU Dresden) der Kontakt zum Forschungsleiter der Fa. Viessmann, Herr Dr. Hafner hergestellt. Viessmann betreibt ein Forschungsvorhaben, bei dem die Einspeisung von Solarthermieanlagen in Fernwärmenetzen untersucht werden soll. Eine Verknüpfung beider Vorhaben bot sich an und wurde mit dem Projektträger PtJ diskutiert. Da der Austausch und die Schaffung von Synergien zwischen einzelnen Forschungsanwendungen ausgesprochenes Ziel der Energieforschung ist, wurde dieser Lösungsansatz vom Projektträger ausdrücklich unterstützt.

Der gemeinsame Ansatz beider Firmen war: Viessmann stellt im Rahmen ihres Forschungsvorhabens 20 Vakuumröhrenkollektoren mit einer Bruttofläche von 100 m<sup>2</sup> zur Verfügung, BTB finanziert im Rahmen ihres Forschungsvorhabens die Dachaufstellung und die hydraulische Einbindung der Solaranlage in die

HANEST-Station im Gebäudekeller und beschafft den Einsatzfall auf einem Gebäude im Wohngebiet "Wohnen am Campus".

Der Einsatzfall wurde auf dem Baufeld des Bauträgers "Baywobau Berlin" gefunden.

#### 2.3.4 Bau der Solaranlage Baywobau, Haus 4

Auf dem Baufeld der Baywobau wurden 4 Gebäude errichtet, auf dem Dach des Gebäudes 4 wurde von der BTB die Solaranlage aufgebaut. Der Bauträger konnte überzeugt werden, da die Anlage für ihn ohne zusätzliche Kosten errichtet wird, die BTB zusätzlich auch die Warmwasserbereitung finanziert, und die späteren Wohnungseigentümer die Wärme aus der Solaranlage um 10 % verbilligt bekommen.

Hilfreich war außerdem, dass die BTB bereits seit über 10 Jahren in langjähriger und vertrauensvoller Zusammenarbeit mit Baywobau in Berlin ein großes Quartier mit Wärme und Strom versorgt (Viktoria-Quartier in Berlin-Kreuzberg).

Vom Haustechnik-Planungsbüro des Bauträgers wurde die Ausschreibung und Einbindungsplanung der Solaranlage durchgeführt. Der nachträgliche Aufbau der Solarmodule auf dem Dach wurde ohne Durchdringung der Dachhaut durch Gewichte und zusätzliche Sicherung an Sekuranten geplant. Lediglich bei einem Durchbruch waren kleinere Umplanungen vom Architekten erforderlich. Der Statiker muss die zusätzliche Dachlast prüfen und der Blitzschutz war zu beachten.

Die nächste massive Hürde bei der Umsetzung trat mit dem Eintreffen der Leistungsverzeichnisse für die Einbindung (ohne Solarmodule, die von Viessmann beigestellt wurden) ein. Die Bandbreite der Einbindungskosten (Abladen der Module auf der Baustelle, Transport aufs Dach und Aufstellen, Anschließen und Einbinden vom Dach bis Keller) rangierte von 51.800,- bis 75.200,- Euro netto. Dies bedeutete eine Budgetüberschreitung der geschätzten Kosten der BTB von mindestens 100 %. Bei der Diskussion dieser Ergebnisse mit Fr. Dr. Rühling, TU Dresden und Hr. Dr. Hafner, Viessmann wurden als Gründe die überzogenen Preise der Heizungsfirmen insbesondere aufgrund der gegenwärtig ausgezeichneten Auftragslage genannt. Im Ergebnis ist festzuhalten, dass bei diesem Preisniveau Solarthermie im Geschosswohnungsbau nicht zum Einsatz kommen wird. Hier ist offensichtlich dringender Handlungsbedarf mit dem Ziel der Kostenreduzierung gegeben, wenn die Solarthermie einen Beitrag zur Wärmewende leisten soll. Mit den hier festgestellten Ergebnissen ist die Solarthermie - ganz unabhängig von den erreichten Jahresnutzungsgraden - nicht einsatzfähig.

Nach weiteren intensiven Diskussionen mit der Geschäftsführung der BTB wurde die Einbindung der Solaranlage vergeben und ebenso die HANEST inklusive Warmwasserbereitung.

#### 2.3.5 Bau der BTB-eigenen Solar-HAST Laborgh/HOWOGE

Weitere regenerative Einspeiser im Untersuchungsgebiet ergaben sich im südlich der Wilhelm-Hoff-Straße und der Newtonstraße gelegenen Baufeld des Projektentwicklers Laborgh. Dort wurden KfW 55-Gebäude gebaut, deren Energiebilanz ausgeglichen (quasi Nullenergiestandard) sein sollte. Dazu wurden umfangreiche Solarthermieanlagen und Fotovoltaikanlagen errichtet, die den Eigenbedarf decken und ihre überschüssige Energie in das Stromnetz und Wärmenetz zurückspeisen können.

Für den Fernwärmeanschluss der 5 Gebäude des Investors Laborgh/HOWOGE wurden mehrere Varianten diskutiert: Fernwärmeanschluss an das Hauptnetz in der Abram-Joffe-Straße (110/55°C) und Einspeisung der Solarwärme in das Niedertemperaturnetz "Wohnen am Campus", Fernwärmeanschluss an das Hauptnetz als Rücklaufversorgung (55/30°C) und Einspeisung der Solarwärme in den Rücklauf des Hauptnetzes, klassische Fernwärmeversorgung (110/55°C) ohne Solareinspeisung (nur Eigenbedarfsdeckung) sowie Mischvarianten. Aufgrund der Lage des Baufeldes am Ende des Niedertemperaturnetzes war aus Kapazitätsgründen die komplette Versorgung aus diesem Niedertemperaturnetz nicht möglich. Besondere Schwierigkeiten ergaben sich aus dem späten Baubeginn dieses Vorhabens (erst in 2016), alle umgebenden Straßen waren bereits fertiggestellt und die Anschlussvarianten daher mit hohen Verlegekosten verbunden bzw. sogar aufgrund von straßenrechtlichen Aufgrabeverboten (5 Jahre nach Übernahme der Straße vom Bezirk) erschwert oder nicht möglich. Nach langen Diskussionen mit dem Projektentwickler und seinem Haustechnikplaner und dem EnEV-Berater wurde die Variante Rücklaufversorgung aus dem Fernwärmenetz mit 55/30°C und Solareinspeisung in den Fernwärmerücklauf gewählt. Die Warmwasserbereitung erfolgt mit dezentralen Wohnungsstationen. Die gewählte Versorgungsvariante wurde anschließend auch mit dem späteren Nutzer, der Wohnungsgesellschaft HOWOGE, diskutiert und bestätigt.

### 2.3.6 Bau der BTB-eigenen Solar-HAST Newton-Projekt

Die Baugruppe Newtonprojekt hat 2018 bei ihren 3 Gebäuden eine eigene Solarthermieanlage mit Rückspeisung ins Fernwärmenetz, eine Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher und eine Power-to-Heat-Anlage in Betrieb genommen, die bei geladenen Batteriespeichern und fehlendem Eigenbedarf Solarstrom in Wärme umwandelt und ins Fernwärmenetz einspeist. Das hydraulische und regelungstechnische Konzept der Solareinspeisung entspricht dem der benachbarten Station Laborgh/Howoge. Die Leistung der Anlage ist allerdings geringer und die Solaranlage ist im diesem Fall wieder von der Fa. Viessmann.

### 2.3.7 Abwärmenutzung aus einem Serverschrank bei der Wohnungsgesellschaft Treptow Nord eG: CLOUD&HEAT

Die Wohnungsgesellschaft Treptow Nord eG ist an das Niedertemperaturnetz angeschlossen und verteilt die Wärme nach der Übergabestation auf die drei Gebäude. Die Warmwasserbereitung erfolgt mit dezentralen Wohnungsstationen, so dass die maximale Vorlauftemperatur bei 55°C liegt. Im Technikraum sollte neben der Fernwärmeübergabestation auch noch ein Serverschrank errichtet werden, aus dem ganzjährig Abwärme der Rechner abgeführt werden muss. Diese Wärme sollte in die sekundärseitige Wärmeverteilung eingespeist werden. Dieses Projekt wurde gemeinsam mit dem Start-up CLOUD&HEAT aus Dresden begonnen, konnte jedoch im weiteren Projektverlauf nicht umgesetzt werden. Hindernis war im wesentlichen die zu geringe Abwärmemenge (1,1 kW) und der zu hohe technische und finanzielle Aufwand für ein solches einzelnes Serverprojekt. Diese Projektidee zur Serverabwärmenutzung ist für Rechenzentren und größere Serverfarmen sicher geeignet, konnte hier jedoch mit einem Serverrack nicht dargestellt werden.

## 2.4 Verwendung und erzielte Ergebnisse (AP3 Monitoring, AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)

### 2.4.1 Ziele und Ergebnisse des Vorhabens

#### Ziele

Ziel des Vorhabens war ein Niedertemperaturnetz aus dem Fernwärmerücklauf mit Einspeisemöglichkeit von überschüssiger eigenerzeugter regenerativer Energie zu realisieren. Die Einspeisung von Überschüssen an eigenerzeugter regenerativer Energie (Solarwärme) in das Wärmeverbundnetz Wohnen am Campus sollte über bi-direktionale Hausanschlussstationen (HANEST) und messtechnische Begleitung durch Monitoring über mindestens zwei Heizperioden einschließlich regelungstechnischer Optimierungen umgesetzt werden. Auf diese Weise sollte die wirtschaftlich-ökologische Versorgung eines kleinteiligen Baugebietes mit geringer Wärmedichte in Konkurrenz zu anderen Energieträgern nachgewiesen werden, um die **Übertragbarkeit** auf vergleichbare Gebiete, in denen die Fernwärme unter den gegebenen wirtschaftlichen und technischen Randbedingungen noch nicht zum Einsatz kommt und daher die umweltschonenden Effekte der Kraft-Wärme-Kopplung noch nicht wirksam werden, zu ermöglichen.

Durch die Fernwärmeversorgung war eine Primärenergieeinsparung gegenüber dezentraler Versorgung zu erwarten (> 19 %) und die Solareinspeisung in das Fernwärmenetz sollte zusätzliche CO<sub>2</sub>-Einsparungen durch eine bessere Ausnutzung der Solaranlagen ergeben (> 10 %).

#### Ergebnisse

Das Niedertemperaturnetz wurde gebaut und es wurde ohne Anschluss- und Benutzungszwang ein Anschlussgrad von 94 % erreicht. Von 16 Investoren konnte nur 1 Investor nicht überzeugt werden. Das Niedertemperaturnetz ist an den Rücklauf des vorgelagerten Fernwärmenetzes angebunden. Die gefahrenene Temperaturen liegen bei ca. 65/40°C. Niedrigere Vorlauftemperaturen waren nicht realisierbar, da die Mehrheit der Investoren nicht von der klassischen zentralen Warmwasserbereitung mit 60°C Speichertemperatur abgehen wollten.

Drei Solareinspeisestationen wurden umgesetzt, von denen zwei erfolgreich in Betrieb sind. Die dritte Station nimmt im Sommer 2020 ihren Regelbetrieb auf.

Es wurden **Primärenergieeinsparung** von ca. 50% gegenüber dezentralen Lösungen aus Kraft-Wärme-Kopplung erreicht. Die erreichte zusätzliche CO<sub>2</sub>-Einsparung durch die bessere Ausnutzung der solarthermischen Anlagen liegt bei 9 %. Wenn die dritte Solarstation den Regelbetrieb aufnimmt, wird die zusätzliche CO<sub>2</sub>-Einsparung über 10 % liegen.

Es wurden **Handlungsempfehlungen** für Versorger und Akteure geschlussfolgert, die eine wirtschaftlich und ökologisch sinnvolle Erschließung dieses kleinteiligen Gebietes unter Berücksichtigung von Fernwärme und dezentraler regenerativer Energieeinspeisung erlauben und für vergleichbare Projekte anwendbar sind. Die Handlungsempfehlungen sind in Kapitel 2.7 aufgeführt. Darüber hinaus sei auf [1] und [13] verwiesen.

## 2.4.2 Wesentliche Elemente

### Konkurrenzfähige Durchsetzung der Fernwärme gegenüber dem leitungsgebundenen Energieträger Gas und regenerativen Alternativen der Investoren

Im Quartier „Wohnen am Campus in Berlin Adlershof wurden Niedrigenergie-Gebäude und Plus-Energie-Gebäude gebaut und mit einem Niedertemperaturnetz versorgt. Dieses Praxis-Beispiel sollte zeigen, wie ein zentral versorgtes **Niedertemperaturnetz mit der Möglichkeit dezentraler Einspeisung regenerativer Energie** realisiert werden kann.

Im Versorgungsgebiet gibt es keine Fernwärmesatzung, die Fernwärme steht in Wettbewerb mit den anderen Energieträgern Gas und Strom und setzt sich aufgrund ihrer ökologischen Qualität (Primärenergiefaktor 0,24) und ihrer Wirtschaftlichkeit durch. Fernwärme mit einem attraktivem Primärenergie-Faktor erhöht bei fehlendem Anschluss- und Benutzungszwang und kleinteiliger Bebauung mit einer Vielzahl von Kunden die Akzeptanz der Fernwärme. Dieser Effekt wird verstärkt durch die frühzeitige partizipative Einbindung der Eigentümer in Bezug auf eigene regenerative Energieerzeugung. Der beabsichtigte hohe Fernwärme-Anschlussgrad wurde erreicht.

### „Wärmewende im Quartier“ - Attraktivität regenerativer Alternativen Investoren

Im Gegensatz zu anderen Vorhaben, die allein die technische Lösung in den Vordergrund stellen und dann an der Diversität der Kunden scheitern bzw. nur teilweise umgesetzt werden können, wurde von der BTB von Anfang an ein anderer Ansatz gewählt. Die BTB ist von der Fragestellung ausgegangen: „Wie können wir die Kunden gewinnen und sie von der Fernwärme überzeugen?“

Ausgehend von dieser Fragestellung ergab sich schnell die Annahme, dass eine Vielzahl von Einfamilienhauskunden sich nur durch eine Fernwärme mit einem Plus für eigenerzeugte regenerative Energie gewinnen lassen wird. Denn Einfamilienhausbesitzer sind in der Regel nicht fernwärmeaffin, sondern wollen etwas eigenes. Die Einspeisung regenerativer Energie, also im wesentlichen von Solarthermie, erforderte ein Niedertemperaturnetz. Geringe Wärmedichten durch Einfamilienhäuser verbunden mit langen Leitungswegen erfordern ebenfalls niedrige Temperaturen, um die Netzverluste gering zu halten.

Das Handeln der BTB ist immer auf den Kunden ausgerichtet. Das Hauptziel lag daher in der optimalen technischen Lösung, die eine wirtschaftliche Wärmeversorgung der Kunden unter den gegebenen Ausgangsbedingungen und gleichzeitiger Berücksichtigung ihrer individuellen Eigenbeiträge erlaubt.

So bildete sich die technische Lösung heraus: Niedertemperaturnetz "Wohnen am Campus" mit Anbindung an den Fernwärmerücklauf und mit Einspeisung regenerativer Energie durch die Kunden. Das Netz sollte als demokratisches Netz einen Wärmeverbund darstellen, über den an einer Stelle im Überschuss produzierte regenerative Energie an Nachbarn weitergeleitet und verrechnet werden kann.

Diese Strategie der BTB ist im Vorhaben daran gescheitert, dass durch die politische Entscheidung des Senats und die deshalb veränderte Bebauungsstruktur mit einem Mal viel weniger als die ursprünglich geplanten 120 Einzeleigentümer und zudem überwiegend andere als Einfamilienhausbesitzer, nämlich gewerbliche Investoren, teilweise als Zwischenstation bis zum Endnutzer (wie Baywobau, Endnutzer WEG) Verhandlungspartner wurden.

Dennoch wurde das Hauptziel des Fördervorhabens, nämlich die Wärmeversorgung aus einem Rücklauf-Niedertemperaturnetz mit Einbindung von regenerativen Energien zumindest teilweise erreicht. In der Realität wird zwar nur ein kleiner Teil des Wärmebedarfs im Quartier mittels Solarthermieanlagen dezent-

ral auf den Gebäuden erzeugt und ein geringer Anteil eingespeist. Überschüssige Solarwärme wird dem Wärmeverbund zur Verfügung gestellt und kann bei Bedarf wieder bezogen werden.

Die umgesetzte technische Lösung funktioniert, ist wirtschaftlich darstellbar und wirkt nach außen durch die Beteiligung von Eigentümern am wirtschaftlichen Erfolg mit eigenen Solaranlagen. Diese Art des „demokratischen Netzbetriebs“ ein erster kleiner Schritt hin zur dezentralen Solarisierung der Fernwärme mit vielen unabhängigen Einspeisern. Auf dem Weg von der Stromenergiegewende zur dringend benötigten Wärmeenergiegewende stellte dieses Projekt somit einen wichtigen Beitrag dar.

Klarere politische Zielsetzungen und stärkere förderpolitische Anreize für Fernwärmenetzbetreiber und Gebäudeeigentümer würden ähnliche Vorhaben begünstigen. Für den Erfolg der Energiegewende und besonders der Wärmewende spielen aufgrund der hydraulischen Komplexität beim Netzbetrieb die gesetzlichen Festlegungen wie EEWärmeG, GEG, KWK-Förderung, Warmmietenneutralität und Regelungen zur Partizipation der Allgemeinheit eine große Rolle.

### Warmmietenneutralität

Ein wesentlicher Hemmschuh bei der Anwendung der hier gesammelten Erfahrungen in Bestandsquartieren ist die gesetzliche Notwendigkeit, die Warmmietenneutralität zu gewährleisten. Dadurch wird ein Fernwärmeanschluss und besonders ein mit Mehrinvestitionen verbundener Anschluss mit Solareinspeisung meistens verhindert. Eine Bewertung der ökologischen Qualität findet im Bestand quasi nicht statt. Quartiers- oder Blocklösungen, bei denen ein erster Fernwärmeanschluss als „Keimzelle“ wirken kann und Nachbarhäuser über die vorhandene Heizungsinfrastruktur Solarthermie einspeisen könnten, auch wenn ihre Kesselanlage nicht unmittelbar zu erneuern ist, dürfen nur bei Einhaltung der Warmmietenneutralität angeschlossen werden. Da bei dieser Gesamtkosten mit Brennstoffkosten + Schornsteinfeger + Wartung (falls sie durchgeführt wurde) verglichen werden, ist diese Umstellung schwer darzustellen.

Die Umsetzung der partizipativen Idee (einer speist ein, Überschüsse werden im Block verteilt, das Fernwärmeunternehmen managt und sichert die Grundversorgung/Backup) konnte von BTB in den benachbarten Bestandsquartieren (z.B. der Bereich um die Dörpfeldstraße in der Nachbarschaft von Adlershof) noch nicht umgesetzt werden.

Auch in Zusammenarbeit mit dem IÖW, Institut für ökologische Wirtschaftsforschung GmbH, Frau Dr. Dunkelberg, die das Projekt „Urbane Wärmewende“ [14] im Untersuchungsraum Dörpfeldstraße bearbeiten, war noch keine Realisierung eines derartigen Projektes möglich. BTB ist in diesem Quartier der Fernwärmelieferant mit einigen angeschlossenen Quartiers-Blöcken, die weitere Verdichtung ist jedoch aus den vorgenannten Gründen ins Stocken geraten.

Das Gebäudeenergiegesetz wird das EEWärmeG, das Energieeinspargesetz EnEG und die Energieeinsparverordnung EnEV auf eine gemeinsame gesetzliche Grundlage stellen. Das Bundeskabinett hat am 23. Oktober 2019 den Entwurf für das Gebäudeenergiegesetz (GEG) beschlossen. Eine Verschärfung der energetischen Anforderungen für den Gebäudebestand ist mit dem Gebäude-Energie-Gesetz jedoch auch nicht verbunden.

### Realisierung dezentrale Solarthermieanlagen durch Gebäudeeigentümer

Die Erhöhung des Anteils der erneuerbaren (hier: solaren) Energien in der Wärmeversorgung kann bei Fernwärmeunternehmen entweder über solare Freifeldanlagen, die am Erzeugerstandort einspeisen, oder dezentral auf den Dächern der Kunden erfolgen.

Freifieldanlagen kommen in Fall der BTB aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse an den Kraftwerksstandorten in der Stadt nicht in Frage.

Damit einzelne Kunden Solarthermie einsetzen, muss es finanzielle Anreize für sie geben. Da es keinen Anschluss- und Benutzungszwang in Berlin gibt, muss die Fernwärme wirtschaftlich konkurrenzfähig sein. Darüber hinaus hat die Fernwärme der BTB mit einem Primärenergiefaktor von 0,24 weitere deutliche finanzielle Vorteile für die Kunden. Beides zusammen verringert die Bereitschaft der Kunden zum Einsatz von Solarthermie.

Die Schlussfolgerung ist, dass die Solarisierung der Fernwärme besser in Städten mit kommunalen Wohnungsbaugesellschaften und kommunalen Energieversorgern funktionieren wird, wo der städtische Gesellschafter mehr Steuerungsmöglichkeiten hat.

Da bei der Solarthermie nach unserer Einschätzung auch nicht mit nennenswerten Kostendegressionen zu rechnen ist, würde nur die Erhöhung der Fördermittel bleiben, wenn der Solarthermieeinsatz erhöht werden soll. Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens wurden bezüglich der Solarthermieeinspeisung ins Fernwärmenetz die Vorteile alle so gut wie möglich für die Kunden verwendet (Bewertung der eingespeisten Solarwärme entspricht dem Arbeitspreis, nicht dem ersparten Brennstoff), und trotzdem war das Interesse bei den Investoren nicht groß.

### Ausrüstung von ausgewählten Hausübergabestationen mit erweiterter Messtechnik

Die Ausstattung der HAST mit Solareinspeisung mit zusätzlicher Messtechnik ist aufgrund der Pilotanlagencharakteristik notwendig und es ergeben sich darüber hinaus folgende Vorteile:

1. Grundsätzlich gilt: je niedriger die Vorlauftemperatur gefahren wird, desto niedriger sind die Wärmeverluste des Teilnetzes „Wohnen am Campus“. Mit dem kontinuierlichen Messen der Temperaturen beim Kunden in der HAST (->Warmwasserbereitung) ist die BTB in der Lage, die Netztemperatur sukzessive zu verringern, ohne die Versorgung der Kunden zu gefährden.
2. Die Netzverluste im Teilnetz „Wohnen am Campus“ können messtechnisch erfasst werden.
3. Der Einfluss des Nutzerverhaltens bei der Warmwasserbereitung kann besser erfasst werden. Dieses Thema gewinnt an Bedeutung, da bei Neubauten die Leistungsvorhaltung für die Warmwasserbereitung die bestimmende Größe geworden ist. Durch Auswertung der Daten kann die tatsächlich erforderliche Leistungsvorhaltung für Fernwärmekunden besser eingeschätzt werden.

Der zusätzliche Meßaufwand ist erforderlich, um solare Einspeisung in die Hausanlage und ins Fernwärmenetz bilanzieren zu können. Die aufwendigere Regelung von Solarstationen macht die Messung von deutlich mehr Parametern notwendig, um alle regelungstechnischen Funktionen abbilden zu können.

### 2.4.3 Niedertemperaturnetz (AP3 Monitoring, AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)

Die Wärmeversorgung des Quartiers erfolgt mit 65° Vorlauftemperatur. Die Wärmeübergabestation (WÜST) ist das Bindeglied zwischen dem BTB-Primärnetz mit 110 °C und dem Sekundärnetz. Das Sekundärnetz in Berlin-Adlershof wird von der WÜST mithilfe des Vorlaufs und Rücklaufs des Primärnetzes gespeist. Die WÜST besteht aus zwei baugleichen „Tauschergruppen“, die wiederum aus jeweils zwei in Reihe geschaltete Wärmeübertrager bestehen. Beide Gruppen sind primärseitig an drei Stellen an das Fernwärmenetz der BTB angeschlossen. Die detaillierte Verschaltung ist aus Abbildung 6 ersichtlich.

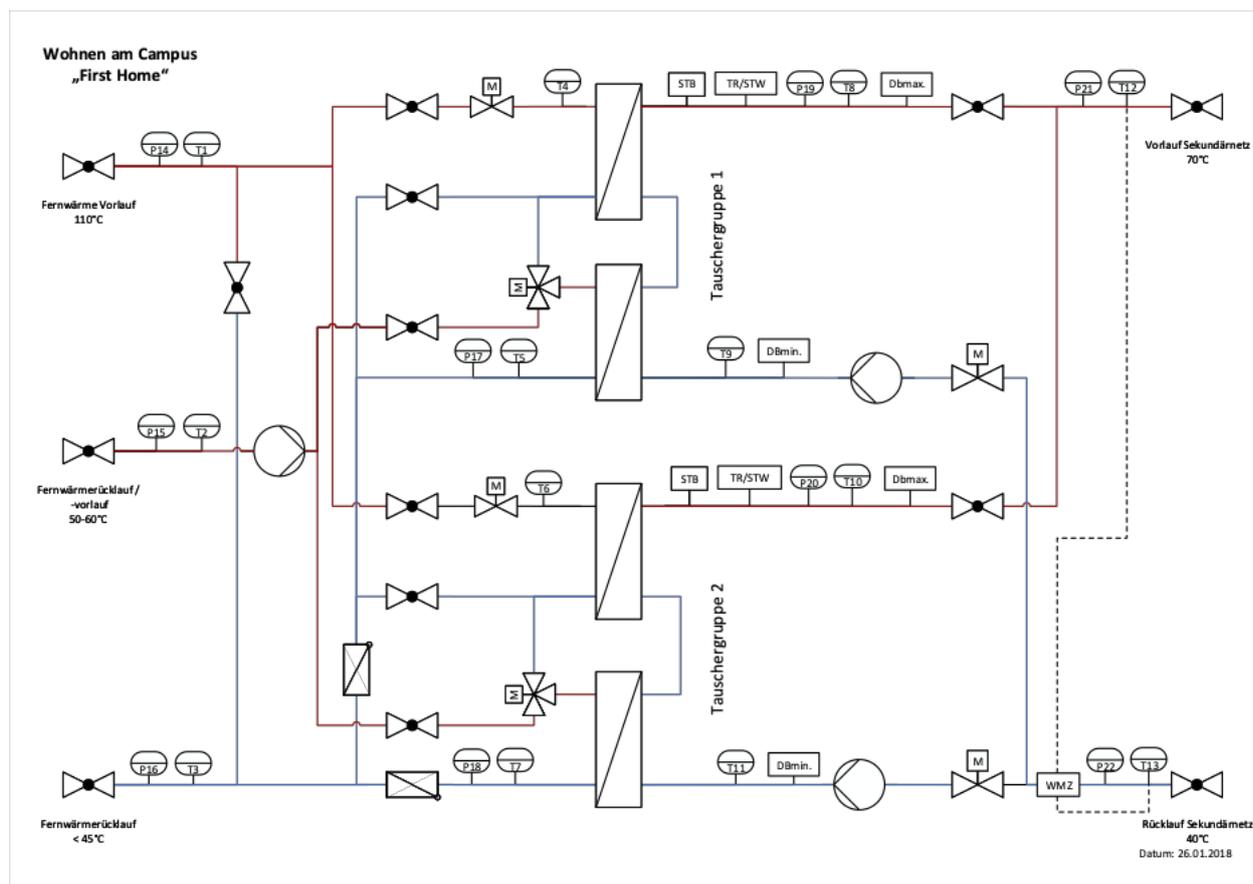


Abbildung 6: R&I Schema WÜST; TU Dresden

Die Wärme für das Sekundärnetz wird zunächst aus dem Rücklauf des primären Fernwärmenetzes, in Abbildung 6 „Fernwärmerücklauf/-vorlauf (50-60°C)“ genannt, entnommen und nach Bedarf über den nachgeschalteten Wärmeübertrager aus dem Fernwärmeevorlauf des Primärnetzes (110°C) auf Soll-Vorlaufstemperatur nachgewärmt. Der dritte Anschluss auf der Primärseite ist die Anbindung an den Rücklauf des Primärnetzes. Hier sollen von der WÜST niedrige Temperaturen <45 °C bereitgestellt werden. Die Anteile von Fernwärmeevorlauf (110°C) und Fernwärmerücklauf/Sekundärvorlauf (50-60 °C) werden durch motorgesteuerte Ventile bestimmt, um 65°C Vorlaufstemperatur im Sekundärnetz zu gewährleisten.

Primärseitig ist im Fernwärmerücklauf/-vorlauf eine Umwälzpumpe installiert, die den Druckunterschied zwischen Vor- und Rücklauf des Primärnetzes ausgleicht. Alle vier Wärmeübertrager sind im Gegenstromprinzip angeschlossen. Die Innenansicht der WÜST ist aus Abbildung 7 ersichtlich.

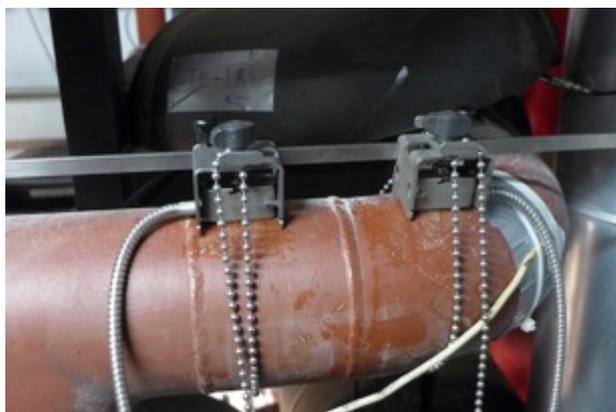


Abbildung 7: Ansicht WÜST (links) und Detail mit temporäre. Volumenstrommessung (rechts); Fotos: TU Dresden

Für das Monitoring der WÜST stehen die in der folgenden Tabelle 3 aufgeführten Daten zur Verfügung. In Ergänzung zu den Sensoren der BTB, die fest installiert sind und fortlaufend Daten liefern, wurde im März 2018 zusätzlich eine mit nur temporär installierten Sensoren durchgeführte Messung organisiert, um so detailliertere Einsichten in das Verhalten der WÜST zu erlangen. Es handelt sich bei diesen temporären Messungen um Temperaturen und Durchflüsse an einem der Wärmeübertragergruppen. Alle im folgenden präsentierten Darstellungen von Messergebnissen beziehen sich auf diesen Messzeitraum vom 1.-21.März 2018, der als repräsentativ für das Verhalten der WÜST angesehen werden kann.

Tabelle 3: Übersicht zu den Sensordaten an der WÜST; TU Dresden

'BTB_WaC_AJ4_T1_AE'	Sensoren von BTB	Temperatur Vorlauf (VL) Primärnetz
'BTB_WaC_AJ4_T2_AE'		Temperatur Rücklauf (RL) Primärnetz (dient in der WÜST ebenfalls als Vorlauf)
'BTB_WaC_AJ4_T3_AE'		Temperatur RL Primärnetz
'BTB_WaC_AJ4_T4_AE'		Temperatur Tauschergruppe 1 (TG1) VL primär
'BTB_WaC_AJ4_T5_AE'		Temperatur TG1 RL primär
'BTB_WaC_AJ4_T8_AE'		Temperatur TG 1 VL sekundär
'BTB_WaC_AJ4_T9_AE'		Temperatur TG 1 RL sekundär
'BTB_WaC_AJ4_T12_AE'		Temperatur VL Sekundärnetz
'BTB_WaC_AJ4_T13_AE'		Temperatur RL
'T14'	Sensoren der TU Dresden	Temperatur VL TG 1 WÜ 2 primär
'T15'		Temperatur zwischen WÜ 1 und 2 in TG 1
'T16'		Temperatur Rücklauf TG 1 WÜ 1
'TU'		Temperatur Umgebung
'FIR2'		Durchflussmenge Fernwärme RL (als VL genutzt)
'FIR3'		Durchflussmenge TG1 WÜ1
'FIR1'		Durchflussmenge Fernwärme RL
'FIR4'		Durchflussmenge TG1 WÜ1

In Abbildung 8 sind zunächst die Temperaturen auf der Primär- und Sekundärseite der WÜST sowie die Grädigkeit am Rücklauf dargestellt. Zu erkennen sind die primäre Vorlauftemperatur (Sensor T1 in Abbildung 6 mit Temperaturen von ca. 100°C), die Netzurücklauftemperatur der Primärseite (Sensor T2 mit Temperaturen von ca. 50°C), sowie die Rücklauftemperatur der WÜST (Sensor T3 mit Temperaturen von ca. 45°C). Die Sekundärseite der WÜST ist das Niedertemperaturnetz, charakterisiert durch die beiden Temperaturen im Vorlauf (Sensor T12, mit Werten von etwa 60°C) und im Rücklauf (Sensor T13 mit Werten von etwa 40°C). Die Temperaturdifferenz zwischen dem Rücklauf des Niedertemperaturnetzes und dem Rücklauf der WÜST schwankt zwischen etwa 3 und 7 K.

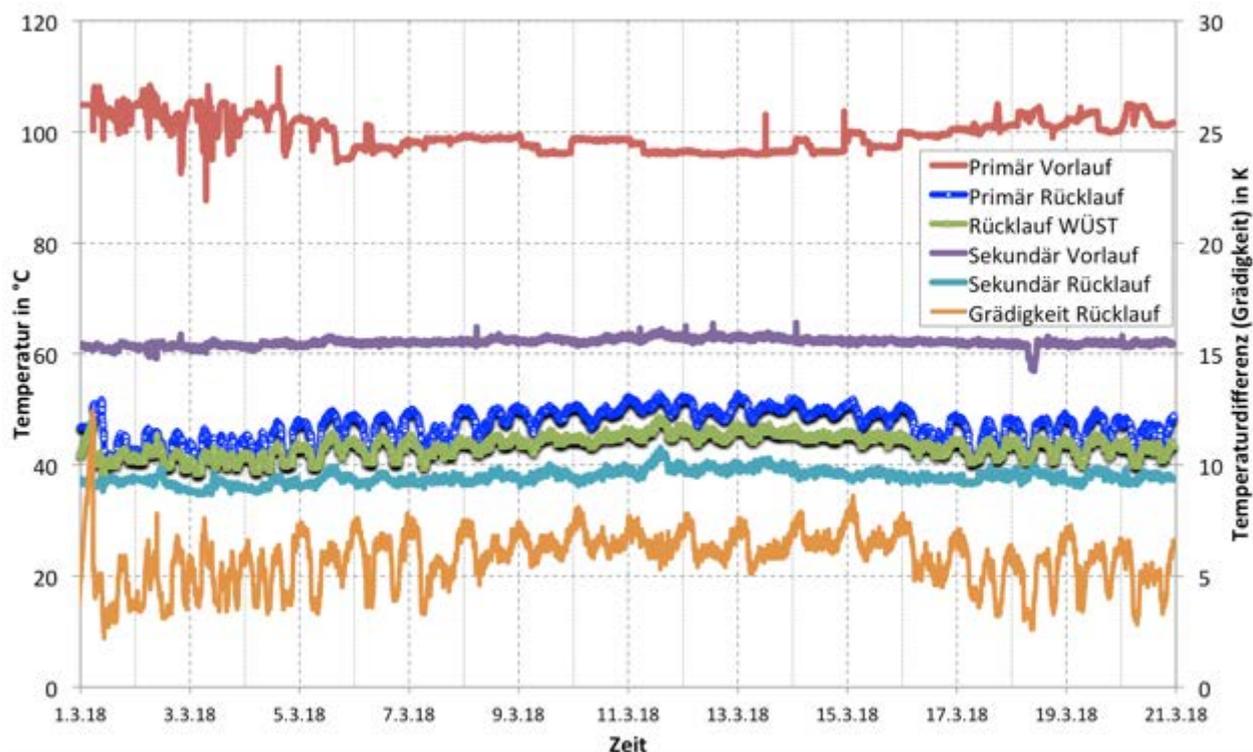


Abbildung 8: Temperaturen an der Wärmeübertragerstation; TU Dresden

Aus der Darstellung lässt sich erkennen, dass die Vorlauftemperatur im Niedertemperaturnetz mit einer recht hohen Regelgüte sichergestellt werden kann. Die Temperaturdifferenz zwischen dem primären Rücklauf (ca. 50°C) beträgt gegenüber dem Rücklauf im Niedertemperaturnetz (ca. 40°C) maximal 10 K. Die WÜST hat damit offensichtlich eine nur geringe Wirkung auf den primären Rücklauf, d.h. signifikante Absenkungen des Rücklauftemperaturniveaus lassen sich nicht nachweisen.

In Abbildung 9 sind die Durchflussmengen dargestellt. Der Vorlauf des Primärnetzes wurde mithilfe einer Bilanzierung berechnet.

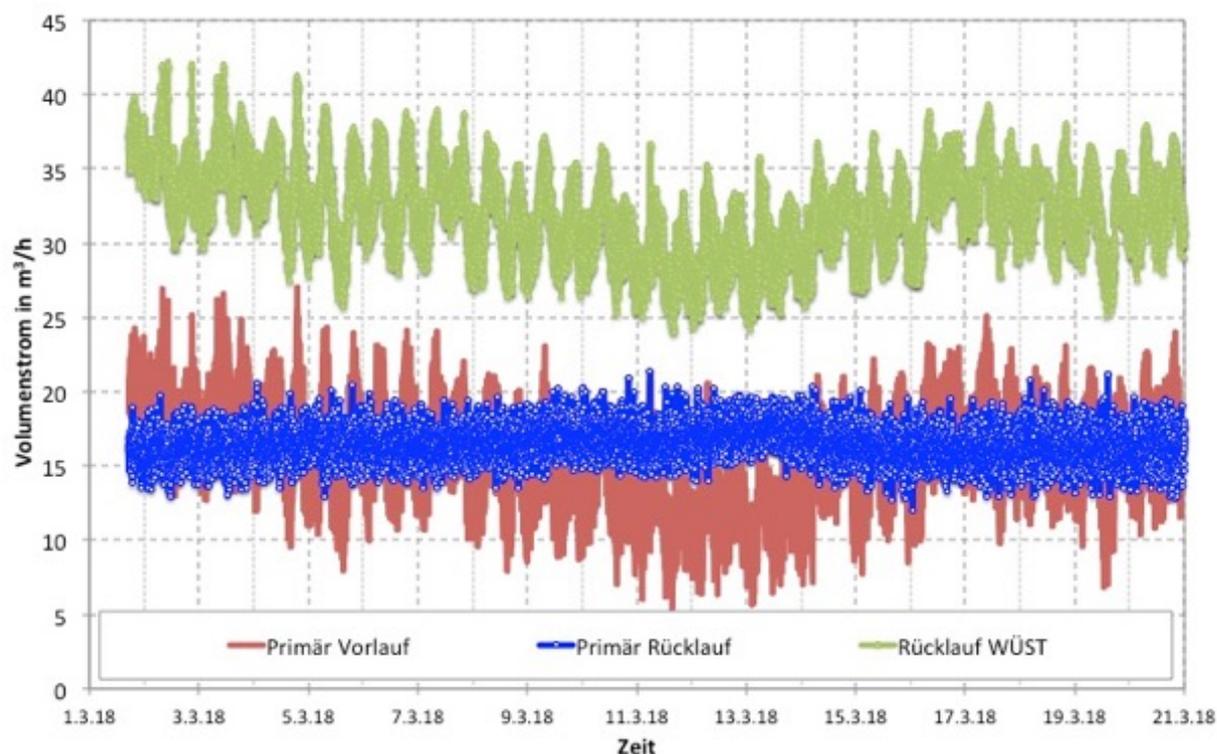


Abbildung 9: Volumenströme WÜST; TU Dresden

Die niedrigen Systemtemperaturen im Sekundärnetz erleichtern die Einbindung von Wärme aus Solarthermie. Ursprünglich war das Niedertemperatur-Netz mit insgesamt 15 HANEST (10 für Einfamilienhäuser und 5 für Mehrfamilienhäuser) als Wärmesenke für die Einspeisung solarthermischer Überschüsse gedacht. Aus den voran genannten Gründen speisen jedoch in der Realität kaum Solaranlagen in das Niedertemperatur-Netz ein. Insgesamt sind es drei Solarthermieanlagen, die Wärme ins Fernwärmenetz einspeisen und damit ihre solaren Erträge erhöhen. Zur Einspeisung der Solarwärme ins Netz wird eine HANEST-Station (© TU Dresden) verwendet.

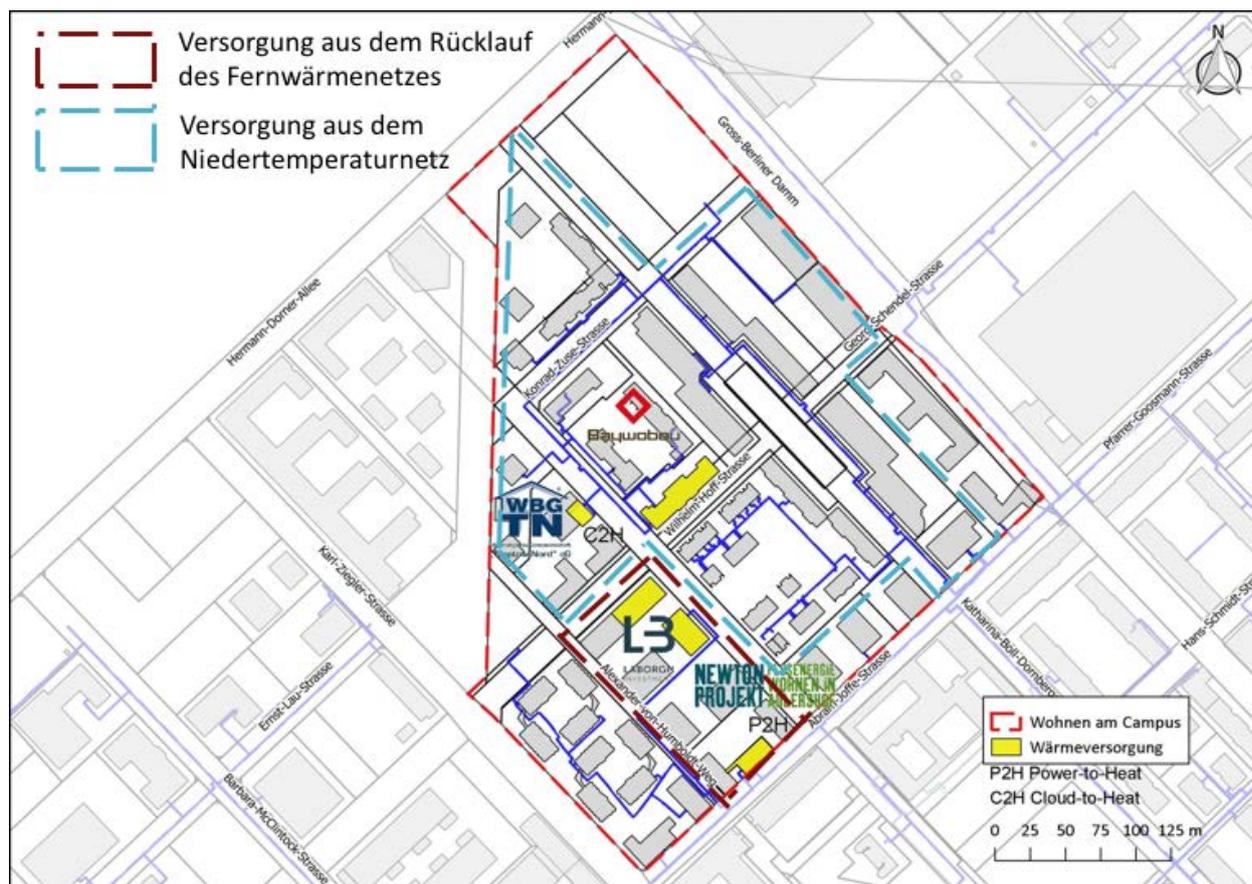


Abbildung 10: Niedertemperaturnetz "Wohnen am Campus"; BTB

Aufgrund des langwierigen Bauablaufs mit veränderten Anforderungen (siehe auch 2.2) wird lediglich die HANEST Baywobau Haus 4 aus dem Niedertemperaturnetz versorgt bzw. speist in das Niedertemperaturnetz ein.

Die beiden BTB-eigenen Solar-HAST Stationen bei Laborgh/HOWOGE und der Baugruppe Newtonprojekt speisen in den Rücklauf des vorgelagerten Fernwärmenetzes ein. Erfolgte Einspeisungen kommen so ggf. dem nachgelagerten, aus dem Rücklauf des vorgelagerten Fernwärmenetzes versorgten Niedertemperaturnetz zugute.

#### 2.4.4 Solaranlage Baywobau Haus 4 (AP3 Monitoring, AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)

Die Solarthermie Anlage besteht aus insgesamt fünf Kollektorfeldern, die wiederum aus jeweils vier in Reihe geschalteten Kollektoren bestehen. Es handelt sich um Vakuum-Röhrenkollektoren Vitos öl 200T Typ SPE der Firma Viessmann. In Summe ergibt sich für die 20 Kollektoren eine installierte Absorberfläche von 65,2 m<sup>2</sup> und eine Bruttofläche von 107,8 m<sup>2</sup>. Die Peakleistung der Solarthermieanlage beträgt 44 kW. Im Vergleich zur maximalen Abnehmerleistung ist die installierte ST-Leistung wesentlich kleiner als in DEZENTRAL [10]. Volumenstromseitige Einspeisegrenzen sind daher nicht zu erwarten.

Die Kollektorfelder sind in einer Tichelmann-Verrohrung ohne Durchmesserabstufung miteinander verbunden, siehe Abbildung 12. An ausgewählten Stellen sind vom Installateur Entlüfter eingebaut worden. Insgesamt gibt es fünf dieser Entlüfter.



Abbildung 11: Solarkollektoren einschließlich Anbindeleitungen auf dem Dach; Fotos: Julia Raab

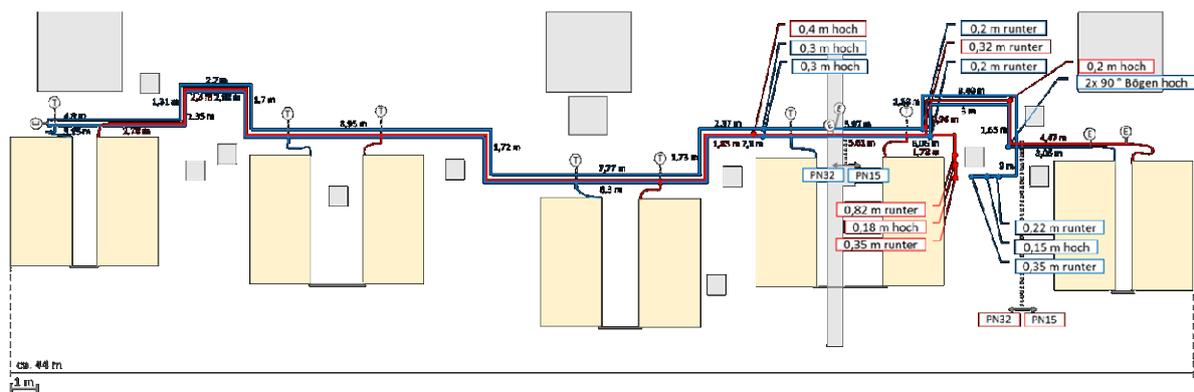


Abbildung 12: Verschaltung der Kollektoren Anlage Baywobau Haus 4; [1]

Die Abbildung 13 zeigt Aufnahmen dieser Entlüfter, die teilweise wieder rückgebaut worden sind. Der Einbau erfolgte vermutlich aus reinem Sicherheitsdenken des Installateurs und kann nachträglich wohl nur mit einer mangelhaften Kenntnis hydraulischer Systeme im Allgemeinen und Solarthermischen Anlagen im Konkreten erklärt werden. Gleiches gilt für die Anbindung der Kollektoren (siehe Abbildung 14), deren Ausführung vor Ort zeigt, dass die für einen sicheren und effizienten Betrieb von Solarthermischen Anlagen notwendigen Grundkenntnisse beim Anlagengerichter nicht vorausgesetzt werden können.



Abbildung 13: Beispielhafte Anordnung von Entlüftern in der Solarthermieanlage Baywobau Haus 4; Fotos: Julia Raab

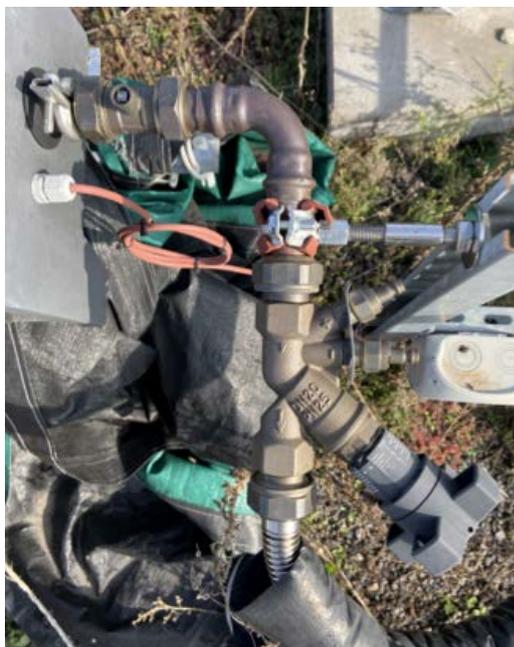


Abbildung 14: Hydraulischer Abgleich mittels Regulierventilen und beispielhafte Gesamtansicht der Kollektoranbindung in der Solarthermieanlage Baywobau Haus 4; Fotos: Julia Raab

Die ausgewählten Darstellungen in Abbildung 15 dienen der weiteren Veranschaulichung der äußerst niedrigen Umsetzungsqualität der solarthermischen Anlage. Die in der Abbildung rechts gezeigten Setter werden in den verfügbaren Planungshandbüchern zur Funktionskontrolle der Anlage erwähnt, sind aber insgesamt unnötig, da die Funktion der Anlage über Temperatur- und Drucksensoren überprüfbar wäre. Infolge von UV-Strahlung und Umwelteinflüssen kommt es zu Materialveränderungen bis hin zur Gefahr der Leckage durch beschädigte Bypass-Röhrchen.



Abbildung 15: Rohrdämmung und Durchflussprüfung über TacoSetter in der Solarthermieanlage Baywobau Haus 4; Fotos: Julia Raab

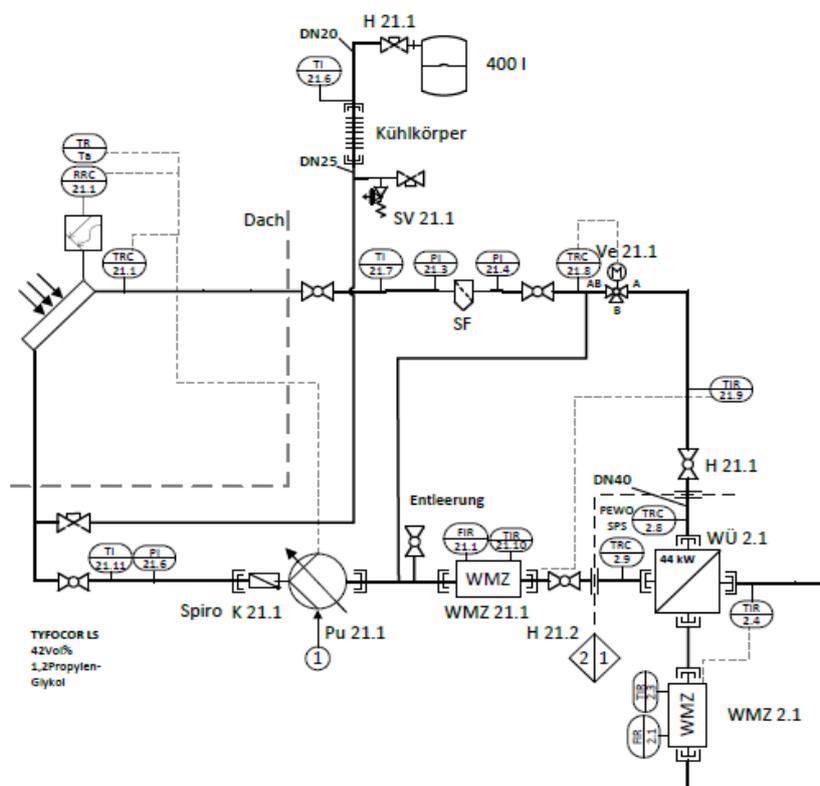


Abbildung 16: R&I Schema zur Einbindung der Solaranlage in die HANEST Baywobau Haus 4; [1]

#### 2.4.5 HANEST Baywobau Haus 4 (AP3 Monitoring, AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)

Die HANEST der Baywobau speist in den Vorlauf des Niedertemperaturnetzes ein. Die folgende Abbildung 17 zeigt das detaillierte R&I-Schema der HANEST-Anlage in Berlin Adlershof, wie diese am 18. April 2018 umgesetzt war. In dem RI-Schema sind die für die spätere energetische Bilanzierung notwendigen Bilanzgrenzen nach SOLSTAND eingezeichnet und um die HANEST-spezifischen Bezeichnungen erweitert. Planung und bauliche Ausführung der HANEST-Anlage einschließlich der solarthermischen Anlage (STA) sind unter Maßgabe folgender Randbedingungen und Anforderungen erfolgt:

- Niedrigtemperatur-Fernwärmenetz (VL/RL-Temperaturen: 65/40 °C)
- Die Station ist hydraulisch vom Fernwärmenetz getrennt (indirektes System)
- Rücklauf (RL)/ Vorlauf (VL)-Einspeisung in das Fernwärmenetz
- Gebäude mit 33 Wohneinheiten
- 1000 L Trinkwarmwasserspeicher
- Fußbodenheizung und Trinkwassererwärmung (TWE) mit einer Auslegungsleistung von 115 kW
- Keine Begrenzung der Rücklauf-temperatur und des Einspeisevolumenstroms.



Eine Auswertung über zwei Heizperioden mit regelungstechnischen Verbesserungen liegt mit der Diplomarbeit von Julia Raab, TU Dresden vor [1]. Es wird daher auf eine umfängliche Wiedergabe dieser Inhalte verzichtet, jedoch eine kurze zusammenfassende Beschreibung einschließlich ausgewählter Ergebnisse präsentiert. So sind am Beispiel des Tagesverlaufs des 01. Juni 2019, dargestellt in Abbildung 18 die in der HANEST-Station auftretenden Betriebszustände sowie die daraus resultierenden Regelaktivitäten gut zu erkennen. Es handelt sich hier um einen Sommertag, an dem keine Raumwärmebedarfe gefordert waren. Die Wärmeanforderungen des Abnehmers resultieren ausschließlich aus der Trinkwassererwärmung.

#### HAST-Betrieb:

Bis 09:09 Uhr befand sich die HANEST-Anlage noch im HAST-Betrieb, d.h. der Bedarf des Abnehmers wurde allein durch den Wärmebezug aus dem Fernwärmenetz gedeckt.

#### HANEST-B Betrieb:

Um 09:09 Uhr ging die Anlage in den HANEST-B Betrieb über, da die solaren Erträge der Solarthermieanlage den Abnehmerbedarf zumindest anteilig decken konnten. Der verbleibende Wärmebedarf wird durch Wärmebezug aus dem Netz ausgeglichen. Von 09:45 Uhr bis 09:50 Uhr erfolgt dann eine Vollversorgung, da die solaren Erträge für die Abnehmerversorgung ausreichen ( $WMZ-B = 0 \text{ kW}$ ); dieser Zustand ist ein Sonderfall des HANEST-B Modus.

#### Standby:

Von 09:50 Uhr bis 10:11 Uhr lag kein Abnehmervolumenstrom und kein solarer Ertrag vor. Demzufolge wurde weder Wärme bezogen noch eingespeist.

#### NEST Betrieb:

Um 10:11 Uhr wurden die Sekundärkreispumpe (Pu2.1) und die Einspeisepumpe (Pu12.1) eingeschaltet, es wurde Wärme von der solarthermischen Anlage bereitgestellt und in das Fernwärmenetz eingespeist. Die Anlage befand sich bis 10:33 Uhr im NEST Betrieb.

#### HANEST-E Zustand:

Mit dem Einschalten der Ladepumpe (Pu3.1) wurde lokal Wärme abgenommen, die Anlage ging in den HANEST-E Zustand über. Bis 12:00 Uhr wurde durch die solaren Erträge der lokale Wärmeabnehmer versorgt und die Überschüsse in das Fernwärmenetz eingespeist.

#### NEST-Betrieb:

Um 12:00 Uhr wurde Pu3.1 ausgeschaltet, weil der WW-Speicher geladen war - und nach ca. 17 min wieder angeschaltet, weil die Zirkulationspumpe (Pu4.2) weiter in Betrieb war, kühles Wasser in den Wärmeübertrager WÜ3.1 drückte und zur Unterschreitung der Grenztemperatur der Speicherladetemperatur (TRC4.1) führte. Die Anlage ging von NEST in den HANEST-E Betrieb über.

#### HANEST-B:

Im Zeitraum zwischen 15:13 Uhr und 15:18 Uhr wurde die Einspeisepumpe 12.1 ausgeschaltet, die Einspeisung verringert sich und der Bezug stieg ( $WMZ-B > 0 \text{ kW}$ ), die Anlage ging von HANEST-E in den HANEST-B Modus über. Die Regelung stellt basierend auf einer Entscheidungslogik den Betriebsmodus ein, abhängig von den vorliegenden Datenwerten aus dem Solarkreis und dem Abnehmerkreis, den Berechnungsgrößen und entsprechenden Grenzwerten bzw. Bedingungen. Entsprechend dem Betriebszustand aktiviert und deaktiviert die HANEST-Regelung die verschiedenen Einzel-Regelungen und spricht die Stellmotoren der Ventile an, um die notwendigen Strömungswege des Fluides einzustellen.

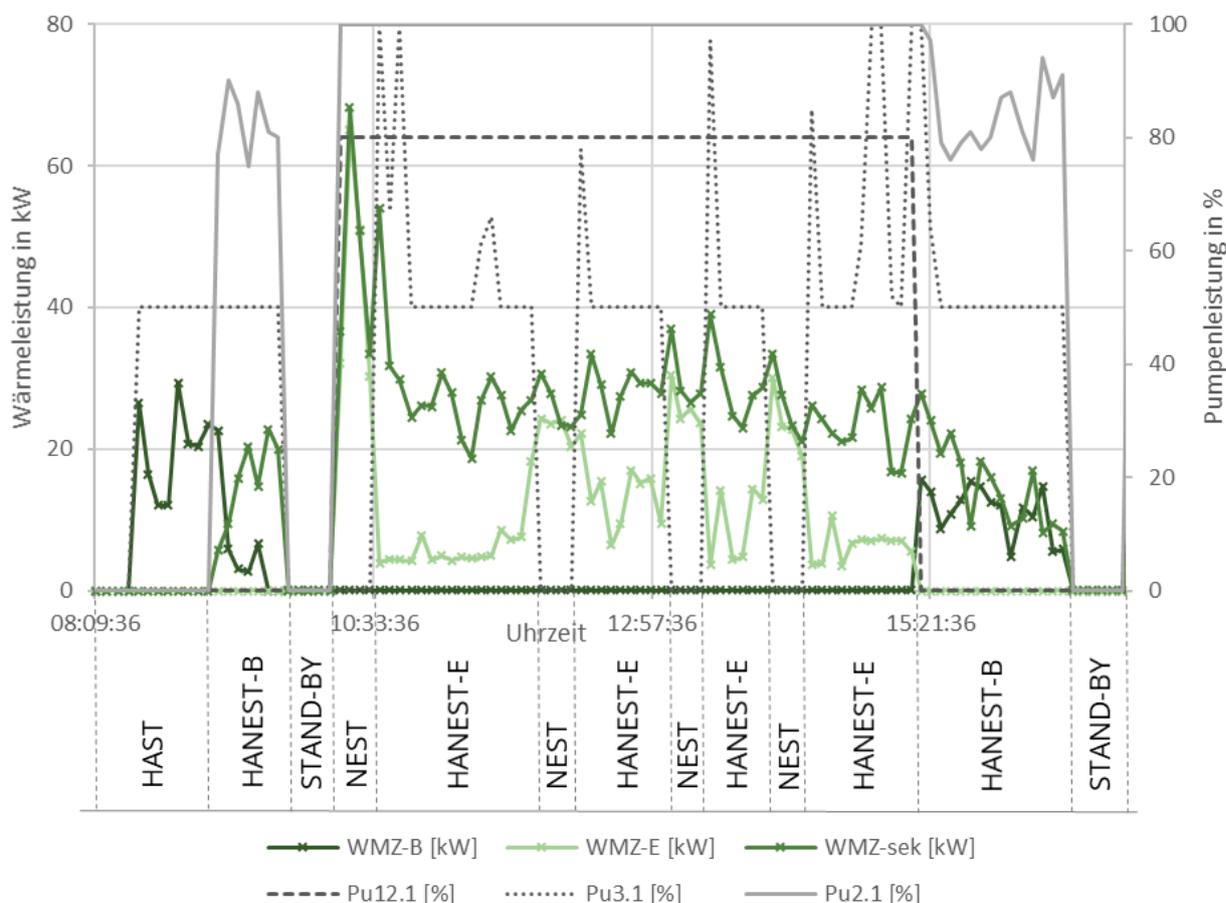


Abbildung 18: Tagesverlauf mit den vier HANEST-Betriebszuständen, 01. Juni 2019; TU Dresden [1]

Die folgenden Regelungen wurden in der HANEST umgesetzt [1]:

- Die Delta-Theta-Regelung

$$\Delta\theta = TRC2.2 - TRC3.5 = 2 \text{ K} \quad (\text{Formel 1})$$

Über die sogenannte Delta-Theta-Regelung wird die Drehzahl der Sekundärkreispumpe Pu2.1 eingestellt, um eine Temperaturdifferenz von 2K einzustellen; die Ventil-Stellung von Ve2.2 ist konstant auf 100 %, das Ventil somit vollständig offen. Mit der Delta-Theta-Regelung wird sichergestellt, dass die Sekundärkreispumpe Pu2.1 von der Tauscherladepumpe Pu3.1 und der Heizkreispumpe Pu5.1 hydraulische entkoppelt ist und sich die Pumpen gegenseitig nicht beeinflussen. So ist der von Pu2.1 beförderte Volumenstrom geringfügig größer als der durch die Pumpe 3.1 und die Pumpe 5.1 gesamte beförderte Volumenstrom des Abnehmerkreises. Das  $\Delta\theta$  von 2 K sichert, dass die Versorgungstemperatur des Abnehmerkreises TR3.2 durch Rücklaufbeimischung nicht zu sehr absinkt und die Rücklauftemperatur am WÜ2.1 und somit auch die solarseitige Rücklauftemperatur TRC2.9 nicht zu hoch werden. Wird  $\Delta\theta$  nicht erreicht, wird der Volumenstrom FIR2.1 über Pu2.1 erhöht, und bei Überschreitung gesenkt. Die Delta-Theta-Regelung ist nur im HANEST-B Betrieb aktiv.

- Die Zieltemperaturregelung TRC2.5

Im HANEST-E und NEST Betrieb läuft die Pumpe 2.1 auf maximaler Leistung und über die Drosselung von Ventil Ve2.2 wird TRC2.5 wie folgt eingestellt:

$$TRC2.5_{\text{soll}} = TRC2.8 + \text{Offset}$$

(Formel 2)

Der Offset für die Sollwertbestimmung hängt laut Regler-Handbuch von dem vorliegenden Betriebsmodus ab. Nach dem Regler-Handbuch ist der Offset für den HANEST-B Betrieb – 5 K, für HANEST-E liegt der Wert bei + 4 K und im NEST-Betrieb wird die Solltemperatur von TRC2.5 mit einem Offset von + 10 K festgelegt. Die im Handbuch gegebenen Offsetwerte sind falsch; der HANEST-B Betrieb verfügt über keine Zieltemperaturregelung von TRC2.5 und für die Zustände HANEST-E und NEST sind positive Offsetwerte gegeben, das würde heißen, die einzustellende sekundärseitige VL-Temperatur TRC2.5 soll vier bzw. zehn Kelvin höher sein als die solarseitige Vorlauftemperatur TRC2.8 am WÜ2.1. Eigentlich sollte der Sollwert von TRC2.5 die Einspeisung nach WÜ1.1 mit 70 °C ermöglichen. Die Messdaten unterstützen die im Handbuch beschriebenen Offset-Werte nicht, wie in Anhang B des Regler-Handbuchs dokumentiert. Der Sollwert für TRC2.5, so zeigen die Messdaten, scheint auf 75 °C definiert zu sein. Dieser Wert ermöglicht die Einspeisung mit Wassertemperaturen von 70 °C, unter der Berücksichtigung der Grädigkeit des Wärmeübertragers WÜ1.1 von 5 K.

- Die Umschaltung des Drei-Wege-Ventils Ve2.1  
Die Ventilstellung 2.1 ist abhängig von dem Betriebszustand. Im HAST-Betrieb sind der solarkreisseitige Teil des Sekundärkreises und die solarthermische Anlage selbst über Ve2.1-Stellung A-AB kurzgeschlossen. In HANEST-B, HANEST-E und NEST liegt die Stellung B-AB (100 %) vor; die Pumpen 3.1 und Pumpe 2.1 sind durch diesen Bypass hydraulisch entkoppelt.
- Die Einspeiseregulation der Pu12.1  
Die Einspeisepumpe 12.1 läuft (sofern sie an ist) auf 80 % ihrer Leistung, um die Druckdifferenz des vorliegenden Fernwärmenetzes aufbauen zu können. Die Split-Range-Regelung variiert die Drehzahl zwischen 80 % und 100 %, um die notwendige Druckdifferenz zwischen RL und VL des Fernwärmenetzes zu überwinden und bei wechselnder Ventilstellung des Einspeiseventils Ve12.1 anzupassen.
- Die Regelung des Einspeiseventils Ve12.1  
Über die Stellung des Einspeiseventils Ve12.1 wird der Volumenstrom beeinflusst, um die Einspeisetemperatur TRC11.5soll von 70 °C einzustellen. Das Fernwärmenetz der BTB wird mit Vorlauftemperaturen von ungefähr 68-72 °C betrieben und einer gewünschten maximalen Rücklauftemperatur von 55 °C, idealerweise noch geringer. Am 04. Juli 2018 befand sich die Anlage vor 08:51 Uhr im HANEST-B Betrieb, Wärme wurde aus dem Fernwärmenetz bezogen (WMZ-B > 0 kW), so wurde der Abnehmerbedarf teilweise durch solare Erträge und anteilig durch Wärme aus dem Netz gedeckt. Ab 09:12 Uhr bis nachmittags um 16:23 Uhr befand sich die Anlage im HANEST-E und NEST-Zustand und speiste die restliche, durch den Abnehmer nicht geforderte, Wärmemenge in das Fernwärmenetz ein. Die Einspeiseregulation fährt die Pumpe 12.1 in der Regel auf 80 % sobald eingespeist wird. Bevor das Ventil 12.1 zur Einspeisung öffnet, baut die Pumpe die notwendige Druckdifferenz und somit einen Volumenstrom auf. Sobald die Einspeisetemperatur TRC11.5soll von 70 °C erreicht ist, öffnet das Einspeiseventil Ve12.1. Durch die Ventilstellung 12.1 wird der notwendige Volumenstrom eingestellt, um die Einspeisetemperatur TRC11.5 zu sichern. In dem Diagramm Abbildung 18 sind sechs temporäre Einbrüche von der Einspeisetemperatur TRC11.5 erkennbar. Sobald die Tauscherladepumpe Pu3.1 während der Einspeisephase ausgeschaltet wird, wird der Volumenstrom durch Ventil 2.2 im Sekundärkreis reduziert. Durch den Sekundärkreis fließt entsprechend weniger Wasser, die Wassertemperatur TRC2.1 fällt auf das Fernwärme-Rücklauf-Temperaturniveau (s. TRC11.2). Auch die Wassertemperatur an TRC11.5 fällt, weil das Fernwärme-Wasser mit größerer Geschwindigkeit durch den WÜ1.1 strömt und zu wenig Wärmeenergie aufnehmen kann. In Konsequenz drosselt das Ein-

speiseventil 12.1 mit dem Ziel die Einspeisetemperatur TRC11.5 von 70 °C zu erreichen. Die Einspeisepumpe erhöht die Drehzahl, um die Druckdifferenz weiter zu gewährleisten, so z. B. um 10:50 Uhr. Nach Beendigung der Einspeisephase um 16:23 Uhr, wird der Abnehmerbedarf durch solaren Ertrag und Fernwärme-Bezug im HANEST-B Betrieb gedeckt, das Ventil Ve2.2 ist vollständig offen.

Am 27. Juni 2018 beobachteten die Anwesenden im Laufe der finalen Inbetriebnahme die funktionierende Überwachung von TR3.1 (vgl. Abbildung 19). Um 12:57 Uhr hatte TR3.1, die Temperatur des Versorgungsstroms für die Warmwasserbereitung eine Höhe von 53 °C; das Einspeiseventil Ve12.1 befand sich in diesem Moment auf 68 %. Durch die Grenzwertunterschreitung wird das Ventil 12.1 gedrosselt, damit der Abnehmerbedarf gewährleistet werden kann. Um 13:25 Uhr ist das Einspeiseventil nur noch zu 37 % offen, die Temperatur TR3.1 mit 65,7 °C allerdings wieder oberhalb der notwendigen 65 °C. Um 14:12 Uhr greift die TR3.1-Überwachung erneut ein, weil der Warmwasserbedarf mit 54,6 °C nicht sichergestellt werden kann. Im Regler-Handbuch ist die Höhe des Grenzwertes von TR3.1 nicht definiert.

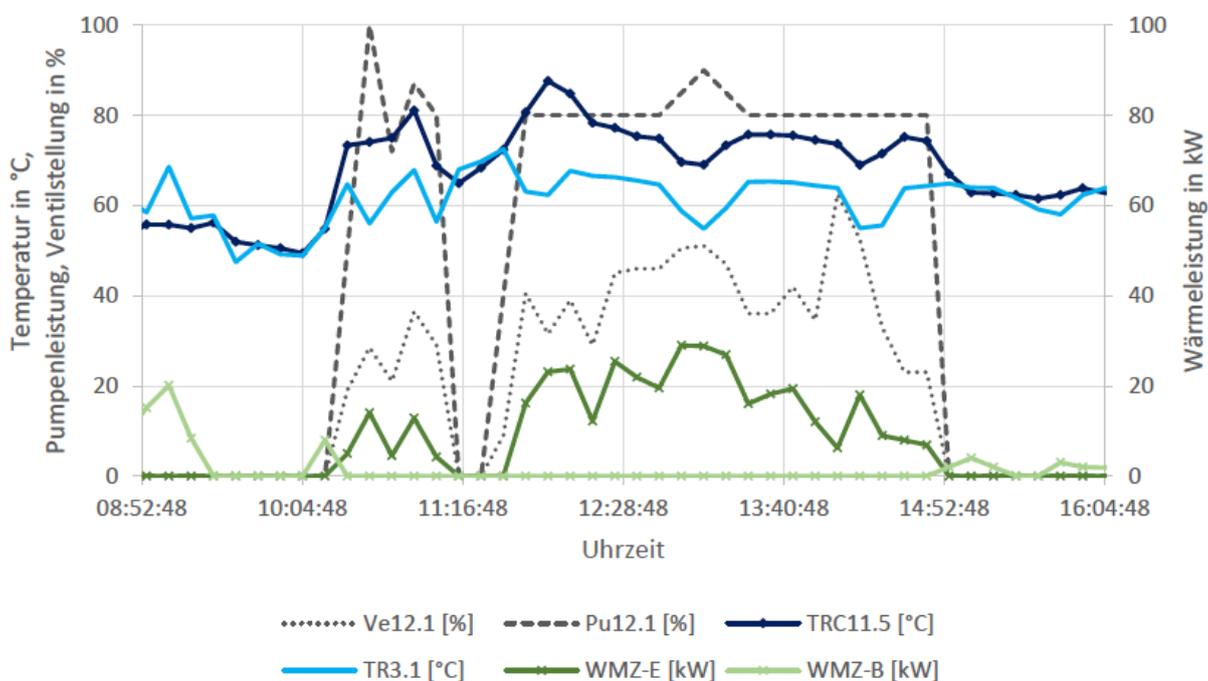


Abbildung 19: Diagramm zur TR3.1-Überwachung zur Gewährleistung der Abnehmersversorgung, 27. Juni 2018; TU Dresden [1]

- Ve11.1-Regelung  
 Über das Ventil 11.1 im Bezugsstrang wird die Solltemperatur TRC2.1soll - abhängig von der lokalen Wärmenutzung - eingestellt.

$$TRC2.1soll = \max (\vartheta_{TWW,soll}, \vartheta_{HK,soll}) + 5 \text{ K} \quad (\text{Formel 3})$$

So ist nach obiger Vorschrift die Solltemperatur 65 °C, wenn lokal Trinkwassererwärmung und Heizkreis aktiv sind. TRC2.1soll ist maximal 45 °C und minimal 30 °C, wenn nur der Heizkreis aktiv ist, weil dessen Wasser-Temperaturbereich von 25 °C bis 40 °C festgelegt ist. Liegt kein Abnehmerbedarf vor (Pu3.1 = Pu5.1 = 0 %), so ist der Sollwert innerhalb der Regelung auf 5 °C definiert.

Während der sogenannten „thermischen Desinfektion“ liegt die Solltemperatur von TRC2.1 bei 75 °C.

Wenn im HANEST-B oder HAST Betrieb aus dem Fernwärmenetz bezogen wird, strömt das abgekühlte Fernwärme-Wasser über Ve11.2 in den Rücklauf des Fernwärmenetzes. Ventil 11.2 ist bei Fernwärme-Bezug vollständig offen (100 %), andernfalls vollständig geschlossen. Je weiter das Ventil 11.1 geöffnet ist, d.h. je größer der Volumenstrom durch den WÜ1.1 ist, desto mehr Wärme wird an den Sekundärkreis der HANEST übergeben (vgl. WMZ-B), die Temperaturdifferenz zwischen TRC11.2 und TRC11.5 ist in diesen Momenten ebenfalls größer. Je stärker die durch das Abnehmerverhalten beeinflusste Wassertemperatur TRC2.1 schwankt, desto mehr wird die Ventil-Stellung 11.1 angepasst.

- Regelung der Tauscherladepumpe Pu3.1  
Die Drehzahl der Wärmetauscher-Ladepumpe 3.1 wird angepasst zwischen 50...100 %, um TRC4.1soll von 60 °C für die Speicherbeladung einzustellen. Die Pumpe 3.1 geht an, wenn TRC4.1 58 °C unterschreitet. Die maximale Pumpendrehzahl ist im Regler zudem auf 70 % festgelegt.
- Regelung der Speicherladepumpe Pu4.1  
Die Ladepumpe für den Trinkwarmwasserspeicher Pu4.1 geht mit der Pu3.1 an, sobald TRC4.1 58 °C unterschreitet und geht erst dann aus, wenn der Speicher unten eine Temperatur TR4.6 von 60 °C erreicht und der Speicher somit vollgeladen ist. Die Drehzahl der Pumpe 4.1 variiert zwischen 35...80 %.
- Regelung der Zirkulationspumpe Pu4.2  
Die Zirkulationspumpe Pu4.2 läuft permanent auf maximaler Drehzahl.
- Regelung der Heizkreispumpe Pu5.1  
Die Pumpe des Heizkreises 5.1 verfügt über ein An/Aus-Verhalten. Hier erfolgt keine Temperaturregelung. Die Heizkreispumpe 5.1 geht an, wenn die mittlere Außentemperatur 18 °C unterschreitet und geht aus, sobald 20 °C überschritten werden. Regelung der Rücklaufbeimischung über Ve5.1 Die notwendige Temperatur des Heizkreis-Vorlaufs wird über die Stellung des Drei-Wege-Ventils 5.1 reguliert. Abhängig von der mittleren Außentemperatur wird die Heizkreistemperatur bestimmt und über Ve5.1 der abgekühlte Rücklauf des Heizkreises in den Vorlauf gemischt, um so die Zieltemperatur einzustellen. Der zurückgeführte Volumenstrom über die Rücklaufbeimischung hängt in der Größe von der Außentemperatur und der Zulauf-Temperatur TR3.1 (bzw. TRC2.1) ab. Je heißer das Wasser bei TR3.1 ist, je niedriger die erforderliche Heizkreistemperatur ist -aufgrund wärmerer Außentemperaturen-, desto höher ist der Volumenstrom über die Rücklaufbeimischung.
- Die Solarregelung  
Die Solarpumpe Pu21.1 des Solarkreises wird über den Reso15-Solarregler gesteuert und nicht über den HANEST-Regler. Pumpe 21.1 wird über eine Pulsweitenmodulation 6 angesteuert und verändert den Volumenstrom (durch die Drehzahl) so, dass die Zieltemperatur von 90 °C am Kollektorfeldaustritt eingehalten wird. Bei Erreichen der Kollektornottemperatur von 105 °C wird die Solarpumpe ausgeschaltet, um keine temperatursensiblen Bauteile zu gefährden, kein heißes Medium in die HANEST-Anlage zu fördern, und um dort keinen Sicherheitsmechanismus durch die hohen Temperaturen auszulösen. Der Strang mit Kühlkörper und Membranausdehnungsgefäß (MAG) ist an den Rücklauf der Solaranlage angeschlossen. Mit der Kühlleistung des Kühlkörpers von 853 W (75 °C/65 °C) bzw. 1.668 W (bei Stagnation), kühlt dieser konstant das sich ausdehnende Wärmeträgermedium ab, bevor es in das MAG drückt. Bei Temperaturen > 90 °C kühlt der

Körper das Medium auf unter 70 °C ab und im Stagnationsfall schützen das Sicherheitsventil und der Kühlkörper das MAG vor Dampfbeaufschlagung.

## Die Sicherheitsmechanismen der HANEST-Anlage

Die folgenden sicherheitstechnischen Einstellungen sind an der HANEST realisiert:

- Sicherheitsmechanismus für die sekundärkreisseitige VL-Temperatur am Solarkreis-WÜ:  
STW2.1 = 95 °C und STB2.1 = 105 °C  
Die maximale Betriebstemperatur der HANEST ist auf 95 °C festgelegt. Durch STW/B2.1 wird die Station vor zu großen Temperaturen (bei TRC2.5) am sekundärkreisseitigen Vorlauf des Wärmeübertragers WÜ2.1 geschützt. Wird der Sicherheitsmechanismus ausgelöst, schaltet die sekundärkreisseitige Pumpe Pu2.1 aus, um die heißen Fluidtemperaturen nicht in der gesamten Anlage zu verteilen (unter Umständen schließt auch Ve2.2).
- Sicherheitsmechanismus für die Sekundärkreisseitige VL-Temperatur am Fernwärme- WÜ:  
STW2.2 = 103 °C und STB2.2 = 115 °C:  
Von der Sicherheitskette 2.2 wird das Ventil 11.1 im Bezugsstrang angesprochen. Bei Aktivierung verschließt das Ventil und verhindert, dass warmes Wasser aus dem Fernwärmeverlauf an den WÜ1.1 gelangt und die HANEST weiter mit Wärme beliefert. Vermutlich wird auch Pumpe 2.1 ausgeschaltet, um das heiße Wasser nicht durch die Anlage zu zirkulieren.
- Sicherheitsmechanismus des Speichers: STW3.1 = 72 °C  
Der Sicherheitstemperaturwächter 3.1 ist vermutlich auf die Pumpen 4.1 und 3.1 aufgelegt und schaltet die Pumpen aus, wenn die Speichertemperatur 72 °C überschreitet.
- Sicherheitsmechanismus des Heizkreises: STW5.1 = 60 °C  
Der Sicherheitstemperaturwächter 5.1 wird aktiviert bei einer Temperaturüberschreitung von 60 °C, um die lokalen Abnehmer nicht durch zu hohe Heizungstemperaturen (Bodentemperaturen) zu belasten. Die Heizkreispumpe 5.1 wird ausgeschaltet, damit kein heißes Medium durch den Heizkreis transportiert wird. Allerdings sind 60 °C für eine Fußbodenheizung zu hoch angesetzt, bei einer Raumtemperatur von 20 °C ist eine mittlere Oberflächentemperatur von über 30 °C bereits unbehaglich.
- Sicherheitsmechanismus für die Einspeisung: SDBmax11.1 = 7 bar  
Der Sicherheitsdruckbegrenzer SDBmax11.1 ist auf die Einspeisepumpe 12.1 und das Ventil 12.1 im Einspeisestrang aufgelegt. Sobald ein Überdruck von 7 bar vorliegt, wird die Pumpe ausgeschaltet und das Ventil geschlossen, um eine Einspeisung mit zu hohem Druck zu unterbinden.

## Die Datenübertragung der Pilotanlage

Der Resol-Regler für den Solarkreis und der HANEST-Regler der Fa. PEWO kommunizieren nicht untereinander. Durch die fehlende Kommunikation ist die Solarpumpe nicht in die Sicherheitsmechanismen der HANEST eingeschlossen.

Die Pumpe und das Ventil des Solarkreises werden durch den Resol-Solarregler angesteuert, die Messwerte des Solarkreises gingen anfänglich von dem Regler über den Resol-Datenlogger, über einen Router an die Datenbank von Resol; von dort wurde eine csv-Datei an eine virtuellen Maschine der TU Dresden geschickt, die die Daten in eine Datenbank einspeiste. In Abänderung dieser Verfahrensweise verarbeitet nunmehr der PEWO-Regler die erfassten Messwerte der HANEST und übermittelt die Daten über Funk an die ARTECO Datenbank. Über ein Benutzer-Tool greift die BTB auf die Daten der ARTECO Datenbank zu, die Messwerte werden dort von einer virtuellen Maschine der TU Dresden abgerufen.

Die Funktion der HANEST ist heute sichergestellt und wurde in den vorherigen Abschnitten erläutert und dargestellt. Um diese Funktion der Anlage zu ermöglichen, wurden in dem Projektverlauf alle funktions-einschränkenden Probleme behoben [1].

#### 2.4.6 Solar-Anlage und Solar-HAST Laborgh/HOWOGE (AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)

Die Solaranlage wurde in diesem Fall von der Fa. Ritter Solar geliefert, die höhere Temperaturen als die Anlage von Viessmann liefern kann und bei der aufgrund der reinen Wasserfüllung keine Stagnationsgefahr vorhanden ist. Die von der BTB durchgeführte Netzberechnung ergab für den in der Abram-Joffe-Straße liegenden Fernwärmestrang wechselnde Strömungsrichtungen im Rücklauf während eines Jahres. Daher wurden zwei Dreiwegeventile zur Berücksichtigung wechselnder Strömungsrichtungen vorgesehen. Durch diese Umschaltung bleibt die Strömungsrichtung über die Wärmetauscher immer gleich und ist damit unabhängig von der Fließrichtung in der Fernwärmerücklaufleitung, aus der die Versorgung/Einspeisung erfolgt. Zusätzlich wurde seitens der BTB die Umschaltung der Solareinspeisung vom Rücklauf in den Vorlauf bei dauerhaftem Überschreiten der Solartemperatur von 70°C implementiert, um eine zu starke Anhebung der Fernwärmenetzrücklauftemperatur zu verhindern. Wenn von solarer Rücklaufeinspeisung auf Vorlaufeinspeisung umgeschaltet wird, wird der erforderliche Vorlaufdruck über die in Reihe geschaltete zweite Pumpe aufgebracht und die Solarwärme wird mit Temperaturen über 90°C in den Fernwärmevorlauf gefahren. Diese Anlage ist Mitte 2017 in Betrieb gegangen.

Angaben [15]:

Die Solarwärme von den beiden Hausdächern wird in relativ kleinen Speichern (ca. 16 Liter/m<sup>2</sup> Bruttokollektorfläche) zwischengespeichert. Überschüssige Solarwärme wird mit 92 bis 100 °C in den Fernwärmevorlauf eingespeist. Als Wärmeträger für die Hochleistungskollektoren wird Wasser verwendet.



Abbildung 20: Solaranlage Laborgh/HOWOGE; Foto: Ritter XL Solar

Kollektor-Bruttofläche Solaranlage:	618 m <sup>2</sup> (519 m <sup>2</sup> + 99 m <sup>2</sup> )
Montage / Inbetriebnahme:	2016 / 2017
Wärmespeicher (Drucktank Stahl):	2 m <sup>3</sup> + 4 x 1,5 m <sup>3</sup> (16,2 Liter/m <sup>2</sup> )
Vom Wärmenetz versorgte Wohnungen:	128

Außer im Winter wird die gesamte Solaranlage nahezu täglich auf bis zu 105 °C aufgeheizt. Es werden sehr oft Solarwärmeüberschüsse mit 92 bis 100 °C ins Netz eingespeist. Die vorhandenen 5 Speicher und ihre Anschlussrohre führen zu so hohen Wärmeverlusten, dass eine aktive Heizkellerlüftung notwendig ist.

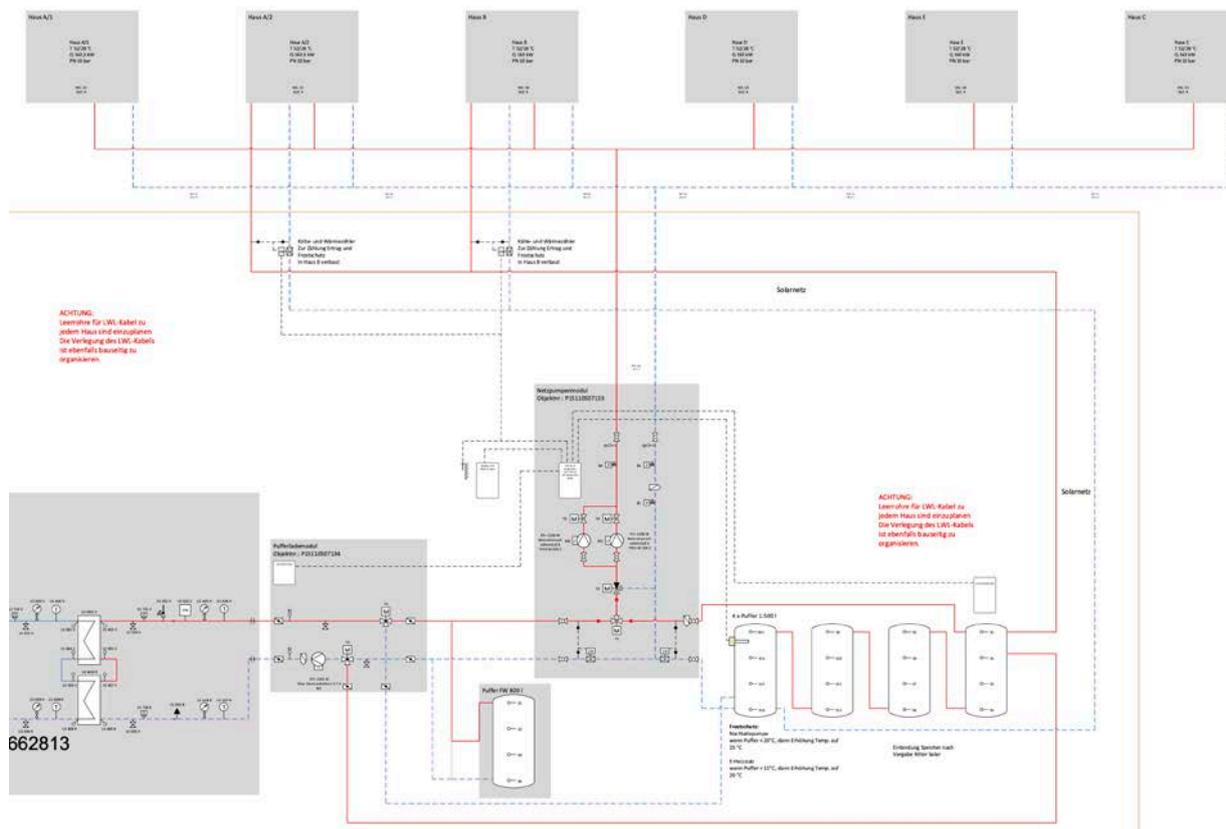


Abbildung 21: Solaranlage Laborgh / HOWOGE; BTB

Der Wärmebedarf wird zu ca.  $\frac{3}{4}$  mit Solarwärme gedeckt. Er hätte ohne die sehr hohen Speicher- und Rohrverluste im Heizraum wahrscheinlich vollständig solar gedeckt werden können.

Die Solarthermieflächen auf den 5 Gebäuden des Investors Laborgh/HOWOGE sind für eine Einspeisung in die Fernwärme ausreichend groß dimensioniert. Die Anschlusskosten an das Niedertemperaturnetz mit 55/35°C waren jedoch aufgrund der Lage der Gebäude zu den bereits geschaffenen Versorgungsstrukturen (Entfernung zum Niedertemperaturnetz) und fertiggestellten Straßen nicht vertretbar. Die Einbindung erfolgte daher in den Rücklauf des Hauptnetzes. Für die Niedertemperaturheizung bei den Nutzern reichen 55/35°C aus. Die Warmwasserbereitung wird über Wohnungsstationen realisiert. Eine Temperaturanhebung in den Wohnungsstationen über 55°C ist durch Strom aus den installierten Photovoltaikanlagen möglich. Durch Solarthermieeinspeisung wird der zurückgelieferte Fernwärmerücklauf auf bis zu 70°C aufgeheizt. Aus diesem solarthermisch aufgewärmten Rücklauf kann wiederum das (im Regelfall) in Fließrichtung dahinter liegende Niedertemperatur-Netz „Wohnen am Campus“ mit Temperaturen von 65/40°C gespeist werden und es muss weniger Energie aus dem vorgelagerten Netz zugeführt werden.



Abbildung 22: Speicher und Anbindung der Solaranlage Laborgh/HOWOGE (vor der Wärmedämmung);  
Foto: Dr. R. Meißner, Ritter XL Solar

Für die beiden BTB-eigenen Solar-HAST-Stationen Laborgh/HOWOGE (Powerhouse) und Baugruppe Newtonprojekt hat die BTB ein eigenes Regelkonzept entwickelt. Die hydraulische Schaltung ist aus den vorgenannten Gründen (Wechsel der Strömungsrichtung, Temperaturbegrenzung bei Rücklaufeinspeisung) in beiden Fällen gleich. Beide Stationen speisen über einen Wärmetauscher vorrangig in den Rücklauf der Fernwärme ein. Wenn die Temperatur der hauseigenen Solarspeicher auf mehr als 75°C ansteigt und keine Abnahme im Haus durch Trinkwarmwasser- oder Heizungsanlagen besteht, erfolgt eine Umschaltung durch BTB. Die Einspeisung erfolgt dann in den Vorlauf der Fernwärme.

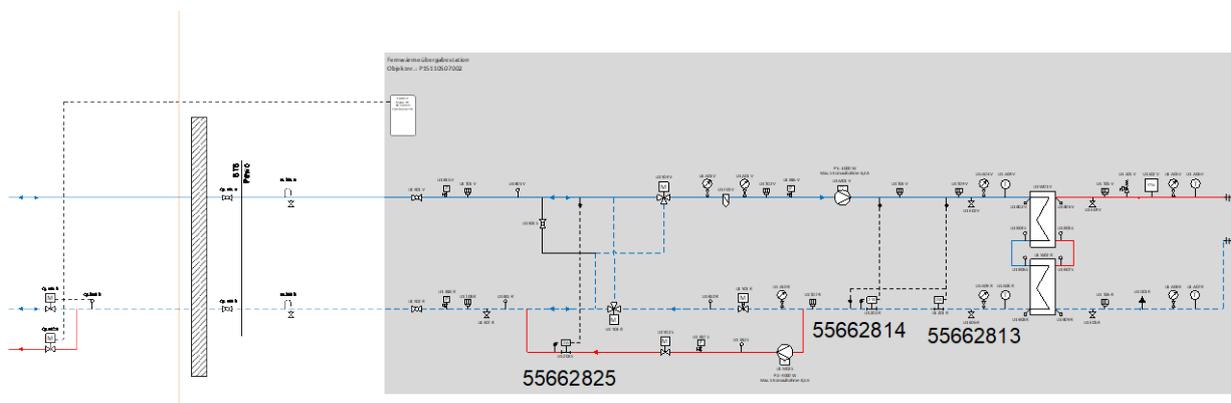


Abbildung 23: R & I Schema Solar-HAST Laborgh / HOWOGE; BTB

Berlin, Newtonstraße 8	6/17 - 5/19	2018
Solarwärme	629 MWh	350 MWh
Verbrauch + Verluste <sup>1)</sup>	879 MWh	468 MWh
Solarwärmeanteil am Verbrauch	71,5%	74,8%
Ins FW-Netz gespeicherte Solarwärme <sup>2)</sup>	361 MWh	207 MWh
Ins FW-Netz gespeicherte Solarwärme <sup>2)</sup>	57,4%	59,0%
Bezug Fernwärme	611 MWh	325 MWh
Fernwärmeanteil am Verbrauch	28,5%	25,2%
Wirkungsgrad solar	42,7%	45,1%
spezifischer Kollektorfeldertrag [kWh/m <sup>2</sup> a]	509	567
Frostschutzverluste, Anteil an Solarwärme	1,6%	1,5%
Anfahrverluste, Anteil an Solarwärme	4,3%	6,2%

Abbildung 24: Rechnerische Bilanz aus Solarwärme, Bezug Fernwärme und Fernwärme-Einspeisung Solaranlage Laborgh/HOWOGE; Ritter XL Solar

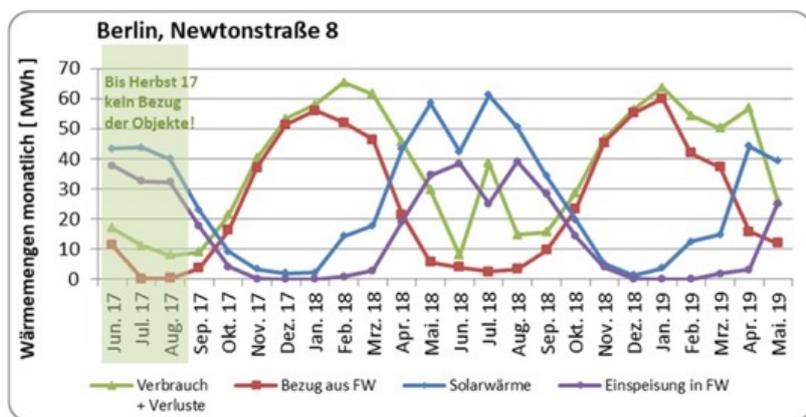


Abbildung 25: Bilanz Kollektorfelder Solaranlage Laborgh/HOWOGE; Ritter XL Solar

Berlin, Newtonstraße 8		Einstrahlung	Kollektor-ertrag	Frostschutz-verluste	Anfahr-verluste	
Jun 17	Haus A2 + B	1340	629	9,774	26,94	MWh
bis	relativ		42,7%	1,6%	4,3%	%
Mai 19	spezifisch	1190	509	7,91	21,80	kWh/m <sup>2</sup> a
	Haus A	1128	531	8,051	26,285	MWh
	relativ		42,9%	1,5%	5,0%	%
	spezifisch	1193	511	7,76	25,32	kWh/m <sup>2</sup> a
	Haus B	213	98	1,723	0,6547	MWh
	relativ		42,1%	1,8%	0,7%	%
	spezifisch	1179	496	8,70	3,31	kWh/m <sup>2</sup> a
2018	Haus A2 + B	708	350	5,185	21,777	MWh
	relativ		45,1%	1,5%	6,2%	%
	spezifisch	1257	567	8,39	35,24	kWh/m <sup>2</sup> a
	Haus A	594	295	4,181	21,543	MWh
	relativ		45,3%	1,4%	7,3%	%
	spezifisch	1256	569	8,06	41,51	kWh/m <sup>2</sup> a
	Haus B	114	55	1,004	0,234	MWh
	relativ		44,0%	1,8%	0,4%	%
	spezifisch	1265	556	10,14	2,36	kWh/m <sup>2</sup> a

Abbildung 26: Ertrag und Verluste Kollektorfelder Solaranlage Laborgh/HOWOGE; Ritter XL Solar

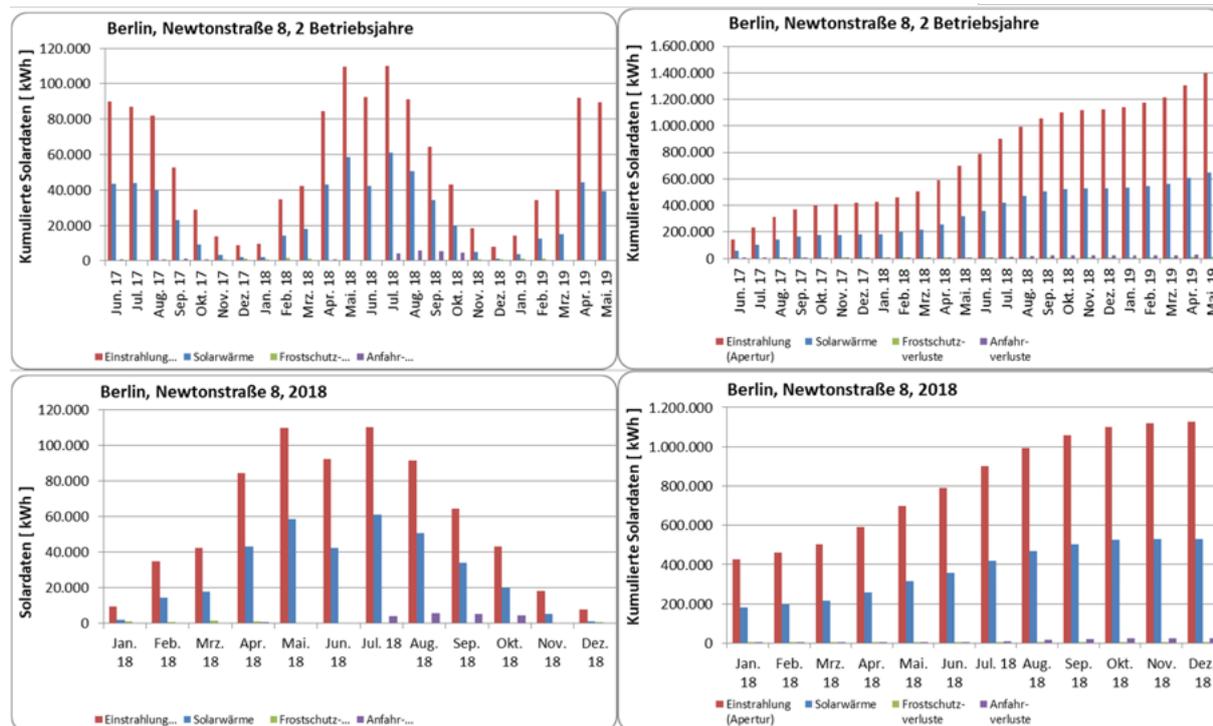


Abbildung 27: Ertrag und Verluste Kollektorfelder Solaranlage Laborgh/HOWOGE; Ritter XL Solar

### 2.4.7 Solar-Anlage und Solar-HAST Baugruppe Newtonprojekt (AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)

Die Baugruppe Newtonprojekt hatte mit ihrem angrenzenden Bauvorhaben bezüglich ihrer 3 Gebäude noch ehrgeizigere Ziele und strebt Plusenergiestandard an. Dies soll erreicht werden durch den Fernwärmeanschluss, eigene Solarthermieanlage mit Rückspeisung ins Fernwärmenetz, Photovoltaikanlage und Batteriespeicher und schließlich noch einer Power-to-Heat-Anlage, die Solarstrom bei geladenen Batteriespeichern und fehlenden Eigenbedarf in Wärme umwandelt und ins Fernwärmenetz speist. Die Trinkwarmwasserbereitung erfolgt über dezentrale Wohnungsstationen. Da das Baufeld Baugruppe Newtonprojekt an die Abram-Joffe-Straße grenzt, kommt der Fernwärmeanschluss nur von dort in Frage. Die Versorgung erfolgt aus dem Rücklauf mit einer Temperaturspreizung von 55/30°C und Solareinspeisung in den Rücklauf.

Das Baugruppenprojekt ist das am stärksten verzögerte der drei Solarprojekte im Rahmen dieses Vorhabens. Der finale Inbetriebnahmetermin der Solar-HAST findet im März 2020 statt.

Die Solaranlage ist wiederum von Viessmann und die Solar-HAST der BTB wurde von PEWO geliefert.

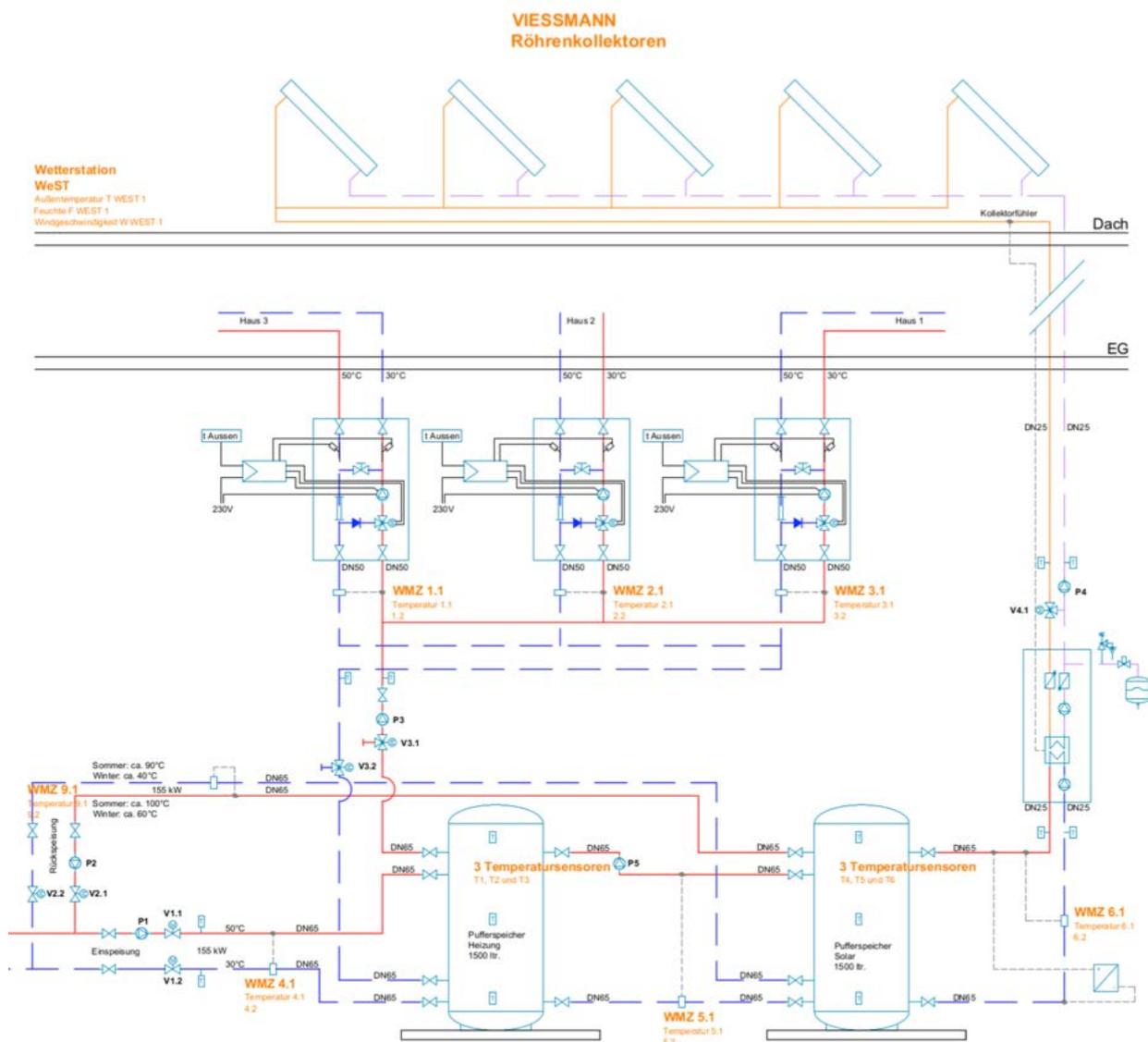


Abbildung 28: Solaranlage Newtonprojekt; AHLSA GmbH

Die hydraulische Schaltung und das Regelkonzept der Solar-HAST-Station Baugruppe Newtonprojekt entsprechen der BTB-eigenen Solar-HAST-Station Laborgh/HOWOGE im Kapitel 2.4.6.

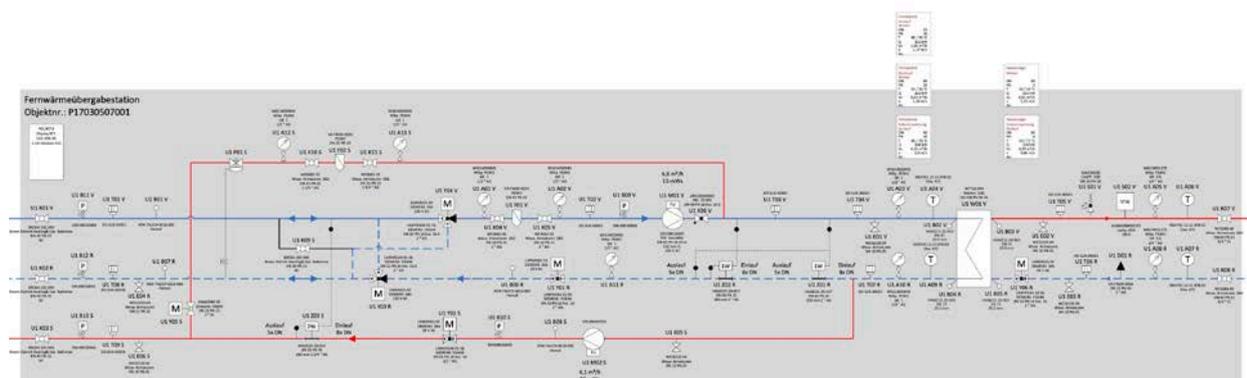


Abbildung 29: R & I -Schema Baugruppe Newtonprojekt; BTB

#### 2.4.8 Bilanzielle Bewertung der HANEST Baywobau und der Solar-HAST Laborgh/HOWOGE (AP3 Monitoring, AP4 Verwertung, AP5 Dokumentation)

Der technische Aufbau der HANEST Baywobau wurde in Kapitel 2.4.5 beschrieben. Der Aufbau der Solar-HAST Laborgh/HOWOGE kann Kapitel 2.4.6 entnommen werden.

Die HANEST-Anlage Baywobau in Berlin Adlershof ist seit dem 27. Juni 2018 im Automatikbetrieb. Alle folgenden Auswertungen und Berechnungen beziehen sich auf den Zeitraum beginnend am 28. Juni 2018 bis 28. Juni 2019. Für die Auswertung der aufgenommenen und abgegebenen Wärmemengen über den Bilanzraum der Anlage werden die Messdaten der Wärmemengenzähler WMZ-E (Wärmemengenzähler für Einspeisung), WMZ-B (Wärmemengenzähler für Bezug), WMZ-SEK (Wärmemengenzähler für solare Erträge) genutzt. Die an den Abnehmer gelieferte Wärme muss mit den Sensorwerte TR3.1, TRC3.5, PIR2.1 und FIR3.121 Abbildung 17 berechnet werden<sup>3</sup>, weil kein Wärmemengenzähler im Abnehmerkreis installiert ist. Letztlich wird innerhalb der auch in Abbildung 30 dargestellten Grenzen bilanziert [1].

<sup>3</sup> Dieser Ansatz führt zu geringen Bilanzungenauigkeiten (siehe auch Abbildung 30), so dass die vom Abnehmer bezogene Wärme leicht unterschätzt und in der Folge der solare Deckungsgrad leicht überschätzt werden.

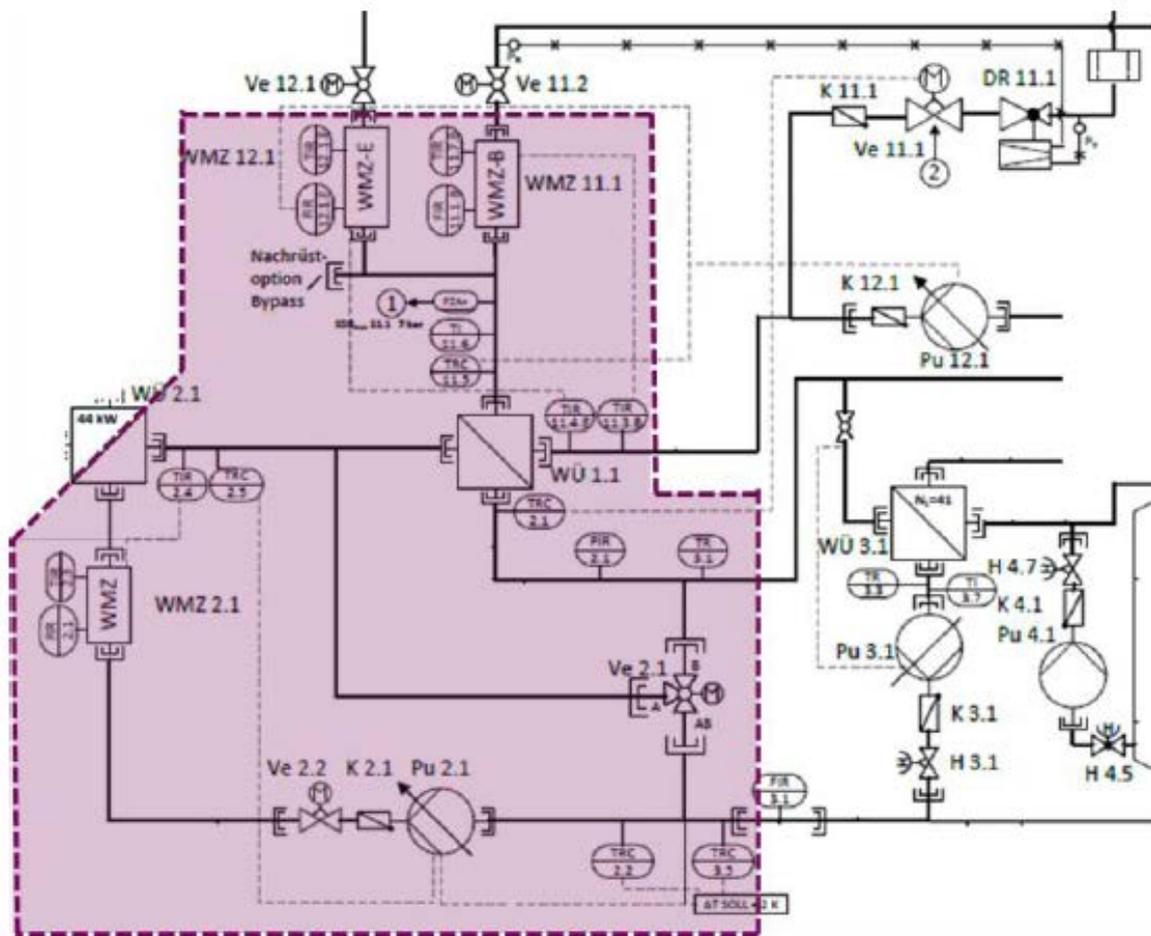


Abbildung 30: Bilanzraum für Wärmebilanzierung HANEST Baywobau; [1]

Sämtliche Verluste, die im Strang der Einspeisepumpe Pu12.1 und des Differenzdruckreglers DR11.1 auftreten, sowie bei der Wärmeübertragung in WÜ3.1, den Speicherverlusten und den Wärmeverlusten der Leitungen zur WW-Versorgung und innerhalb der STA, werden in der folgenden Betrachtung nicht erfasst.

Würden alle Zeitintervalle mit Datenausfällen bei mindestens einem Sensor von der Berechnung ausgeschlossen, verbleiben 45.804 berechnungsrelevante 10-min Zeitintervalle für das Bilanzjahr. Die Datenausfälle der für die Bilanzierung der Wärmemengen notwendigen Sensoren beliefen sich insgesamt auf 6.756 Datenpunkte bzw. 1.126 Stunden oder 46 Tage und 22 Stunden, dies entspricht ca. 12,9 % des gesamten Jahres und die Gefahr von Bilanzierungsfehlern. Bei der Datenübertragung und Verwertung der csv-Dateien besteht somit Verbesserungspotential. Es wurden daher für die Bilanzierungen lediglich die unplausiblen und fehlerhaften Sensorwerte ausgelassen, was für jeden Einzelnen der vier zu bilanzierenden Wärmeströme unterschiedlichen Datenmenge zur Folge hat. Für das Bilanzjahr ergeben sich die folgenden Wärmemengen:

$$Q_{zu} = 219,9 \text{ MWh}$$

$$Q_{ab} = 215,4 \text{ MWh}$$

Die Differenz  $\Delta Q_a$  der bilanzierten Wärme beinhaltet die Wärmeverluste innerhalb des Bilanzraumes der HANEST und die Kapazität der Station selbst dar und wird bestimmt durch die Messungengenauigkeit der berechnungsrelevanten Sensoren.

$$\Delta Q_a = Q_{zu} - Q_{ab} = (Q_{FW,Bezug} + Q_{Solar}) - (Q_{FW,Einsp} + Q_{Abn}) \quad (\text{Formel 4})$$

Nach Formel (Formel 4) ergibt sich die Differenz  $\Delta Q_a$  von 4,5 MWh/a zwischen zugeführter und abgeführter Wärme über das Bilanzjahr. Diese entspricht etwa 2% bezogen auf die Gesamtbilanz und dient hier als Nachweis für die Plausibilität der Berechnungen sowie der zugrundeliegenden Annahmen.

Aus Abbildung 31 sind die zeitlichen Verläufe der verfügbaren solaren Erträge sowie im Vergleich dazu der Wärmeverbrauch zuzüglich der zu bilanzierenden Wärmeverluste aufgetragen. Es ist zu erkennen, dass in den Monaten Juni/Juli/Mai eine fast vollständige Deckung der Wärmeanforderungen durch die Solaranlage gewährleistet werden kann, wohingegen im restlichen Jahresverlauf nur eine anteilige Deckung möglich ist. Im Zeitraum Oktober 2018-Februar 2019 ist praktisch kein solarer Wärmebeitrag zu verzeichnen.

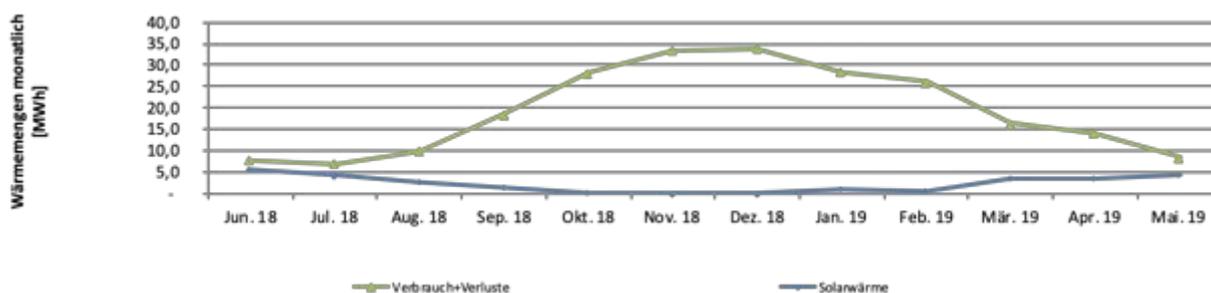


Abbildung 31: Verbrauch und Verluste der bidirektionalen Anlage HANEST „Baywobau“ (107,8m<sup>2</sup>); [13]

In der folgenden Abbildung 32 sind gut die an der HANEST bilanzierten Wärmerträge und –bezüge als kumulierte Werte dargestellt. Zu erkennen ist der sehr hohe Anteil des Fenwärmebezugs zur Wärmebedarfsdeckung am Abnehmer. Der Anteil der Wärmeeinspeisung fällt gering aus. Dies ist aber u.a. auch Folge der im Vergleich zum Abnehmerwärmebedarf geringen Ertragsleistung der Solarthermieanlage.

Der solare Deckungsgrad SF (*solar fraction*) des Abnehmers stellt den Anteil des durch Solare Wärme gedeckten Abnehmerbedarfs dar und ist hier wie folgt definiert:

$$SF = \frac{Q_{Solar} - Q_{FW,Einsp}}{Q_{Abn}} \quad (\text{Formel 5})$$

Mit den oben angegebenen Werten ergibt sich ein Deckungsgrad von 8,8%.

Weil nur ein geringer Anteil des Abnehmerbedarfs durch solare Erträge gedeckt wurde, stellt sich die Frage, ob die Verwendung einer HANEST-Anlage bei diesen und ähnlichen Randbedingungen gegenüber der bisherigen Nutzung von HAST und NEST-Anlagen wirtschaftlich sinnvoll ist. Folgt man der Entscheidungslogik nach SOLSTAND zur Konzeptbestimmung, hätte eine Kombination von NEST und HAST bei den gegebenen Randbedingungen gebaut werden sollen, statt einer HANEST-Anlage.

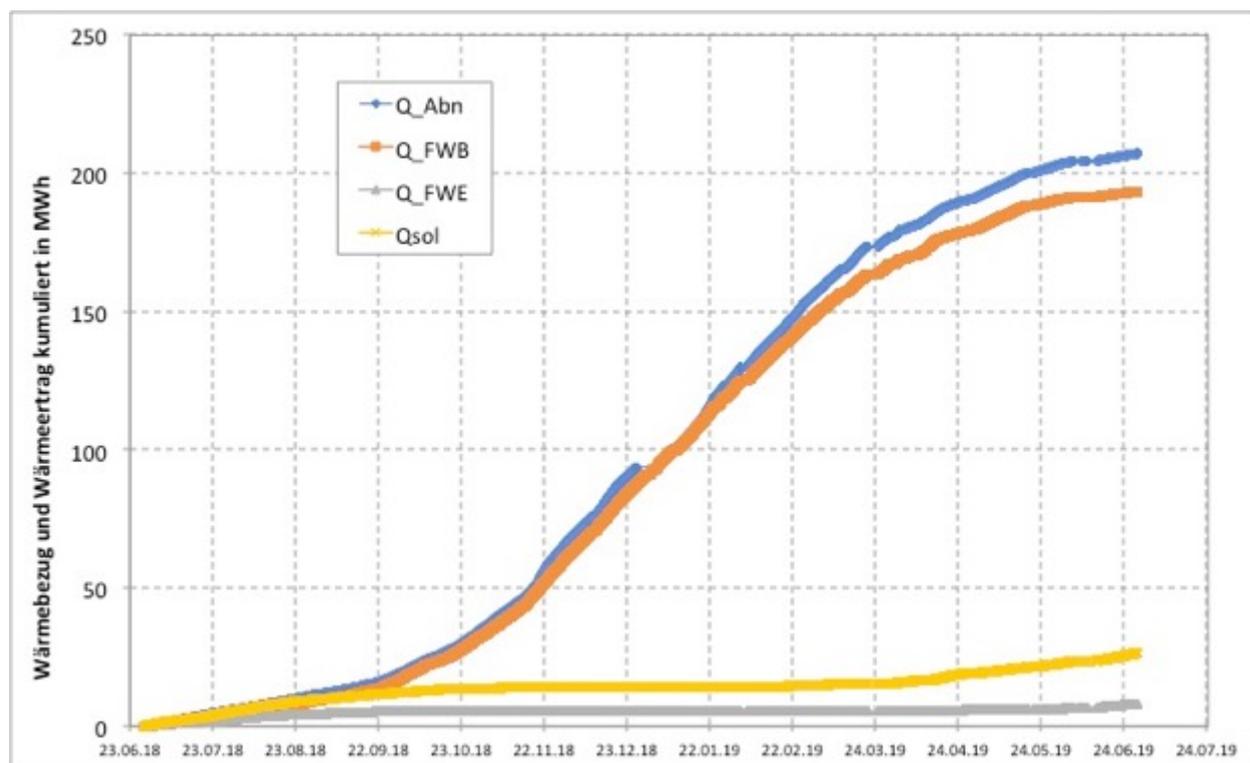


Abbildung 32: Kumulierte Wärmeerträge und -bezüge 2018/19, TU Dresden

### Die Bewertung der Solaranlage HANEST Baywobau

Auf Grundlage der am Wärmemengenzähler der Solaranlage bilanzierten Wärme ergibt sich für den Zeitraum 23.06.2018-24.07.2019 ein flächenbezogener Ertrag der Solarthermieanlage von lediglich 245,8 kWh/m<sup>2</sup>a<sub>BKF</sub>.

Dieser geringe Ertrag ist u.a. auch begründet durch die relativ hohen Wärmeverluste in den Anbindeleitungen zwischen Kollektorfeld und HANEST. Nimmt man den Ertragswert nach VDI 3988 als grobe Abschätzung für den hier möglichen Bruttoertrag des Kollektors und vergleicht den Wert mit der Sekundärkreisseitig aufgenommenen spezifischen Wärmeenergie, gehen ca. 50 % des möglichen Wärmeertrags über Wärmeverluste an Rohrleitungen und Armaturen verloren, diese Differenz bestätigt das Optimierungspotential der Solarthermieanlage.

Es soll im Folgenden versucht werden, einen Kollektor ertrag ohne die Anlagenverluste zu errechnen. Dazu werden die Kollektor erträge aus solarer Einstrahlung und Kollektorkennlinie hergeleitet. Die auf die Bruttofläche bezogenen spezifischen Kenngrößen des Kollektors Vitosol 200T Typ SPE betragen:

$$A_{\text{Koll, BKF}} = 107,8 \text{ m}^2 \text{ (für 20 Kollektoren)}$$

$$\eta_0 = 44,7 \% \quad c_1 = 0,773 \text{ Wm}^2\text{K} \quad c_2 = 0,007 \text{ Wm}^2\text{K}^2$$

Die für diese Auswertung notwendigen Strahlungswerte wurden auf dem Dach der Pilotanlage in Berlin Adlershof aufgezeichnet, konnten für die Auswertung hier jedoch nicht genutzt werden. Aufgrund der fehlenden Einstrahlungswerte in der Datenbank der TU Dresden wird die Bewertung der Solarthermieanlage mit Referenz-Strahlungswerten der Region durchgeführt. Die HTW Berlin zeichnet die Globalstrah-

lungswerte an der HTW Mensa Wilhelminenhof im Sekundentakt auf. Für die hier ausgeführte Auswertung werden 10-min Mittelwerte der, auf einer Horizontalen aufgenommenen, Strahlungswerte genutzt. Die Wetterstation der HTW Berlin, auf dem Dach der HTW Mensa Wilhelminenhof, liegt nur ca. 2 km (Luftlinie) von der Solarthermieanlage der HANEST entfernt; die geringe Distanz lässt die Wetterbedingungen gut vergleichen.

Die aufgezeichneten Leistungswerte des sekundären Wärmemengenzählers sind zwischen dem 28. November 2018 und dem 18. Januar 2019 konstant auf 0 kW. Unter Berücksichtigung der Globalstrahlungswerte der Wetterstation der HTW Berlin und der sich aus der Kollektorgleichung ergebenden Kollektorleistungen, hätte an mehr Wintertagen Wärme generiert werden können. Unter Umständen ist der fehlende Wärmeertrag auf die umgesetzte Solarregelung zurückzuführen; da allerdings keine Details über die Einstellungen der Regelung bekannt sind oder ob der Solarkreis in dieser Zeit vollständig runtergefahren wurde, ist nicht sicher weshalb keinerlei Wärmeertrag vorlag, obwohl die von der Wetterstation der HTW Berlin aufgezeichneten Globalstrahlungswerte einen Wärmeertrag vermuten lassen.

Zu berücksichtigen ist, dass die Kollektorgleichung eigentlich mit den Vorlauf- und Rücklauftemperaturen der Kollektorfelder berechnet wird; hier stehen allerdings nur die Temperaturen des solarseitigen Vor- und Rücklaufs an dem WÜ2.1 (TRC2.8 und TRC2.9, siehe auch Abbildung 17, im Keller des Hauses zu Verfügung. In den Inbetriebnahmen wurde eine Temperaturdifferenz von 10...20 K zwischen den Vorlauf der Kollektoren auf dem Dach bis zu dem Vorlauf im Betriebsraum erwähnt; da keine Temperaturwerte TRC21.1 auf dem Dach vorliegen, wurde die Ertragsberechnung für die vorliegenden Temperaturen am WÜ2.1 (TRC2.8 und TRC2.9) unter Einberechnung eines Temperaturverlustes von 10K ab Kollektorausritt bis zum Wärmeübertrager, d.h. also TRC2.8 + 10 K durchgeführt. Zur Modellierung der Kollektorausritts-temperaturen wurde ein Offset von 10 K gewählt, weil die Maximaltemperatur während der Einspeise-phase auf 80 °C (laut Regler-Handbuch) festgelegt ist und die Zieltemperatur der Solarregelung auf 90 °C definiert wurde. Die Eintrittstemperatur in die Kollektoren ist unbekannt, ebenso der Temperaturunterschied zwischen dem WÜ2.1 Rücklauf und dem Rücklauf der Kollektorfelder, deshalb wird TRC2.9 als Eintrittstemperatur in die Kollektorfelder angenommen. Die berechnete maximale Kollektorleistung beträgt 48 kW.

Auf Grundlage der am Kollektorfeld bilanzierten Wärme ergibt sich ein flächenbezogener Ertrag von lediglich 308,6 kWh/m<sup>2</sup><sub>ABKF</sub>. Dies bedeutet allein 20% Ertragsverlust aufgrund unvorteilhafter Anbindung der Kollektoren an die HANEST.

#### Die Bewertung der Solar-HAST „LABORGH/Howoge“

Zu dieser Anlage sei hier lediglich auf die zeitlichen Verläufe von Wärmeverbrauch und solarer Erträge in Abbildung 33 verwiesen.

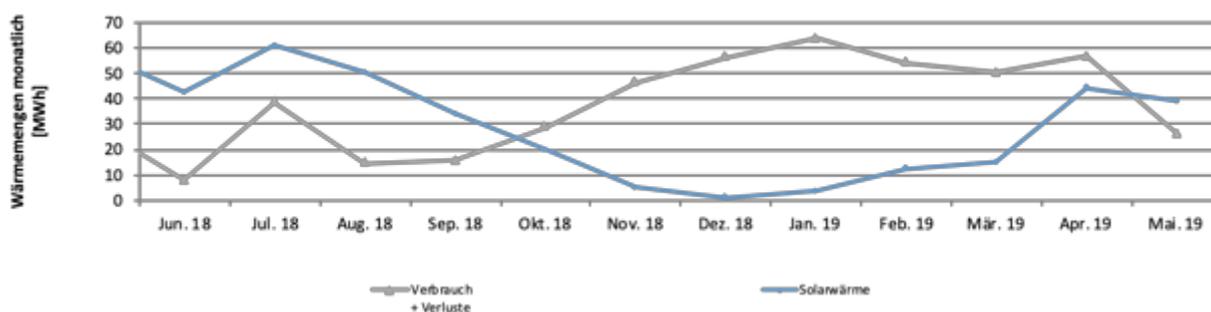


Abbildung 33: Verbrauch und Verluste der bidirektionalen Anlage Solar-HAST „LABORGH/Howoge“ (618 m<sup>2</sup>; [13])

Im Unterschied zu der Anlage HANEST Baywobau ergibt sich aufgrund der großzügigeren Bemessung an der Solar-HAST Laborgh/HOWOGE in den Sommermonaten eine deutliche Überproduktion an Wärme, die in das Wärmenetz eingespeist wird. Selbst im strahlungsarmen Winter sind fast durchgängig relevante Beiträge aus der Solarthermie zu verzeichnen.

Eine vergleichende Bewertung der solarthermischen Anlagen sowie der fernwärmeseitigen Anbindungen der HANEST Baywobau und der Solar-HAST Laborgh/HOWOGE wurde in [13] durchgeführt. Die folgende Tabelle 4 faßt die Ergebnisse der Auswertung zusammen. Angegeben sind die Werte für den gesamten abnehmerseitigen Wärmeverbrauch (=“Wärmenutzung“), der sich anteilig aus dem Fernwärmebezug sowie der hauseigenen Nutzung der solaren Erträge zusammensetzt. Die nicht hausintern genutzten Solarerträge werden in das Fernwärmenetz eingespeist. Die aus der direkten hauseigenen Nutzung abgeleiteten relativen Werte (hier 8 % bzw. 29,7 %) entsprechen den solaren Deckungsgraden. Der Unterschied hier resultiert u.a. auch aus den stark unterschiedlichen Größen und installierten Leistungen der beiden Anlagen.

Aufgrund eines leicht abweichenden Bilanzzeitraumes ergeben sich für den flächenbezogenen Ertrag geringfügig andere Werte als zuvor dokumentiert (hier z.B. 249,2 kWh/m<sup>2</sup>a statt der zuvor erwähnten 245,8 kWh/m<sup>2</sup>a). Dies sollte für die grundsätzlichen Aussagen aber ohne Relevanz sein. Die sonst offensichtlichen Unterschiede in den ausgewiesenen Werten sind aber letztlich das Resultat nicht nur einer anderen Auslegung und Konzeption der beiden Anlagen (Peakleistung, Einsatz von Wärmespeichern, hydraulische Trennung), sondern maßgeblich auch beeinflusst von der Qualität der Ausführung der Solarthermischen Anlage und der jeweiligen Anbindung an die Fernwärmestationen.

Tabelle 4: Wärmemengen und Systemkennzahlen der Solaranlagen vom 01.07.18-01.07.19; [13]/TU Dresden

	HANEST Baywobau (107,8 m <sup>2</sup> )		Solar-HAST Laborgh/HOWOGE (618 m <sup>2</sup> )	
01.07.18-01.08.19	Wärme in MWh	Anteil an Nutzung	Wärme in MWh	Anteil an Nutzung
Wärmenutzung	231,8	100,0%	439,9	100,0%
Bezug aus Fernwärme	213,2	92,0%	309,2	70,3%
Solarer Ertrag	26,9	11,6%	310,7	70,6%
Einspeisung in Fernwärme	8,3	-	180	-
Direkte hauseigene Nutzung	18,6	8,0%	130,7	29,7%
Brutto Kollektorertrag	249,2 kWh/m <sup>2</sup> a		502,8 kWh/m <sup>2</sup> a	
Aperture Kollektorertrag	412,6 kWh/m <sup>2</sup> a		551,9 kWh/m <sup>2</sup> a	

Im Ergebnis der Auswertungen lassen sich folgende Schlussfolgerungen zur solaren Einspeisung ziehen:

- Die Technologie funktioniert grundsätzlich.
- Der Einsatz von Wärmespeichern für den solaren Ertrag führt zu einem stabileren Betrieb, aber auch zu erhöhten Wärmeverlusten.
- Bei Systemen ohne Wärmespeicher für den solaren Ertrag hat die Regelung hohe Relevanz.
- Ein Zugriff auf die Regelung ist aus Sicht des Versorgers wünschenswert.
- Durch die Einspeisung in das Wärmenetz läuft die Anlage nicht in kritische Zustände.

## 2.5 Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Das Projekt konnte im bewilligten Fördermittelrahmen durchgeführt werden. Die zur Verfügung gestellten Projektfördermittel wurden hauptsächlich durch „Materialkosten“ (813) für Investitionen in technische Anlagen und in der Kostenposition „Personalkosten“ (837) verwendet. Von den bewilligten Projektfördermitteln für FKZ: 03ET1155A in Höhe von 297.933,00 Euro wurden 290.573,07 Euro verbraucht und nachgewiesen (50 % Förderquote BTB). Von den bewilligten Projektfördermitteln für FKZ: 03ET1155B in Höhe von 118.885,00 Euro wurden 121.117,23 Euro verbraucht und nachgewiesen (100 % Förderquote TU Dresden). Die Mittel wurden wirtschaftlich und sparsam verwendet.

*Tabelle 5: Zahlenmäßiger Nachweis der wesentlichen Kosten  
 (gemäß letztem Änderungsbescheid, vorläufiger Stand: 11.Februar 2020)*

	Bewilligt		Verbraucht und Nachgewiesen	
	813+850 Material	837 Personal 838 Reisekosten	813 + 850 Material	837 Personal 838 Reisekosten
<b>BTB</b>	439.499,00 €	156.367,00 €	448.269,29 €	132.876,85 €
<b>TU Dresden</b>	25.820,20 €	93.064,80 €	22.372,78 €	98.744,45 €

## 2.6 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Arbeiten sowie die dafür aufgewandten Ressourcen waren notwendig und angemessen, da sie (a) der im Projektantrag detailliert dargelegten Planung entsprachen und (b) alle im Arbeitsplan formulierten Aufgaben erfolgreich bearbeitet wurden. Darüber hinaus mussten keine zusätzlichen Ressourcen zur Durchführung des Vorhabens aufgewandt werden.

## 2.7 Voraussichtlicher Nutzen / Verwertungsplan (AP4: Verwertung)

Mit dem Vorhaben wurde die Umsetzbarkeit eines LowEx-Konzeptes in einem Neubaugebiet mit kleinteiliger Bebauung und geringer Wärmedichte unter Eröffnung der Einspeisung überschüssiger Solarwärme in das Fernwärmenetz erprobt und organisatorische und wirtschaftliche Grenzen ausgelotet. Zudem konnten Erkenntnisse über gegenwärtige strukturelle, politische und förderpolitische Umsetzungshemmnisse gewonnen werden. Sie können dem BMWi als Informationsgrundlage für die Weiterentwicklung seiner Förderstrategie dienen.

Die Projektergebnisse stellen darüber hinaus einen Baustein für die weitere Sensibilisierung von Fernwärmeversorgern, Kommunen, Gebäudeeigentümern und Bürgern als direkten Beteiligten an der „Wärmewende im Quartier“ und Aspekten der Partizipation im städtischen Kontext dar.

Es war angedacht, dass die Ergebnisse des Feldtests in das vorrangig auf theoretische Simulationsanalysen gestützte, parallel laufende Forschungsprojekt der TU Dresden zur Dezentralen Einspeisung (FKZ: 03ET1039B), einfließen sollten. Die Ergebnisse hätten zur Validierung der Simulationsmodelle verwendet werden können. Aufgrund der zeitlichen Verzögerungen im Projekt war dies leider nicht möglich. Dennoch stehen die Monitoringergebnisse der Fachwelt selbstverständlich zur Verfügung.

Die Projektergebnisse zum Betriebsverhalten der HANEST insbesondere aber auch der Anbindung der Solarthermischen Anlage und deren Rückwirkung auf das Verhalten der Wärmenetze insbesondere in

kleinteiligen Gebieten werden in andere Forschungsprojekte und reale Umsetzungen weiterer Anlagen einfließen. Eine weitere Veröffentlichung in den branchenüblichen Medien ist geplant. Alle Erkenntnisse fließen in die Lehre und studentische Ausbildung zu solarthermischen Anlagen sowie der Wärmeversorgung ein.

Darüber hinaus stellt die BTB die gewonnenen praktischen Erkenntnisse für das Qualitätsmanagement in der Planung und Ausführung vergleichbarer Anlagen Interessierten zur Verfügung.

Im Rahmen einer Diplomarbeit für die Pilot-HANEST der TU Dresden wurden Fehler, die in Zusammenhang mit der Errichtung der dezentralen Solaranlagen und der Realisierung der Einspeisung in das Niedertemperaturnetz aufgetreten sind, analysiert [1]. Die Analyse ergab, die Fehler der vier Kategorien:

- Planungsfehler  
Fehler, die in der Planungsphase entstanden sind oder durch mangelhafte Planung ausgelöst wurden und sich im späteren Verlauf des Projektes erst zeigen
- Umsetzungsfehler  
Fehler, die bei der eigentlichen technischen Umsetzung des Projektes durch fehlerhafte Ausführung, Programmierung und Installation, Unaufmerksamkeit oder Fehleranalyse Unachtsamkeit entstehen
- Allgemeine Fehler (hinsichtlich Organisation und Kommunikation)  
Fehler, die durch unzureichende Kontrolle, im Projektmanagement, der Art und Weise wie gearbeitet und kommuniziert wird und der Mitarbeit der Beteiligten begründet liegen
- Zufällige Fehler  
Fehler, die im Zufall begründet liegen, die nicht wirklich oder nur bedingt vermeidbar sind

Erwartungsgemäß traten die meisten Fehler bei der Umsetzung auf, bedingt durch die Komplexität des Systems und der an der Planung und Ausführung Beteiligten. Auch die Verkettung von Folgen erwies sich als sehr aufschlussreich für die Ableitung von Vermeidungsmaßnahmen.

Die Unterteilung in die erwähnten Kategorien erleichterte die Bewertung der Vermeidbarkeit der aufgetretenen Fehler. Dabei lag der Fokus auf der Ursache, wie der Fehler entstanden ist und nicht auf dessen Auswirkungen. Als Ergebnis der Diskussion der Vermeidungsmaßnahmen wurden Hinweise, Merksätze, Warnungen, Vorschläge und Maßnahmen zusammengetragen [1].

Die daraus gewonnenen Erkenntnisse für Versorger und Akteure sind in den folgenden Kapiteln 2.7.1 und 2.7.2 zusammengefasst.

## 2.7.1 Handlungsempfehlungen für Versorger

### Realisierung der HANEST und Solar-HAST [1]

Zum Einen sind die Anlagen wesentlich komplexer als einfache Übergabestationen, zum Anderen ist ein Ineinandergreifen der Regelungsfunktionen zwischen Versorgerseite und Kundenseite deutlich ausgeprägter und unumgänglich. Gleichzeitig resultiert daraus eine Vielzahl an Schnittstellen und Beteiligten bei der Realisierung. Die erforderliche Koordinierung und Überwachung sollte bei der Planung und Ausführung seitens des Versorgers nicht unterschätzt werden.

## 1. Planungsphase

- a. Bauabteilung des Betreibers frühzeitig in die Planung einbeziehen zur Ermittlung der baulichen Randbedingungen
- b. Simulationen des Wärmenetzes vor der Ausschreibung durchführen, um die korrekten Randbedingungen für die Auslegung der erforderlichen Bauteile festzulegen
- c. Ausreichend Reserven einplanen, etwa 20-30% größeren Schaltschrank für Erweiterungen und übersichtliche Verkabelung
- d. Sorgfältiges Anfertigen detaillierter Ausschreibungsunterlagen, so dass nur die technischen Spezifikationen gleichen Typs für weitere Ausschreibungen angepasst werden müssen
- e. Besonders sorgfältiges Augenmerk auf die Ausschreibung der Regelungs- und Automatisierungstechnik legen

### Grundlagen:

- Einheitliche Verwendung einer gewerkeübergreifenden und allgemein verständlichen Kennzeichnungsstruktur für alle Anlagen und Dokumentationen z.B. nach DIN EN 61346
- korrekte R&I-Schemen
- detaillierte Funktionsbeschreibungen
- Funktionsprüfung; insbesondere:
  - Prüfung der wesentlichen Automationsfunktionen, z.B. Regel-, Sicherheits-, Optimierungs- und Kommunikationsfunktionen,
  - Einzelprüfungen von Meldungen, Schaltbefehlen, Messwerten, Stellbefehlen, Zählwerten, virtuellen Informationen
  - 1:1 Test zwischen Feld- und Automationsebene
  - 1:1 Test zwischen Automations- und GLT-Ebene
  - Prüfung der Systemreaktionszeiten und Systemeigenüberwachung
  - Prüfung des Systemverhaltens nach Netzausfall und Netzwiederkehr
  - Prüfen und Dokumentieren der Einregelung der System- und Anlagenkomponenten, insbesondere der Einstellungen der Soll- und Grenzwerte
- Leistungsabgrenzungen über den üblichen Standard hinaus
- Festlegungen zu erforderlichen Telefonverbindungen und Funkübertragungen
- Sicherung des Zugriffs auf den Quellcode sowie Vereinbarung von Änderungsrechten nach Ablauf der Gewährleistung
- Vereinbarung der Einregulierung und Optimierung der Anlage über die ersten beiden Heizperioden, einschl. der Erfassung, Dokumentation und Auswertung von Betriebsphasen (einschließlich der Verfügbarkeit des tatsächlichen Programmierers, ggf. auch nach Verlassen des ausführenden Unternehmens)
- Anforderung an die Überprüfung und Dokumentation; insbesondere:
  - von Datenpunktlisten, Sicherheitsketten, Verkabelung, Zeichnungen, Beschriftungen
  - Dokumentation der Prüf-/Messprotokolle o.g. Tests und Prüfungen
  - Dokumentation der Verkabelung und Verdrahtung
  - Dokumentation der Besichtigung, die Erprobung und Messungen gemäß DIN VDE 0100 Teil 600 für alle Installationen nach DIN VDE 0100.
  - Sonstige erforderliche Protokolle für den Funktions- und - soweit vereinbart – Leistungsnachweis
- Festlegungen zu Dokumentation und Auswertung von Störmeldungen sowie zur weiteren Behandlung
- Festlegung der erforderlichen Inspektions-, Wartungs- und Instandhaltungsleistungen

## 2. Auftragsvergabe

- a. Erfahrungsgrad der Firmen überprüfen, auch bei der Auftragsvergabe an Dritte

- b. Festlegen, dass sich die Beteiligten (Planer, Installateur, Programmierer und Anlagenbetreiber) vor Implementierung der Regelung über die wesentlichen Funktionen der Anlage und deren Regelung, sowie die Zusammenhänge zwischen internen Größen, Bedingungen für Zustandsübergänge, Sollwerte, Grenzwerte und Sicherheitsmechanismen abstimmen und Dokumentation der Ergebnisse.
3. Bauausführung
    - a. Kontinuierliche Überwachung der Baustelle durch den Bauleiter, Sicherstellung der Abstimmung der beteiligten Gewerke und Kontrolle wesentlicher Arbeitsschritte und Schnittstellen zwischen den Gewerken
    - b. Durchführung des hydraulischen Abgleichs so früh wie möglich aber so spät wie nötig
  4. Inbetriebnahme
    - a. Festlegen der erforderlichen und geeigneten Teilnehmer (Planer, Installateur, Programmierer, Netzbetreiber, Anlagenbetreiber). Bei mehreren Inbetriebnahmen auf Teilnahme der gleichen Personen bestehen.
    - b. Festlegen der zu dokumentierenden Tätigkeiten, Ausgangs- und Umgebungsbedingungen (Parameter, Einstellwerte, Zeitpunkte, etc. und Ergebnisse (Änderungen einschl. Ursachen sowie Abweichungen einschl. Begründung)
    - c. Kontrolle der wasserseitigen Spülung der Wärmanlage
    - d. Kontrolle des hydraulischen Abgleichs (Berechnung/Ausführung)
    - e. Durchführung des Funktionstests der Regelungs- und Automatisierungsanlagen
      - Prüfung der wesentlichen Automationsfunktionen, z.B. Regel-, Sicherheits-, Optimierungs- und Kommunikationsfunktionen,
      - Einzelprüfungen von Meldungen, Schaltbefehlen, Messwerten, Stellbefehlen, Zählwerten, virtuellen Informationen und korrekten Platzierung von Sensoren
      - 1:1 Test zwischen Feld- und Automationsebene
      - 1:1 Test zwischen Automations- und GLT-Ebene
      - Prüfung der Systemreaktionszeiten und Systemeigenüberwachung
      - Prüfung des Systemverhaltens nach Netzausfall und Netzwiederkehr
      - Prüfen und Dokumentieren der Einregelung der System- und Anlagenkomponenten, insbesondere der Einstellungen der Soll- und Grenzwerte und
      - Dokumentation der Umgebungsbedingungen
    - f. Dokumentation von Mängeln und Fehlern (einschl. der während der Inbetriebnahme erfolgten Beseitigung, insbesondere durch den Programmierer)
    - g. Zugriffsmöglichkeit auf den Quellcode durch den Betreiber nach Ablauf der Gewährleistung sicherstellen
    - h. Dokumentation der Änderungen einschl. R&I-Schema
  5. Abnahme der Ausführung
    - a. Kontrolle der vollständigen und korrekten Dämmung der Anlagenteile
    - b. Überprüfung der Schemata und der korrekten Beschriftung der Anlagenteile sowie der Leistungs- und Eigentumsgrenzen Fernwärme
    - c. Penible Kontrolle der Dokumentationen der Gewerke
    - d. Rechtzeitige Festlegung eines verantwortlichen Betriebsmitarbeiters für die Anlage beim Versorger

Das Fachpersonal des Versorgers sollte möglichst über die gesamte Projektzeit verantwortlich eingebunden sein. Personenwechsel und Verantwortungsübergabe sind möglichst zu vermeiden.

Entscheidend ist, beim Betriebspersonal des Versorgers die Sensibilität für die Komplexität der Anlage zu erzeugen und über mehrere Inbetriebnahmen, die diese Art der Anlage erfordert, aufrecht zu erhalten. Dies ist aufwendig, jedoch unabdingbar, obwohl die Anlagen meist deutlich kleiner als die üblichen Kraftwerksanlagen sind. Die Anlage muss „ernst“ genommen werden (auch bei niedriger Leistung gegenüber dem restlichen Anlagenportfolio). Das funktioniert am besten, wenn die Anlage einer engagierten und kompetenten Person zugeordnet wird.

## 2.7.2 Handlungsempfehlungen für Akteure

### Realisierung der Einspeisung dezentraler Solaranlagen ins Niedertemperaturnetz [1]

Die gesammelten Erfahrungen sind aufgrund der Komplexität der Anlagen und der bei der Realisierung auftretenden Vielzahl an Schnittstellen und Beteiligten für ähnliche Vorhaben relevant und u.U. hilfreich für andere Akteure.

#### 1. Planungsphase

- a. Ausreichend große Dimensionierung der Solarthermischen Anlagen für eine Einspeisung
- b. Klärung der Einspeisevoraussetzungen mit dem Versorger / Netzbetreiber
- c. Klärung der Schnittstellen bei Planung, Bau und Betrieb der Anlagen mit dem Versorger / Netzbetreiber, insbesondere für die Einspeisung wesentlicher Bauteile sowie an den Versorger / Netzbetreiber zu übertragende Regelungsparameter
- d. Bauabteilung des Versorgers / Netzbetreibers frühzeitig in die Planung einbeziehen zur Ermittlung der baulichen und regelungstechnischen Randbedingungen und Voraussetzungen
- e. Abgleich der heizkreisseitigen Volumenströme mit der Auslegung der Heizkreispumpe und der sekundärseitigen hydraulischen Weiche
- f. Dimensionierung der Einspeisepumpe mit dem Versorger / Netzbetreiber abstimmen (Druckdifferenz zum Netz)
- g. Planung geeigneter technischer Einrichtungen für den hydraulischen Abgleich, z.B. Taccosetter oder Tichelmannsystem
- h. Berücksichtigung der maximal möglichen Betriebsparameter der Solaranlagen bei Stillstand (Druck, Temperatur) bei der Wahl von Materialien, insbesondere Dichtungen
- i. Planung geeigneter Entleerungs- und Entlüftungsmöglichkeiten des Solarkreises
- j. Festlegung der Sicherheitseinrichtungen und -parameter
- k. Wirtschaftlichen Mehrwert einer Aufständering bewerten (ggf. zu teuer)
- l. Abstimmung von Deckendurchbrüchen
- m. Abstimmung des Rohrleitungs- und Instrumentenfließschemas (R&I Schema) mit dem Versorger/Netzbetreiber
- n. Einheitliche Verwendung einer gewerkeübergreifenden und allgemein verständlichen Kennzeichnungsstruktur für alle Anlagen und Dokumentationen z.B. nach DIN EN 61346 und Abstimmung mit dem Versorger / Netzbetreiber
- o. Abstimmung der Funktionsbeschreibung Regelung mit dem Versorger / Netzbetreiber

#### 2. Auftragsvergabe

- a. Erfahrungsgrad der Firmen überprüfen, auch bei der Auftragsvergabe an Dritte
- b. Festlegen, dass sich die Beteiligten (Planer, Installateur, Programmierer und Anlagenbetreiber) vor Implementierung der Regelung über die wesentlichen Funktionen der Anlage und deren Regelung, sowie die Zusammenhänge zwischen internen Größen, Bedingungen für Zustandsüber-

gänge, Sollwerte, Grenzwerte und Sicherheitsmechanismen abstimmen und Dokumentation der Ergebnisse

### 3. Bauausführung

- a. Kontinuierliche Überwachung der Baustelle durch den Bauleiter, Sicherstellung der Abstimmung der beteiligten Gewerke und Kontrolle wesentlicher Arbeitsschritte und Schnittstellen zwischen den Gewerken
- b. Gewerkeübergreifende Abstimmung von Deckendurchbrüchen und deren Verschluss mit der Bauleitung
- c. Hydraulisch geeignete Ausrichtung und Neigung der Kollektoren beachten
- d. Eignung des Kollektoranschlusses und Berücksichtigung der Ausdehnung sowie ggf. höherer Druck- und Wärmeverluste
- e. Wärmeverlustoptimierte Anbindung und Verrohrung der Solarfelder
- f. Durchführung des hydraulischen Abgleichs so früh wie möglich aber so spät wie nötig

### 4. Inbetriebnahme

- a. Festlegen der erforderlichen und geeigneten Teilnehmer (Planer, Installateur, Programmierer, Netzbetreiber, Anlagenbetreiber) Bei mehreren Inbetriebnahmen auf Teilnahme der gleichen Personen bestehen.
- b. Festlegen der zu dokumentierenden Tätigkeiten, Ausgangs- und Umgebungsbedingungen (Parameter, Einstellwerte, Zeitpunkte, etc. und Ergebnisse (Änderungen einschl. Ursachen sowie Abweichungen einschl. Begründung)
- c. Kontrolle der wasserseitigen Spülung der Wärmeanlage
- d. Kontrolle des hydraulischen Abgleichs (Berechnung/Ausführung)
- e. Kontrolle der Ausführung auf Übereinstimmung mit der fachlich richtig geprüften und freigegebenen Planung
- f. Korrekte Platzierung der Entleerungs- und Entlüftungsmöglichkeiten des Solarkreises
- g. Kontrolle der Sicherheitseinrichtungen
- h. Hydraulischen Abgleich des gesamten Systems überprüfen
- i. Funktionstest der Solarregelung durchführen; insbesondere:
  - Prüfung der wesentlichen Automationsfunktionen, z.B. Regel-, Sicherheits-, Optimierungs- und Kommunikationsfunktionen,
  - Einzelprüfungen von Meldungen, Schaltbefehlen, Messwerten, Stellbefehlen, Zählwerten, virtuellen Informationen und korrekten Platzierung von Sensoren
  - 1:1 Test zwischen Feld- und Automationsebene
  - Prüfung der Systemreaktionszeiten und Systemeigenüberwachung
  - Prüfung des Systemverhaltens nach Netzausfall und Netzwiederkehr
  - Prüfen und Dokumentieren der Einregelung der System- und Anlagenkomponenten, insbesondere der Einstellungen der Soll- und Grenzwerte und
  - Dokumentation der Umgebungsbedingungen
- j. Dokumentation von Mängeln und Fehlern (einschl. der während der Inbetriebnahme erfolgten Beseitigung, insbesondere durch den Programmierer)
- k. Dokumentation der Änderungen einschl. R&I-Schema

### 5. Abnahme der Ausführung

- a. Kontrolle der vollständigen und korrekten Dämmung der Anlagenteile
- b. Überprüfung der Schemata und der korrekten Beschriftung der Anlagenteile
- c. Penible Kontrolle der Dokumentationen der Gewerke
- d. Rechtzeitige Festlegung eines verantwortlichen Betriebsmitarbeiters für die Anlage

Das Betriebspersonal des Eigentümers sollte möglichst über die gesamte Projektzeit einschließlich der 2-jährigen Einregulierungsphase verantwortlich eingebunden sein. Personenwechsel und Verantwortungsübergabe sind möglichst zu vermeiden.

Weiterführende Hinweise vor allem zu den im Kontext von Niedertemperatur-Wärmenetzen als problematisch angesehenen sicheren Auslegung und dauerhaft den trinkwasserhygienischen Ansprüchen genügenden Trinkwarmwassersystemen sei auf [16] verwiesen. Im Abschnitt 8.1.3. *Trinkwasserinstallationen für die Anwendung im Niedertemperaturbereich* werden hier konkrete Hinweise zu anlagentechnischen Verschaltungen sowie begleitenden bzw. ergänzenden Hygienemaßnahmen vorgestellt. In der Schlussfolgerung kommen nach Maßgabe der Autoren folgende Technologien für die Trinkwarmwasserbereitung auch bei niedrigen Systemvorlauftemperaturen in Frage:

- Dezentrale Frischwasserstationen
- Zentrale Wärmepumpe
- Dezentrale „Mikro-Wärmepumpe“ für TWW
- Dezentrale, elektrisch beheizte Mikro-TWW-Speicher

Eine Untersuchung bzgl. der hygienischen Unbedenklichkeit steht jedoch aus und könnte Gegenstand weiterführender Forschungsprojekte sein.

### **Gebäudeseite Solar-Anlage in Verbindung mit Solar-HAST Baugruppe Newtonprojekt**

Im Projekt „Aktivsolare Wärme- und Stromversorgung von Plusenergiegebäuden mit rücklaufseitiger Fernwärmeanbindung“ [12] soll insbesondere die Abnahmeseite messtechnisch untersucht werden und u.a. eine „Power-to-Heat“-Regelung bei Stromüberschuss aus Photovoltaik im Fall der Warmwasserbereitung (über elektrische Nacherhitzung in der Frischwasserstation statt Fernwärmebezug) untersucht und Untersuchungen zu Strategien einer „Power-to-Heat“-Regelung bei Stromüberschuss aus Photovoltaik mit Einspeisung in das Wärmeversorgungssystem vorgenommen werden.

Nach Inbetriebnahme der Solarstation der Baugruppe Newtonprojekt in Verbindung mit der Solar-HAST in 2020 werden sich hieraus sicherlich weitere Arbeitspunkte zwischen BTB, der TU Dresden bzw. der Ostfalia-Hochschule und der Baugruppe Newtonprojekt ergeben.

## **2.8 Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordene Fortschritte auf dem Gebiet bei anderen Stellen**

Eine wissenschaftliche Studie des IZES [16] benennt u. a. folgende Punkte für den Nutzen der Bürgerenergie im Strombereich: Integration von Bürgern in nachhaltige Wirtschaftsprozesse, Akzeptanz von erneuerbaren Erzeugungsanlagen, Erhöhung gesellschaftlichen Engagements im Energiesektor, Mitbestimmung und Transparenz bei der Errichtung von Energieerzeugungsanlagen, Identitätsbildung, Erhöhung der Akteursvielfalt und Ent-Oligopolisierung, höheres Niveau oder breitere Verteilung regionaler Wertschöpfung, Schaffung und Erhalt von Arbeitsplätzen. In dem Forschungsprojekt wurden diese Ansätze, in Bezug auf die Erhöhung der Akzeptanz von Fernwärme durch partizipatorische Einbindung der Nutzer, aufgegriffen.

Außerdem wurden vom Deutsches Institut für Urbanistik gGmbH „Perspektiven der Bürgerbeteiligung an der Energiewende unter Berücksichtigung von Verteilungsfragen“ untersucht [17]. Hierin wird Bezug genommen auf die auch für Quartiere mit geringer Wärmedichte wirtschaftlich integrierbare Nutzung von

regenerativer Energie und Abwärme sowie niederkalorischen Energiequellen in Wärmenetzen in Verbindung mit der Speicherfunktion der Netze. Es wird erläutert, wie sich der grundlegende Umbau kommunaler Wärmeversorgung im Zusammenspiel von Kommunen, Energieversorgern und Immobilienbesitzern sowie einer Vielzahl weiterer Akteure gestalten lassen könnte, der im Projekt „TransStadt“ untersucht und erprobt wird. Auch der Begriff „Bürgerenergie“ als Narrativ für eine demokratische Energiewende, in der Bürger Projekte in eigener Regie umsetzen, finanzieren oder betreiben, wird aufgegriffen. U.a. am Beispiel der Erfahrungen der Niedertemperaturwärmeversorgung „Wohnen am Campus“ wird hierin auf das Potenzial einer strategischen Partnerschaft zwischen Energieversorgern und anderen professionellen Akteuren und Bürgern geschlossen, wie auch auf Transformationsoptionen und Flächenbedarfe für die Wärmenetze im Bestand.

Im März 2016 wurde in der „Politikanalyse LowEXtra. Bestandsaufnahme der aktuellen Rahmenbedingungen“ [18] festgestellt: „Die Analyse zeigt, dass das EEWärmeG, die EnEV und weitere Regulierungen den Markt für leitungsgebundene Wärme zwar belebt, aber keine grundlegende Transformation der Wärmenetze angestoßen haben. Hier sind zukünftig eine langfristige umfassende Wärmestrategie und neue starke Treiber notwendig.“

Die anschließende Untersuchung von Adelphi „Wärmenetze 4.0 im Kontext der Wärmewende. Analyse der Regelungs- und Förderlandschaft innovativer Wärmenetzsysteme“ [19] greift verschiedene Möglichkeiten für Organisationsstrukturen und Organisationsformen für künftige Wärmenetze mit pluraler Erzeugerstruktur und diskriminierungsfreiem Zugang sowie die Aspekte Einspeisung zur Durchleitung und Einspeisung zur Abnahme auf. Auch die Anwendbarkeit bzw. Beschränkungen durch bestehende ordnungspolitische Regelungen und energiepolitische Strategien durch EU, EEWärmeG und Referentenentwurf des geplanten GEG sowie Rechtsgrundlagen zum Anschluss- und Benutzungszwang werden bewertet. Des Weiteren werden Aussagen zu hemmenden Wirkungen verschiedener regulatorischer Aspekte getroffen: Berechnung des Primärenergiefaktors, mangelnde Transparenz der für Fernwärme genutzten Energieträger abweichend zum EnWG § 42, lückenhafte kommunale Wärmebedarfspläne und den fehlende Rechtsrahmen zur dezentralen Einspeisung durch Dritte.

Parallel befasste sich eine Kooperation aus IÖW, TU Berlin, Adelphi und Nexus in „LowExtra – Niedrig-Exergie-Trassen zum Verteilen und Speichern von Wärme – Rahmenbedingungen für die Umsetzbarkeit von LowEx-Mehrleiter-Wärmenetzen“ [20] mit den Rahmenbedingungen für Niedrigtemperatur-Wärmenetze. Berücksichtigt werden darin Anforderungen an die Verbrauchsstruktur, das Netzkonzept, das Regelungskonzept, die Netzverluste sowie die Attraktivität für Verbraucher. Es erfolgt eine erste Bewertung der gegenwärtigen politischen Rahmenbedingungen.

In der Folgestudie von Adelphi „Wärmenetze 4.0 im Kontext der Wärmewende Politische Handlungsempfehlungen für eine klimafreundliche Fernwärmeversorgung“ [21] wird beleuchtet, wie durch eine gesetzlich geregelte Bewertung der Primärenergiefaktoren nach ihrer CO<sub>2</sub>-Intensität eine stärkere Ausrichtung der Primärenergiefaktoren an die Klimaschutzziele erzielt werden kann. Als weitere ordnungsrechtliche Steuerungsinstrumente werden Mindestanforderungen für die Einbindung von erneuerbarer Energie in Wärmenetze, Regelungen zur Berechnung von Einspeiseentgelten bzw. Durchleitungsgebühren in Wärmenetze sowie veränderte Rahmenbedingungen zur Förderung des Angebotswettbewerbs mit Hilfe von Ausschreibungs- oder Auktionsmodellen für Wärmelieferungen aufgeführt.

Da im Zuge des Anspruchs, dass bis zum Jahr 2050 auch Gebäude im Bestand auf ein klimaneutrales Niveau verbessert werden sollen, ist laut [22] von einer abnehmenden Leistungsdichte in Wärmenetzen und generell einer sinkenden Nachfrage nach leitungsgebundener Wärme auszugehen und mit einem erforderlichen Infrastrukturwandel sowie potenziellen Nutzungskonflikten zu rechnen. Letztlich kommt es darauf an, die Flexibilisierungsmöglichkeiten von Wärmenetzen voll auszuschöpfen und die Effizienz des

Gesamtsystems deutlich zu steigern. Zudem können Wärmenetze künftig durch Power-To-Heat-Technologien gut zur weiteren Flexibilisierung der Stromnetze beitragen. Niedertemperaturnetze bieten hierfür die Basis.

Aus Versorgerperspektive ist die Machbarkeitsstudie „Kohleausstieg und nachhaltige Fernwärmeversorgung Berlin 2030“ [23] von BET im Auftrag der Vattenfall Wärme Berlin AG und des Landes Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz zu erwähnen.

Aus technischer Sicht waren das Vorhaben „EnWiSol – Solarthermie in der städtischen Energieversorgung - Energiewirtschaftliche Analyse und Demonstrationsvorhaben Freiburg-Gutleutmatten“ [24] hinsichtlich der Bewertung der Solarthermie und das Vorhaben „EnEffWärme:-DELFIN: Prognose der Auswirkungen dezentraler Einbindung von Wärme aus erneuerbaren Energien und anderen Wärmeerzeugern in Fernwärmenetze“ (FKZ: 03ET1358 A-C) [25] hinsichtlich der thermohydraulischen Auswirkungen auf Fernwärmenetze interessant.

In Wärmenetzsysteme 4.0 – Kurzstudie zur Umsetzung der Maßnahme „Modellvorhaben erneuerbare Energien in hocheffizienten Niedertemperaturwärmenetzen“ [26] werden basierend auf einer Auswertung von 65 Beispielnetzen, einer Befragung von 30 Experten, zwei Fachworkshops, einer ausführlichen Hemmnisrecherche, intensiven Wirtschaftlichkeits- und Potenzialüberlegungen und einer Auswertung von bestehenden Förderprogrammen Rahmenbedingungen, technische Mindestanforderungen und eine Detailausgestaltung für ein Förderprogramm „Wärmenetzsysteme 4.0“ abgeleitet.

Weitere Informationen des AGFW:

FKZ: 032 5184 D: „Transformationsstrategien von fossiler zentraler Fernwärmeversorgung zu Netzen mit höheren Anteilen erneuerbarer Energien“, 2013, AGFW Heft 24:

[https://www.ifeu.de/wp-](https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Endbericht_Transformationsstrategien_FW_IFEU_GEF_AGFW.pdf)

[content/uploads/Endbericht\\_Transformationsstrategien\\_FW\\_IFEU\\_GEF\\_AGFW.pdf](https://www.ifeu.de/wp-content/uploads/Endbericht_Transformationsstrategien_FW_IFEU_GEF_AGFW.pdf)

AGFW Heft 26: EnEff: Wärme Methodische Ansätze zur Temperaturabsenkung eines gewachsenen Fernwärmenetzes - Leitfaden, März 2014

AGFW Heft 34: EnEff:Wärme LowEx-Systeme – Breitenanwendung von Niedertemperatur-Systemen als Garanten für eine nachhaltige Wärmeversorgung, September 2015

AGFW Heft 36: EnEff: Wärme : Erhaltung der Marktfähigkeit von KWK Anlagen mittels Einbindung von Umweltenergie, April 2016

AGFW Heft 41: Dezentrale Einspeisung in Nah- und Fernwärmesysteme unter besonderer Berücksichtigung der Solarthermie, Oktober 2016

## 2.9 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse nach Nr. 11

### Vorträge

19./20.04.2012 Reinholz, A.: Teilnahme an 3. Projektleitermeeting PtJ „EnEff Stadt / EnEff Wärme“.  
Fraunhofer ISE, Frankfurt

- 07.06.2012 Reinholz, A.: „Umsetzungsantrag der BTB“, Vortrag Institut für Energietechnik, TU Berlin, Berlin
- 22.11.2012 Reinholz, A.: „Demokratische Netzstrukturen“. Vortrag Projektleitermeeting PtJ, Weimar
- 23.01.2013 Reinholz, A.: „BTB-Projekt Wohnen am Campus“. Vortrag Projektleitermeeting PtJ, Frankfurt
- 12.03.2013 Reinholz, A.: „Wohnen am Campus Demokratische Netzstrukturen“. Vortrag Workshop „Energiewende praktisch“, Berlin-Adlershof
- 07./08.05.2014 Rühling, K.: Simulationen und Technologien - Beispiele Berlin-Adlershof und Weimar. Vortrag BMWi-Statusseminar "Forschung für energieeffiziente Wärme- und Kältenetze", Köln
- 20.05.2014 Reinholz, A.: „Wärmeverbundnetz Wohnen am Campus“, Vortrag BMWi „Berliner Energietage“, Berlin
- 28.04.2015 Reinholz, A.: „Wohnen am Campus“. Vortrag „Berliner Energietage“, Berlin
- 22.09.2015 Reinholz, A.: „Quartierswärmeversorgung Adlershof – Modell für Lichterfelde Süd?“. Vortrag Aktionskreis Energie e.V., Berlin
- 14.04.2016 Reinholz, A.: „Das Wärmeverbundnetz „Wohnen am Campus“. Vortrag 4. Technologietour in Adlershof, Berlin
- 28.04.2016 Reinholz, A.: „Energieeffizienz und Nutzer: Die Energieeffizienzdienstleistung Fernwärme“. Vortrag Hannover-Messe, Hannover
- 24./25.11.2016 Teilnahme an 2. Projektleitermeeting PtJ „Energie in Gebäuden und Quartieren - Begleitforschung“ E.ON Energy Research Center der RWTH Aachen
- 30.01.2017 Reinholz, A.: „Wohnen am Campus“. Projektvorstellung im Rahmen des „Kongress EnergieEffizienzBauen“, Berlin (BTB Poster für Kongress 30. Januar 2017.pdf)
- 03.05.2017 Rühling, K.: Niedrige und stabile Wärmepreise durch Solarthermische Großanlagen für Wärmenetze – Aspekte bei dezentralen Lösungen. Vortrag „Berliner Energietage“, Berlin
- 10.10.2017 Meyer, K.: „Vorstellung des realisierten Projektes Wärmeversorgung des kleinteiligen Gebietes „Wohnen am Campus“ aus dem Niedertemperaturnetz“. Projektvorstellung Strategieworkshop „Wärmewende Berlin 2030“, Berlin
- 06./07.12.2017 Reinholz, A.: Teilnahme an 3. Projektleitermeeting PtJ „ENERGIEWENDEBAUEN - Gebäude und Quartiere der Zukunft: Neue Konzepte und Technologien“, BMWi, Berlin
- 09.05.2018 Reinholz, A.: „Beratung und Mobilisierung von Selbstnutzern und Kleinvermietern zur energetischen Sanierung im Rahmen von Quartiersansätzen“. Vortrag „Berliner Energietage“, Berlin

- 03.09.2018 Reinholz, A.: „Wärmewende mit der Kraft der Sonne: Wie große Solarthermieranlagen die Wärmenetze sauber machen“ Vortrag Agentur für erneuerbare Energien e.V., Berlin-Adlershof
- 20.09.2018 Reinholz, A.: „Das Niedertemperaturnetz mit solarer Einspeisung „Wohnen am Campus“ der BTB“. BMWi-Projekt „Wärmeoptimierung in Nichtwohngebäuden“, Berlin-Adlershof
- 01/02.10.2018 Rühling, K. et.al.: Planung von solarthermischen Großanlagen mit Netzeinspeisung – Fokus Fernwärmeseite. Seminar Planung solarthermischer Großanlagen (> 200 m<sup>2</sup>) mit Einspeisung in Fern- und Nahwärme, Vortrag und Exkursion zu NEST im ZET, Dresden
- 29.10.2018 Reinholz, A.: „Niedertemperaturnetz mit solarer Einspeisung Wohnen am Campus der BTB“. Vortrag Workshop "Solare Wärmenetze in der Wohnungswirtschaft" Verband norddeutscher Wohnungsunternehmen e.V., Hamburg
- 15.11.2018 Reinholz, A.: „Fernwärmeversorgung des Neubaugebietes mit solarer Einspeisung spart CO<sub>2</sub>-Emissionen und Ressourcen“. Projektvorstellung Thementour „Berlin spart Energie“, Berlin
- 17.01.2019 Reinholz, A.: „Wohnen am Campus: BTB's low temperature district heating system with solar feed-in“. Vortrag ZEBAU-Zentrum für Energie, Bauen, Architektur und Umwelt GmbH Hamburg, Berlin-Adlershof
- 14.03.2019 Reinholz, A.: „LTDH residential project Wohnen am Campus with solar feed-in“, Vortrag Institute of Fluid-Flow Machinery, TU Gdansk, Gdansk
- 06/07.10.2020 Rühling, K. et.al.: Planung von solarthermischen Großanlagen mit Netzeinspeisung – Fokus Fernwärmeseite. Seminar Planung solarthermischer Großanlagen (> 200 m<sup>2</sup>) mit Einspeisung in Fern- und Nahwärme, Vortrag und Exkursion zu zwei HANEST der BTB, Berlin

## Veröffentlichungen

BINE Informationsdienst- Projektinfo- Technologiestandort wächst energieeffizient - Hybride und offene Energienetze, 2013

<http://www.bine.info/publikationen/publikation/technologiestandort-waechst-energieeffizient/waermeverbundnetz-wohnen-am-campus/>

BINE Informationsdienst „Technologiestandort wächst energieeffizient - Hybride und offene Energienetze“, Projektinfo 14/2013

[http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Projekt-Infos/2013/Projekt\\_14-2013/ProjektInfo\\_1413\\_internetx.pdf](http://www.bine.info/fileadmin/content/Publikationen/Projekt-Infos/2013/Projekt_14-2013/ProjektInfo_1413_internetx.pdf)

WISTA Management GmbH „Individueller Anschluss an wohlige Holz-Wärme - Projekt „Wohnen am Campus“ bekommt innovatives Nahwärmenetz“, 2014

<https://www.adlershof.de/news/individueller-anschluss-an-wohlige-holz-waerme/>

AGFW e.V. „Wohnen am Campus" - Berlin-Adlershof | Wärmeversorgung in kleinteiligen Strukturen“ (Heft 27), 3-89999-043-9, März 2014

<https://www.agfw-shop.de/agfw-fachliteratur/wohnen-am-campus.html>

WISTA Management GmbH Peter Trechow „Individueller Anschluss an wohlige Holz-Wärme“, 26.4.2016  
<https://www.adlershof.de/news/individueller-anschluss-an-wohlige-holz-waerme/>

WISTA Management GmbH Chris Löwer „Fernwärme mit Sonnenkraft“, 26.4.2016  
<https://www.adlershof.de/news/fernwaerme-mit-sonnenkraft/>

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR), IZR Informationen zur Raumentwicklung -  
Energie im Quartier, Heft 4/2017  
<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/IzR/2017/4/Inhalt/downloads/izr-4-2017-komplett-dl.pdf?blob=publicationFile&v=3>

Solarserver Guido Bröer „Powerhäuser tauschen Wärme mit dem Netz“, 13.07.2017  
<https://www.solarserver.de/2017/07/13/powerhaeuser-tauschen-waerme-mit-dem-netz/>

Forschungszentrum Jülich GmbH Projektträger Jülich „1. Kongress Energiewendebauen 2017“ – Tagungs-  
band, 2017  
[https://projektinfos.energiewendebauen.de/fileadmin/user\\_upload/Publikationen/Veranstaltungsdokumentationen/Tagungsband\\_1\\_Kongress\\_EWB\\_2017.pdf](https://projektinfos.energiewendebauen.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Veranstaltungsdokumentationen/Tagungsband_1_Kongress_EWB_2017.pdf)

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumord-  
nung (BBR) - IZR Informationen zur Raumentwicklung Heft 4/2017 „Energie im Quartier“, 15. September  
2017  
<https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Veroeffentlichungen/IzR/2017/4/Inhalt/downloads/izr-4-2017-komplett-dl.pdf?blob=publicationFile&v=3>

Projektträger Jülich | Forschungszentrum Jülich GmbH Energiewende Bauen Projektinformation, 2018  
<https://projektinfos.energiewendebauen.de/projekt/solaraktive-netzgekoppelte-energieversorgung-fuer-neubausiedlung.pdf>

Berliner Zeitung Jochen Knobloch: „Berlin Humboldt-Campus in Adlershof: Wo die Kraftwerksbetreiber  
wohnen“, 28.10.2017  
<https://archiv.berliner-zeitung.de/berlin/adlershof-hier-wohnen-die-kraftwerksbetreiber-von-berlin-28733522>

atene KOM GmbH „Fernwärme – zentraler Baustein für die Wärmewende“, 29.01.2019  
<https://atenekom.eu/fernwaerme-zentraler-baustein-fuer-die-waermewende/>

Hamburg Institut Infoblatt Solnet Nr. 3 „Fernwärmenetz als Saisonspeicher in Berlin“, August 2019  
[https://www.hamburg-institut.com/images/pdf/fachbeitraege/Infoblatt\\_Solnet\\_Nr3.pdf](https://www.hamburg-institut.com/images/pdf/fachbeitraege/Infoblatt_Solnet_Nr3.pdf)

EUMB Pöschk GmbH & Co. KG, Berlin spart Energie – Aktionswoche „Tour Innovative Energieversorgung  
mit Wärme und Kälte in Adlershof“, Veranstalter BTB mbH Berlin, 7.11.2019  
<https://www.berlin-spart-energie.de/detail/veranstaltung/innovative-energieversorgung-mit-waerme-und-kaelte-in-adlershof-79.html>

Tagesspiegel Advertorial „STROM, WÄRME, KÄLTE - Clever & smart für die Energiewende“, 20.01.2020  
<https://adlershof.tagesspiegel.de/clever-smart-fuer-die-energiewende-38864>

Weitere Veröffentlichungen zur Solarthermieanlage und der Pilot-HANEST im Zentrum für Energietechnik  
sind [10] ersichtlich und werden hier nicht separat aufgeführt.

## Literaturverzeichnis

- [1] J. Raab, Diplomarbeit "Analyse der Projektplanung, Inbetriebnahme und Funktionalität einer HANEST Pilotanlage einschließlich der Solarthermieanlage", Dresden: TU Dresden, Nov. 2019.
- [2] C. Beigl, Monitoring eines LowEx-Wärmeversorgungssystems mit dezentraler Einspeisung, Dresden: TU Dresden, Dez. 2019.
- [3] C. Prof. Dr.-Ing. Felsmann, K. Dr.-Ing. Rühling und e. al, LowEx Fernwärme: Multilevel District Heating – Zusammenfassung, Dresden: TUD-press, 2011.
- [4] J.-O. Dalenbäck, Success Factors in Solar District Heating - WP2 - Micro Analyses Report Deliverable D2.1, CIT Energy Management AB, Dez. 2010.
- [5] A. Reinholz, M. John und K. Meyer, Marktstudie zur Erschließung des Marktpotentials für die Einspeisung von regenerativ erwärmten Heizwasser in Nah- und Fernwärmenetzen am Beispiel der Wohnsiedlung Rudower Felder, Berlin Neukölln, OT Rudow., BTB, 2012.
- [6] D. Prof. Dr.-Ing. Wolff und K. Dr.-Ing. Jagnow, „Überlegungen zu Einsatzgrenzen und zur Gestaltung einer zukünftigen Fern- und Nahwärmeversorgung,“ 2011. [Online].
- [7] Diefenbach und N. e. al, Wärmeversorgung für Niedrigenergiehäuser, Darmstadt, 2005.
- [8] A. Reinholz, FKZ: 03ET1038B "Wohnen am Campus" - Wärmeversorgung in kleinteiligen Strukturen, BTB, 2012.
- [9] C. Prof. Dr.-Ing. Felsmann, FKZ 0327832C: "Smart Energy Management - Intelligentes Energiemanagement von Strom - Gas - Wärme - Kälte", Dresden: TU Dresden, 2012.
- [10] K. Dr.-Ing. Rühling, FKZ: 03ET1039B "Projekt DEZENTRAL - Dezentrale Einspeisung in Nah- und Fernwärmesysteme unter besonderer Berücksichtigung der Solarthermie", Dresden: TU Dresden, 09/2011 - 06/2014.
- [11] E. Kämper, Auslegung von Warmwasserspeichern im Rahmen einer Optimierung solar-thermischer Systeme im Modell des Wärmeverbundnetzes „Wohnen am Campus“, Berlin: FHTW, 2012.
- [12] L. Prof. Dr.-Ing. Kühl, FKZ: 0325862 "Newton-Projekt Berlin-Adlershof - Monitoring und Betriebsoptimierung einer solaren Wärme- und Stromversorgung von Plusenergiegebäuden mit rücklaufseitiger Fernwärmeeinbindung", Braunschweig/Wolfenbüttel: Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften; Institut für energieoptimierte Systeme (EOS), Laufzeit: 01.09.2016 bis 28.2.2022.
- [13] M. Heidt, Bachelorarbeit „Solarthermie in der Fernwärmeversorgung - Untersuchung zur Dimensionierung und Einsatzplanung“, TU Berlin, Jul. 2019.
- [14] B. Prof. Dr. Hirschl und E. Dr. Dunkelberg, „"Urbane Wärmewende – Partizipative Transformation von gekoppelten Infrastrukturen mit dem Fokus auf die Wärmeversorgung am Beispiel Berlin",“ Institut für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW), Berlin 11/2019. [Online]. Available: <https://www.urbane-waermewende.de>.
- [15] R. Dr. Meißner, Ergebnisse der ersten zwei Betriebsjahre der solaren Wärmeversorgung des Wohnquartiers mit Fernwärmeversorgung Newtonstraße 8 in Berlin-Adlershof, Ritter XL Solar, Juli. 2019.
- [16] K. Dr.-Ing. Rühling, FKZ: 03ET1234 A bis D EnEff: Wärme – Verbundvorhaben Energieeffizienz und Hygiene in der Trinkwasser-Installation, Dresden: TU Dresden, 2018.
- [17] E. e. a. Hauser, Studie: Nutzeneffekte von Bürgerenergie, IZES gGmbH, Laufzeit: 11/2014 - 08/2015.
- [18] R. Prof. Dr. Grießhammer und R. Riechel, FKZ: 01UN1701B: Perspektiven der Bürgerbeteiligung an der Energiewende unter Berücksichtigung von Verteilungsfragen. Teilprojekt B: Niedertemperatur- Wärmenetze, Oekoinstitut e.V., Laufzeit: 01.06. bis 31.12.2017.
- [19] K. Töpfer und W. Kahlenborn, Politikanalyse LowExTra. Bestandsaufnahme der aktuellen Rahmenbedingungen. Berlin: adelphi, Berlin: Adelphi, März 2016.
- [20] A. Schneller, L. Frank und K. Töpfer, Wärmenetze 4.0 im Kontext der Wärmewende. Analyse der Regelungs- und Förderlandschaft innovativer Wärmenetzsysteme, Berlin: Adelphi, Juli 2017.
- [21] E. Dunkelberg, M. Bachmann, A. Schneller, S. Schröder und N. Bach, LowExTra – Niedrig-Exergie-Trassen zum Verteilen und Speichern von Wärme – Rahmenbedingungen für die Umsetzbarkeit von LowEx-Mehrleiter-Wärmenetzen, IÖW/TU Berlin/adelphi/nexus, Dez. 2017.

- [22] A. Schneller, L. Frank und W. Kahlenborn, Wärmenetze 4.0 im Kontext der Wärmewende. Politische Handlungsempfehlungen für eine klimafreundliche Fernwärmeversorgung, Berlin: Adelphi, Febr. 2018.
- [23] A. Schneller, „Innovative Netze als zentraler Baustein,“ stadt+werk, K21 media AG, Juli/August 2018, pp. 18-21.
- [24] M. Dr. Ritzau, T. Langrock und A. Michels, Machbarkeitsstudie: „Kohleausstieg und nachhaltige Fernwärmeversorgung Berlin 2030“, Aachen: BET im Auftrag der Vattenfall Wärme Berlin AG und des Landes Berlin, vertreten durch die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz, 28.10.2019.
- [25] A. Oliva, A. Ripka, M. Elci, W. Kramer und S. Herkel, FKZ: 032 5544A "EnWiSol – Solarthermie in der städtischen Energieversorgung - Energiewirtschaftliche Analyse und Demonstrationsvorhaben Freiburg-Gutleutmatten", Freiburg: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE / badenova Wärmeplus GmbH & Co. KG, Juni 2013 - April 2018.
- [26] K. Dr.-Ing. Rühling, FKZ: 03ET1358 A-C "EnEffWärme:-DELFIN: Prognose der Auswirkungen dezentraler Einbindung von Wärme aus erneuerbaren Energien und anderen Wärmezeugern in Fernwärmenetze", Dresden: TU Dresden, 01/2016 - 06/2019.
- [27] M. Dr. Pehnt, Wärmenetzsysteme 4.0 – Kurzstudie zur Umsetzung der Maßnahme „Modellvorhaben erneuerbare Energien in hocheffizienten Niedertemperaturwärmenetzen“, Heidelberg, Berlin, Düsseldorf, Köln: ifeu, adelphi, Ecofys, PwC, dena, AEE, April 2017.