

## Quervergleich oberflächennaher Geothermiesysteme in EnVisaGePlus

**Ruben Pesch<sup>1</sup>, Robin Zeh<sup>2</sup>, Dirk Pietruschka<sup>1</sup>, Volker Stockinger<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>HFT Stuttgart, Schellingstraße 24, D-70174 Stuttgart, <sup>2</sup>Hochschule München, Lothstraße 34  
D-80335 München

**Keywords:** Oberflächennahe Geothermie, dezentrale Wärmepumpen, Kalte Nahwärme, Großkollektor, Boden-Klima-Tauscher, Siedlungs- und Quartierskonzepte

### Gliederung

1. Zusammenfassung
2. Vorstellung der zwei Vergleichsprojekte (allgemein)
  - 2.1. EnVisaGe
  - 2.2. +Eins
3. Vergleich der Messfelder
  - 3.1. EnVisaGe
  - 3.2. +Eins
4. Auswertung und Vergleich der Wärmepumpen
5. Ausblick

### 1. Zusammenfassung

Der Vergleich oberflächennaher, geothermischer Kollektoren in Kombination mit dezentralen Wärmepumpen zur Wärmeversorgung von Wohngebieten ist der Gegenstand der vorliegenden Arbeit. Die beiden untersuchten Siedlungsgebiete unterscheiden sich hinsichtlich der Lage (ländlich/städtisch) und daraus folgend hinsichtlich des Platzangebotes zur Installation der Geothermieanlagen. Die verwendeten Kollektortypen (Kleinstkollektoren/Großkollektor) sowie die Anbindung der Wärmepumpen an die Wärmequellen/-senken (direkte Anbindung, städtische Siedlung /kaltes Nahwärmenetz, ländliches Wohngebiet) werden bezüglich ihrer thermischen Leistungsfähigkeit untersucht. Neben der allgemeinen Beschreibung der umgesetzten Systeme und des installierten Monitorings der Geothermieanlagen liegt der Fokus dieser Arbeit auf dem Vergleich der erreichten Leistungszahlen der Wärmegestehung unter Berücksichtigung der unterschiedlichen, klimatischen Randbedingungen.

### 2. Vorstellung der zwei Vergleichsprojekte

In den vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) geförderten Projekten „EnVisaGe“ Kommunale netzgebundene Energieversorgung – Vision 2020 am Beispiel der Gemeinde Wüstenrot (FKZ: 03ET1116A) der Hochschule für Technik Stuttgart (HFT) und der Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark in Landshut (+Eins) (FKZ: 0327431R) der Hochschule für angewandte Wissenschaften München (HM) sind die notwendigen, messtechnischen Grundlagen gelegt worden, um im gemeinsamen Nachfolgeprojekt „EnVisaGe+“ (03ET1465A) die untersuchten Siedlungen, im ländlichen wie im städtischen Kontext, vergleichen zu können. Hierzu wurde eine umfassende messtechnische Basis geschaffen, bei der die beiden Siedlungsgebiete bezüglich ihrer Energieströme erfasst werden können. Im ersten Schritt werden die unterschiedlichen oberflächennahen Geothermiesysteme miteinander verglichen. Die Wärmebereitstellung durch die Wärmepumpen spielt hier eine genauso wichtige Rolle wie die Untersuchung der Energieentzugsleistungen und bereitgestellten Energiemengen aus den Geothermiefeldern. Hierfür stehen auf Grund der noch geringen Projektlaufzeit in EnVisaGePlus bisher nur Monitoringdaten aus einer Heizperiode zur Verfügung.

## 2.1 EnVisaGe

Das englische Wort „to envisage“ bedeutet, sich einer Herausforderung stellen. Im Jahr 2007 hat die Gemeinde Wüstenrot beschlossen, sich der Herausforderung zu stellen, zur Plusenergiegemeinde zu werden. Bis zum Jahr 2020 soll der Energiebedarf gesenkt und aus lokalen, erneuerbaren Energiequellen wie Biomasse, Erdwärme, Photovoltaik, Solarthermie und Windkraft gedeckt werden. Ein Meilenstein auf diesem Weg war die Planung und Umsetzung der Plusenergiesiedlung „Vordere Viehweide“, eines Neubaugebietes in Wüstenrot mit geplanten 23 Wohngebäuden [Pietruschka et al. 2016].

Plusenergiesiedlung „Vordere Viehweide“ - Kalte Nahwärme und Agrothermie

Durch die hohe Qualität der Gebäudehülle aller Neubauten im Siedlungsgebiet „Vordere Viehweide“ (KFW-Standard 55) reduziert sich der Heizwärmebedarf der Gebäude erheblich, so dass der Trinkwarmwasserbedarf und die hierfür nötigen Vorlauftemperaturen die Auslegung der Anlagentechnik bestimmen.

Dezentrale Wärmepumpen mit Pufferspeichern decken den Wärmebedarf der Liegenschaften in der „Vorderen Viehweide“. Als Wärmequelle wird oberflächennahe Geothermie durch einen Agrothermiekollektor, einen speziellen Flächenkollektor, erschlossen. Der Kollektor, hier bestehend aus 22 parallelen Leitungen (DN50) mit einem Abstand von ca. 1 m und einer Leitungslänge von jeweils ca. 200 m, erschließt das oberflächennahe Wärmepotential von ca. 0,44 ha Erdreich eines Grundstücks der Gemeinde Wüstenrot in 2 m Tiefe. Die landwirtschaftliche Nutzung der thermisch-aktivierten Fläche wird nach Einbau des Kollektors durch die Verlegetiefe von 2 m nicht weiter behindert, was in diesem Fall die Weiternutzung des Grundstücks als Futterwiese bedeutet.

Die zur Erstellung eines Agrothermiekollektors nötigen Arbeiten sind in Abbildung 1 dargestellt.

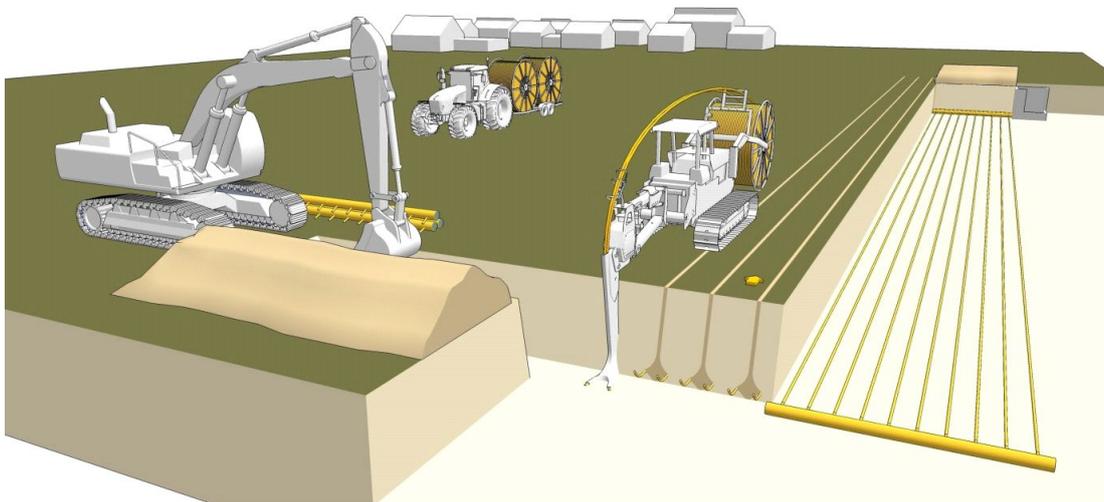


Abb. 1: Thermische Aktivierung des Untergrundes durch Einlassen von Rohrleitungen mit einem Spezialpflug (Quelle: Doppelacker GmbH)

Die Anbindung des Flächenkollektors an die dezentralen Wärmepumpen erfolgt über ein kaltes Nahwärmenetz (KNW) ohne zentrale Umwälzpumpe.

Durch die Auslegung der Systemkomponenten KNW und Agrothermiekollektor nach dem Prinzip des „drucklosen Verteilers“ können die Druckverluste innerhalb beider Komponenten so niedrig gehalten

werden, dass die Solepumpen der dezentralen Wärmepumpen für eine ausreichende, bedarfsgerechte Durchströmung von KNW und Kollektor sorgen. Ohne zentrales Umwälzen des Wärmeträgermediums auf der Primärseite ergeben sich je nach Anzahl der parallel laufenden Wärmepumpen, stark variierende Durchsätze der Sole was die Messtechnik am Kollektor vor gewisse Herausforderungen stellt. Die Systemtemperaturen des KNW schwanken jahreszeitlich und lastabhängig zwischen 17°C im Sommer und ca. 1-2°C Ende Februar. Auf eine Wärmedämmung des KNW kann aufgrund der niedrigen Systemtemperaturen verzichtet werden. Als Konsequenz hieraus vergrößert sich das thermisch-aktivierte Erdreich sogar noch um den Nahbereich rings um die KNW-Leitungen innerhalb des Wohngebietes.

Seit 2012 werden nach und nach die fertiggestellten Gebäude an das kalte Nahwärmenetz angeschlossen. Die ursprüngliche Auslegung für den Agrothermiekollektor geht von einer spezifischen Entzugsleistung von 15-30 W/m Kollektorrohrleitung aus, wodurch sich bei einer Gesamtlänge von knapp 4500 m Kollektorleitungen eine Leistung von 66-132 kWth dem Erdreich entziehen ließe.

Unter der Annahme einer mittleren Wärmeleistung pro Gebäude von ca. 7 kW und bei messtechnisch nachgewiesenen Leistungszahlen der dezentralen Wärmepumpen von größer/gleich 4.0 (ganzjährig) wäre die Leistungsfähigkeit des 0,44 ha großen Kollektorfeldes bei rein sensiblem Wärmeentzug nach dem Anschluss von maximal 9-18 Gebäuden erschöpft gewesen. Aus diesem Grund war eine Erweiterung des Kollektors auf insgesamt 1,5 ha geplant, um die höheren Wärmelasten bei fortschreitender Bebauung des Siedlungsgebietes, eine Baugebietserweiterung um 10-15 Gebäude und den Anschluss von einzelnen Bestandsgebäuden zu ermöglichen. Aus verschiedenen Gründen, deren Darstellung den Rahmen dieser Arbeit übersteigen würde, konnte ein weiterer Kollektor weder orts- noch zeitnah realisiert werden. Weshalb das bestehende Kollektorfeld dennoch zur Versorgung aller 23 Gebäude in der Lage ist, soll anhand der Diskussion der Messergebnisse aus dem Feld im weiteren Verlauf erörtert werden (siehe Abschnitt 3 und 4).

## **2.2 +Eins**

Auf dem Gelände einer alten Industriebrache in Landshut entstand in dem vom BMWi geförderten Forschungsvorhaben „+Eins“ im Jahr 2010 ein zukunftsweisendes Wohngebiet in zentrumsnaher Lage. Unter dem Ansatz der Plusenergie wurden 13 Einfamilienhäuser (EFH) im Zentrum des parkähnlichen Quartiers und acht Mehrfamilienhäusern (MFH) an den Straßenseiten erbaut. Somit entstand eine urbane, in sich geschlossene Wohnsituation auf dem damals neuesten energetischen Standard (siehe Abb. 2) [Stockinger et al. 2015].



Abb. 2: Darstellung des Ludmilla-Wohnparks (LWP) in Landshut aus der Draufsicht (Quelle: Ludmilla Wohnbau GmbH)

Der Schwerpunkt der Plusenergiesiedlung liegt vor allem auf den Energieeinsparungen, weshalb neben hocheffizienten Baustoffen, wie gedämmten Ziegeln ohne Wärmedämmverbundsystem, innovative Gebäudetechnik zur Beheizung der Gebäude eingesetzt wurde. Alle 13 EFH werden mit oberflächennaher Geothermie mit Hilfe von Boden-Klima-Tauschern in Verbindung mit hocheffizienten Wärmepumpen zur Wärmebereitstellung versorgt. Bei zwei EFH wurde ein Messfeld zur Untersuchung des Einflusses des Wärmeentzugs auf das umgebende Erdreich umgesetzt. Damit soll primär die Regeneration des Erdreichs in Abhängigkeit diverser Verlegevarianten genauer untersucht werden. Die 55 Wohneinheiten der acht Mehrfamilienhäuser werden mit Nahwärme, gespeist aus einem fossil befeuerten Brennwert BHKW mit Brennwerttherme als Spitzenlastkessel, versorgt.

Zur Betriebsoptimierung und Langzeitdatenauswertung wurde ein intensives Energiedatenmonitoring beim Bau sowohl im Wärmenetz als auch bei den oberflächennahen Kollektorsystemen integriert. Dadurch lassen sich das Anlagenverhalten der Geothermiesysteme sowie die Performance des Nahwärmenetzes detailliert erfassen und auswerten. Das messtechnische Konzept umfasst insgesamt 688 Sensoren zur Erfassung der Energieverbräuche, Energieerzeugung und weiterer Zustandsgrößen.

Die Systemtemperaturen der mit Sole befüllten Boden-Klima-Tauscher bewegt sich zwischen Temperaturen um den Gefrierpunkt im Winter und etwa 17 °C im Sommer und somit auf einem ähnlichen Temperaturniveau wie der Agrothermiekollektor in Wüstenrot. Im Gegensatz hierzu wird das Nahwärmenetz auf Basis fossiler Energie mit etwa 70°C Vorlauftemperatur betrieben.

### 3. Vergleich der Messfelder

#### 3.1 EnVisaGe

Das Monitoringkonzept, das für den Agrothermiekollektor entwickelt wurde, umfasst die in der Abbildung 3 dargestellten Messstellen. Der Kollektor erschließt, wie in Abschnitt 2.1 bereits erwähnt, mit 22 Leitungssträngen eine Fläche von rund 0.44 ha. Jede dieser Leitungen ist ca. 200 m lang. Geht man davon aus, dass jeder Strang pro Meter Leitungslänge ca. 2-3 Kubikmeter anstehendes Erdreich thermisch anbindet, ergäbe sich rein rechnerisch ein Volumen von 8800-

13200 Kubikmetern Erdreich, das durch den Betrieb der Anlage beeinflusst wird. Eine flächendeckende Messung der Bodenparameter (Temperatur, Feuchte und Grundwasserspiegel) schließt sich in dieser Größe aus Kostengründen jedoch aus. Folglich beschränkt sich das Monitoring auf die Überwachung eines repräsentativen Teilstranges, von dessen Verhalten auf den übrigen Kollektor rückgeschlossen werden muss.

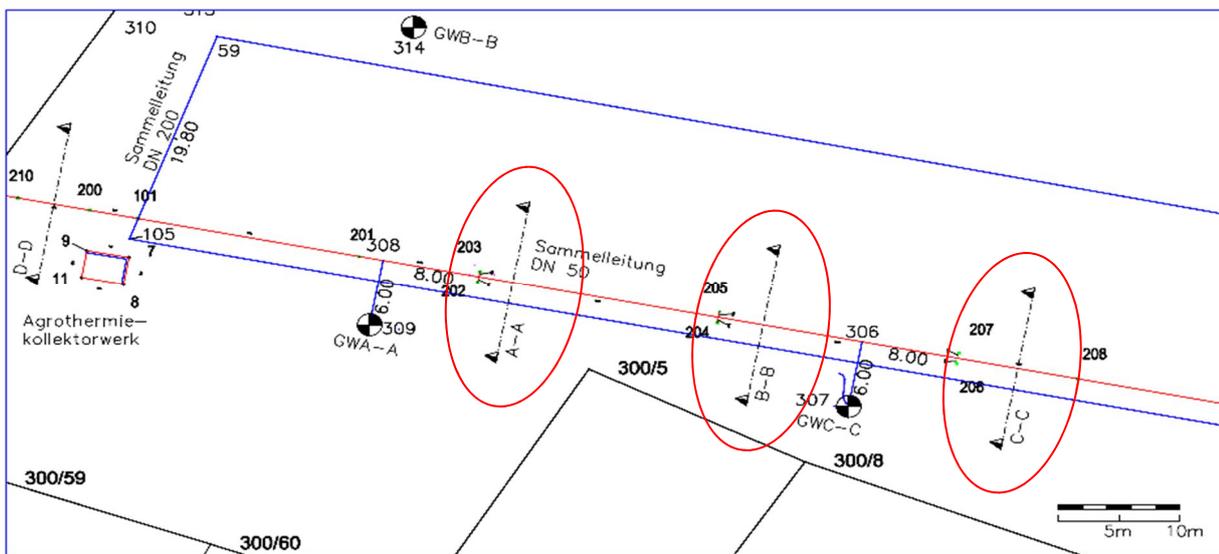


Abb. 3: Übersichtsplan über Messhorizonte des Agrothermiekollektors (horizontal)

Die Messhorizonte sind senkrecht zu diesem Teilstrang, der in Abbildung 3 als rote Achse dargestellt ist, als A-A, B-B und C-C definiert (siehe rote Ellipsen). Durch die Erfassung der Bodentemperaturen in verschiedenen Tiefen (Abb. 4), kombiniert mit den Informationen über den Feuchtegehalt des Erdreichs und die Höhe des Grundwasserspiegels (Punkte GWA-A, GWA-B und GWA-C in Abb. 3), kann an den drei Schnittebenen ein Teilvolumen des Speichers energetisch überwacht werden, da in den Schnittebenen auch die Fluidtemperaturen des Wärmeträgers erfasst werden.

Mit dem Mengendurchsatz durch die Einzelleitung, der im Agrothermiekollektorwerk bestimmt wird, können für die Teilvolumina A-A bis B-B, sowie B-B bis C-C und A-A bis C-C getrennt Bilanzen erstellt werden. Der für diese Bereiche bestimmte winterliche Wärmeentzug (bzw. sommerliche Wärmeeintrag), bestehend aus Wärmeleitung (Erdreich) und Konvektion (Grundwasser), beeinflusst die ungestörte Erdreichtemperatur und kann messtechnisch durch den Vergleich mit dieser dargestellt werden.

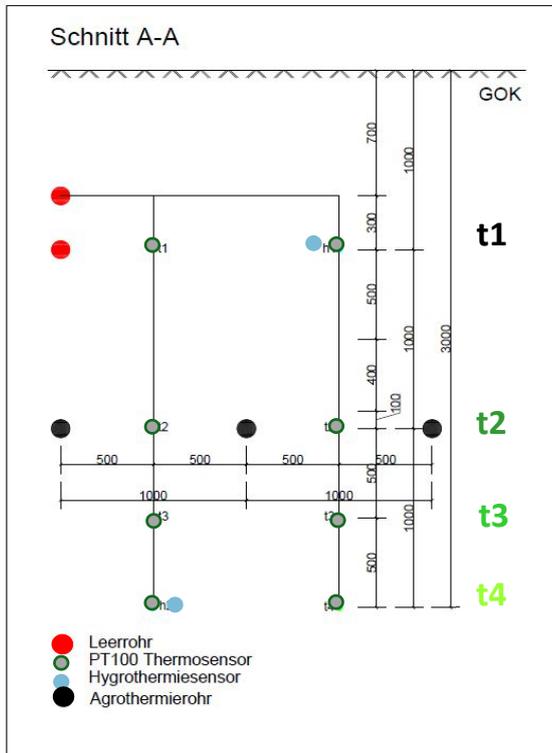


Abb. 4: Aufbau Messhorizont A-A (vertikal)

Zusätzlich zu diesen Detailbetrachtungen im Feld wird nahe des Agrothermiekollektorwerks die Netzvorlauftemperatur der Sole als fortlaufende Messreihe erfasst (siehe Abb. 5). Die Lücken in der Erfassung dieser Werte kommen durch die Umstellung von lokaler Datenerfassung auf eine internetbasierte Cloudlösung zustande. In Abbildung 5 (links) in Blau dargestellt ist die Soletemperatur beim Austritt aus dem Kollektorfeld (Netzvorlauftemperatur). Demnach bewegt sich die Netzvorlauftemperatur in der Heizperiode 2017/2018 zwischen knapp 15°C im August und 1°C Ende Februar. In Abbildung 5 (rechts) ebenfalls in Blau ist die minimale Tages-Außenlufttemperatur des betrachteten Zeitraums dargestellt. Von Januar bis Mitte Februar 2018 ergibt sich eine Zeitspanne in der der Kollektor durch hohe Heizleistungen auf Grund der sehr kalten Witterung stark beansprucht wurde. Obwohl bereits mehr Verbraucher als ursprünglich geplant an das Feld angeschlossen waren, fällt die Temperatur am Kollektorausritt nicht unter 0°C ab. Dies legt die Vermutung nahe, dass der Kollektor durch Latentwärmeeffekte auf Grund von Eisbildung mehr Wärmeleistung liefern kann, als ursprünglich angenommen wurde. Für eine Beurteilung, ob es zu nennenswerten Vereisungen des Erdreichs um die Kollektorrohre kommt und um weiteres Potenzial der Anlage abschätzen zu können, ist die Messreihe jedoch nicht ausreichend aussagekräftig. Daher wird ab der aktuellen Heizperiode (2018/2019) zusätzlich zu den Feldmessungen in einer

Einzelleitung der Gesamtdurchfluss des Kollektors und die Ein- und Austrittstemperatur der Sole bestimmt.

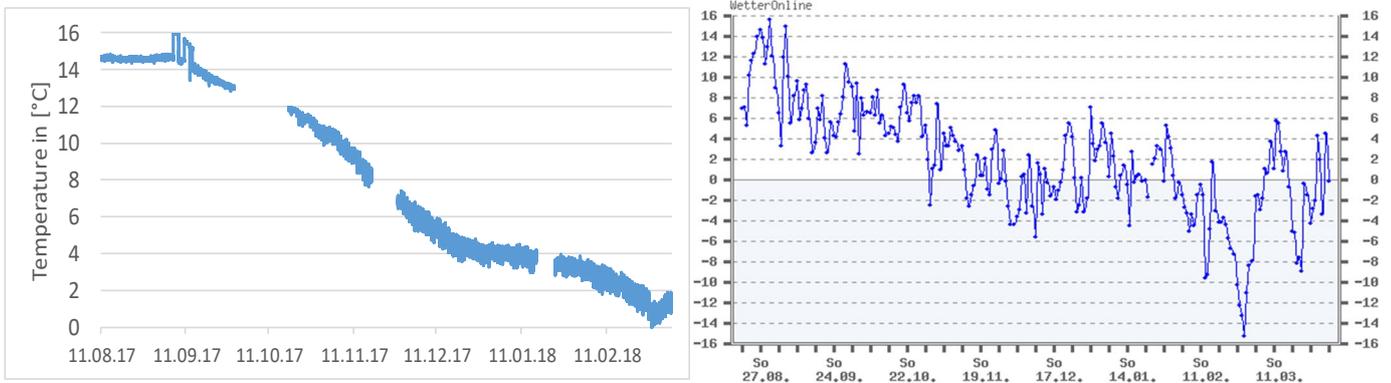


Abb. 5: Netzvorlauftemperatur der kalten Nahwärme in der „Vorderen Viehweide“ – minimale Außenlufttemperatur (Wüstenrot)

Das Anschlussprinzip des drucklosen Verteilers (Abschnitt 2.1) spielt bei der Lösung der Messaufgabe Gesamtvolumenstrom eine entscheidende Rolle. Da das Wasser-Glykol-Gemisch bedarfsgerecht umgewälzt wird und bei dieser Schaltung der Verbraucher auf eine zentrale Umwälzung der Sole verzichtet wird, variiert der Massendurchsatz je nach Anzahl der laufenden Wärmepumpen zwischen 0 m<sup>3</sup>/h und maximal 40 m<sup>3</sup>/h. Während der obere Betriebspunkt der Anlage auf einer DN 250 Leitung noch relativ gut mit einem Ultraschall-Volumenstrommessgerät erfasst werden kann (die resultierenden Strömungsgeschwindigkeiten liegen bei 22 cm/s), ist der Betriebspunkt bei dem nur eine von 20 Wärmepumpen läuft (ca. 2 m<sup>3</sup>/h Durchsatz) mit einer resultierenden Strömungsgeschwindigkeit von ca. 1 cm/s technisch eine Gratwanderung zwischen der Erfassung des tatsächlichen Messwerts und dem Messen freier Konvektion bei Stillstand in der Leitung. Aus diesem Grund hat die Auswahl der Messtechnik, die dieser Aufgabenstellung gewachsen sein sollte, mehr Zeit in Anspruch genommen als ursprünglich erwartet.

Einen weiteren Hinweis zur Erklärung der beobachteten hohen Entzugsleistung des Kollektors gibt Abbildung 6. In dieser Abbildung wird die räumliche Höhenlage der Kollektorharfe (in Grün dargestellt) der zeitlichen Auflösung der Pegelstände an den Grundwassermessstellen (GWA, GWB und GWC) überlagert. Als Ergebnis kann aus dieser Abbildung entnommen werden zu welchen Zeiten wieviel Kollektorfläche über bzw. unterhalb des Grundwasserspiegels liegt. Deutlich ersichtlich ist, dass ab Mitte November gut die Hälfte des Kollektors unter dem Grundwasserspiegel des mittleren Sensors (orange Linie GWA) und gut ein Drittel unterhalb des tiefsten Grundwasserspiegels (graue Linie GWB-Sensor) liegt. Ob und in wie weit die Grenze für den maximalen Wärmeentzug noch gesteigert werden kann in dem man die Latentwärme durch Vereisung längs des Kollektors nutzt, wird Gegenstand weiterer Untersuchungen sein.

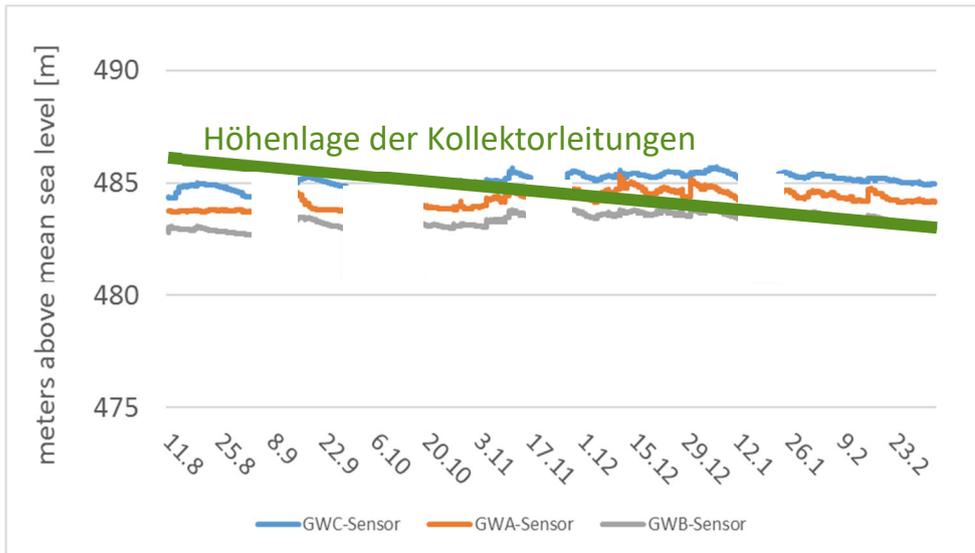


Abb. 6: Höhenlage der Kollektorleitungen des Agrothermiekollektors in Wüstenrot

### 3.2 +Eins

Neben dem Bau der Plusenergiesiedlung und der energetischen Optimierung des Wohnparks stellte die Untersuchung unterschiedlicher Einbauvarianten von Erdkollektoren im Boden eine wichtige Forschungsfrage in „+Eins“ dar. Hierbei wurden bei zwei Einfamilienhäusern die Boden-Klima-Tauscher nicht wie bei den anderen Gebäuden üblich ausschließlich in einer Ebene, sondern in acht verschiedenen Verlegevarianten ins Erdreich eingebracht, um deren Wärmeentzug unter Nutzung der Erdreichvereisung zu ermitteln. Weiterhin soll das Regenerationsverhalten der Kollektoren und deren Einflüsse auf das umgebende Erdreich messtechnisch bewertet werden. Im Nachfolgeprojekt Erdeisspeicher und oberflächennahe Geothermie (ErdEis) (FKZ: 03ET1382B) wurde weitere Messtechnik im Messfeld nachgerüstet, um diese Untersuchungen zu ermöglichen und die Vereisung zu erforschen. Da mehrere Verlegevarianten in gemeinsamen WP-Vorläufen zusammenkommen, ist es leider nicht möglich, das Anlagenverhalten der beiden WP in Abhängigkeit der Verlegevariante zu bewerten.

Eine Übersicht über die eingebrachten Verlegevarianten zeigt Abb. 7.

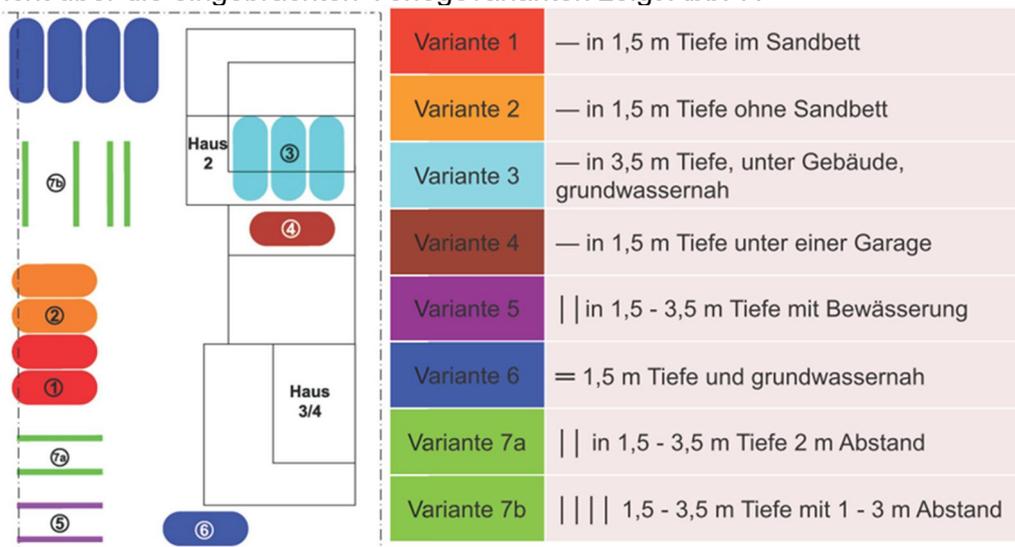


Abb. 7: Verlegevarianten des Messfeld oberflächennahe Geothermie im Ludmilla-Wohnpark in Landshut

Die acht verschiedenen Varianten unterscheiden sich hinsichtlich mehrerer Bedingungen. Zum einen liegen sie entweder waagrecht oder senkrecht im Boden, mit Zusätzen wie einem Sandbett oder einem Drainagerohr oder ohne. Zusätzlich unterscheidet sie die mögliche Regeneration des Bodens durch Sonne, Regen und Grundwasser [Stockinger et al. 2015].

Für die unterschiedlichen Einbringungen wurden zur Ermittlung der Wärmeentzüge, zur Untersuchung des Regenerationsverhaltens und der Temperatureinflüsse verschiedene Sensoren im Messfeld dreidimensional um die Erdkollektoren angebracht. Neben Temperatur- und Feuchtesensoren im Erdreich wurden auch Volumenstrom- und Temperatursensoren im Vor- und Rücklauf der Kollektoren zu den WP installiert. Somit können die Wärmeentzüge durch den Wärmepumpenbetrieb mit der gleichzeitigen Auswirkung auf das umliegende Erdreich nebeneinander erfasst werden. Es wurde ein messtechnisches Konzept ausgearbeitet, anhand dessen alle Zähler und Fühler eindeutig beschriftet und zugeordnet werden können.

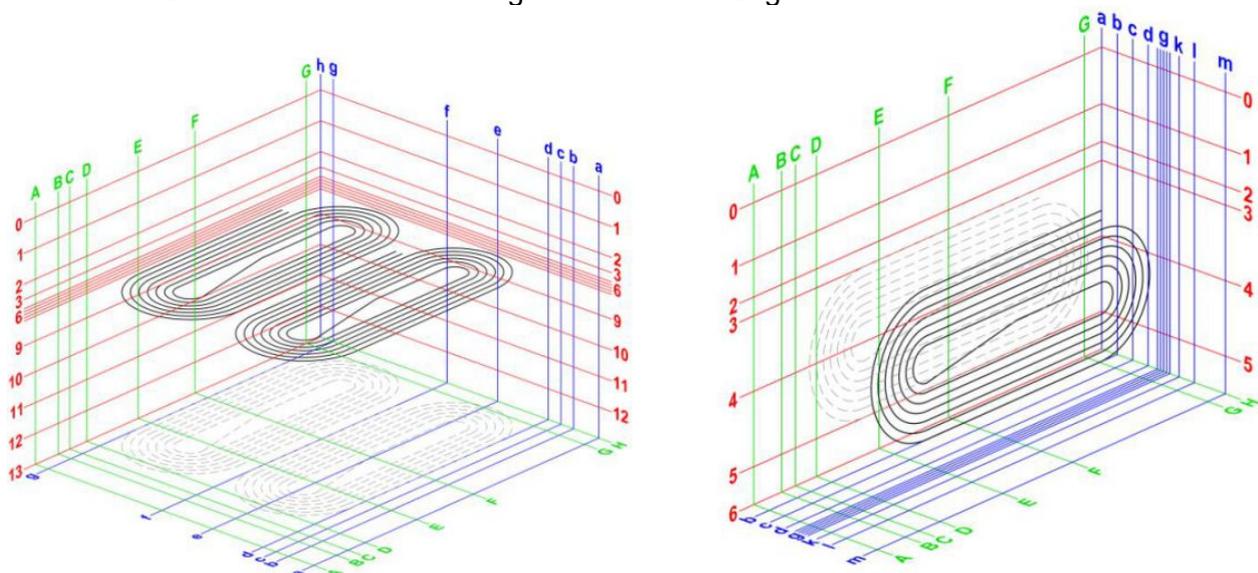


Abb. 8: Konzept zur horizontalen und vertikalen Fühlereinbringung im Erdreich

Es wurden grundsätzlich zwei Einbausituationen unterschieden: die waagerechte und die senkrechte Verlegung der Kollektoren. Die unterschiedlichen Konzepte basieren jeweils auf einer Unterteilung in drei Achsen, die unterschiedlich bezeichnet sind (siehe Abb. 8). Die Längsachse zu den Kollektoren wird mit Großbuchstaben bezeichnet, die Querachse mit Kleinbuchstaben und die Höhenachse mit Ziffern. Diese detaillierten Beschreibungen sind notwendig, um die aufgezeichneten Daten mit der jeweiligen Messtechnik eindeutig zuordnen zu können. Die detaillierte Zählerbeschreibung mit der notwendigen Zuordenbarkeit wird exemplarisch anhand eines Fühlers in Abb. 9 für die Verlegevariante 4 (siehe Abb. 7) dargestellt.

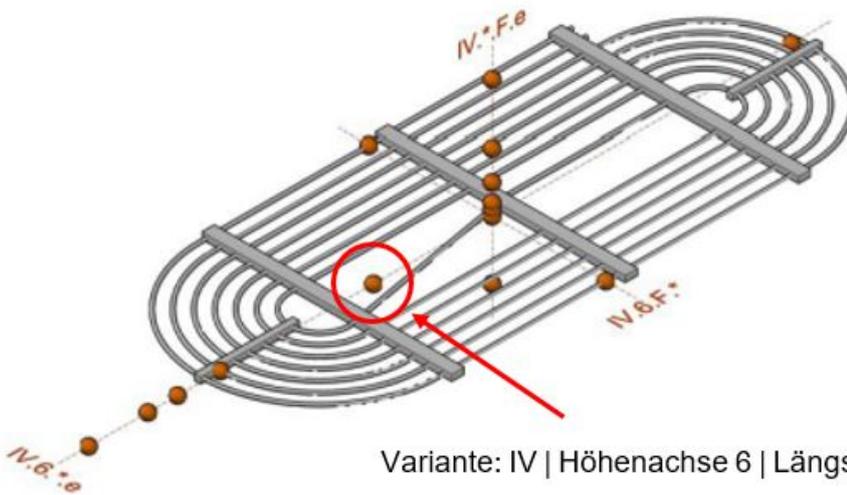


Abb. 9: Exemplarische Anbringung der Temperaturfühler für Variante 4

Durch die Nachrüstungen weiterer Messtechnik im Nachfolgeprojekt „ErdEis“ wurde erstmals die Grundlage gelegt die Erdreichsuntersuchungen am Standort vollumfänglich durchführen zu können. Die Auswertung dieser erfolgt im Rahmen der Projekte „ErdEis“ sowie „EnVisaGePlus“.

#### 4. Auswertung und Vergleich

Zum Quervergleich eignen sich die beiden geothermischen Systeme untereinander („Vordere Viehweide“ im Vergleich zum „Ludmilla-Wohnpark“) sehr gut. Die Wärmebereitstellung des Agrothermiekollektors in Wüstenrot kann mit der aus den Kleinstkollektoranlagen des LWP verglichen werden. Die Hydrauliken in den Einfamilienhäusern beider Forschungsvorhaben ähneln sich rings um die Wärmepumpe. In beiden Projekten sind jeweils Wärmemengenzähler im Vorlauf der Wärmepumpe sowie in den Heizkreisen installiert. Ebenso wurde Messtechnik auf der elektrischen Seite der Wärmepumpen installiert. Mit Hilfe der elektrischen und der thermischen Energiemengen lassen sich die Arbeitszahlen berechnen.

Grundsätzlich werden bei der Ermittlung der Arbeitszahlen (AZ) vier Detaillierungsstufen unterschieden (siehe Tabelle 1) [Miara et al. 2010].

Tabelle 1: Unterscheidung der Arbeitszahlen bei der Auswertung von Wärmepumpen

Arbeitszahl	0	1	2	3
Wärmepumpe	x	x	x	x
Solepumpe		x	x	x
Heizstab			x	x
Heizungspumpen				x

Um die Auswertungen vergleichen zu können, muss jeweils die gleiche AZ ermittelt werden. Je feiner die Messtechnik, desto spezifischere Arbeitszahlen können ermittelt werden. Aufgrund der installierten Messtechnik in Wüstenrot werden die elektrischen Verbraucher zu einem Messwert zusammengefasst. Als Konsequenz dessen wird in beiden Forschungsvorhaben die AZ 3 ermittelt. Sie beinhaltet auf der elektrischen Seite somit den Energieverbrauch für den Verdichter, die Solepumpe sowie die Heizungspumpen. Die Heizstäbe der Wärmepumpen wurden in beiden

Projekten ausgeschaltet. Die nachfolgend dargestellten Arbeitszahlen beziehen sich somit immer auf die AZ 3.

Im Folgenden werden nun die Wärmebereitstellung und die damit verbundenen Arbeitszahlen beider Versorgungsvarianten ermittelt und gegenübergestellt. Für den LWP in Landshut stehen hierfür aufbereitete Messwerte aus drei aufeinander folgenden Messperioden der Jahre 2012 bis 2014 zur Verfügung. Für die Vordere Viehweide in Wüstenrot ergeben sich aufgrund der geringeren Projektlaufzeit bisher nur auswertbare Messwerte aus drei von sechs intensiv gemonitornten Gebäuden im Zeitraum von September 2017 bis Mai 2018, also kein vollständiges Betriebsjahr, jedoch eine volle Heizperiode für den Winter 2017/2018.

Da die Messwerte der Vergleichsprojekte nicht aus derselben Messperiode stammen, müssen die jeweils vorherrschenden Umgebungsbedingungen bei den Vergleichen berücksichtigt werden. Im ersten Schritt werden die Außentemperaturen durch die vor Ort installierten Wetterstationen ausgewertet. Neben der mittleren Monatstemperatur werden in Abb. 10 auch die maximalen und minimalen Temperaturen der Monate dargestellt.

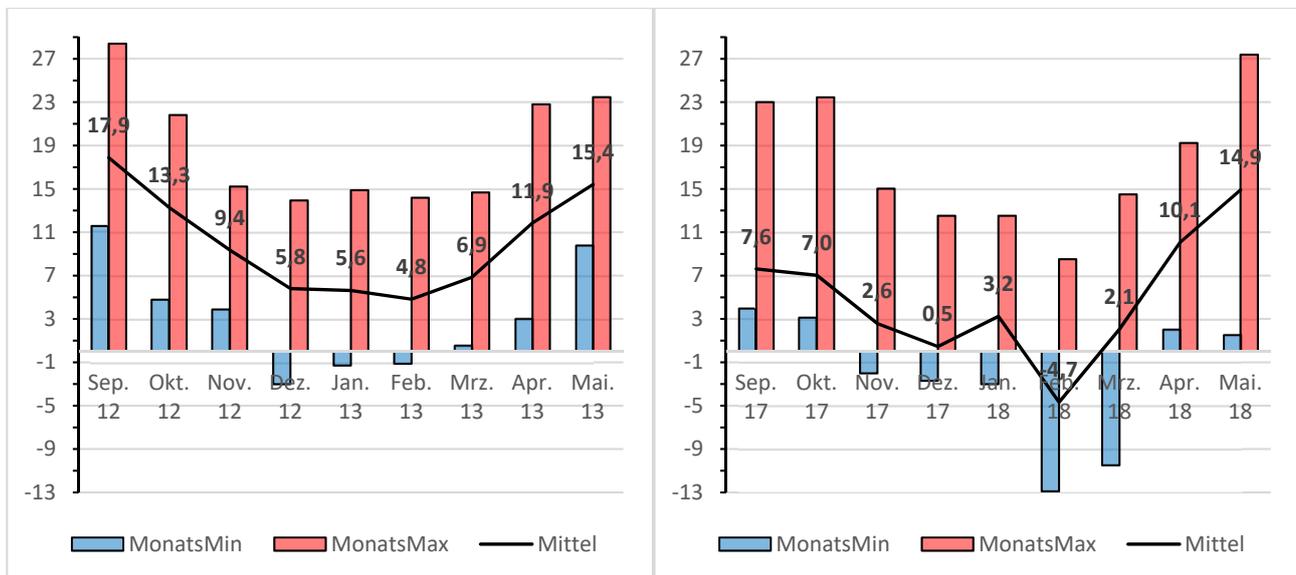


Abb. 10: Gemessene Außentemperaturen für den Ludmilla-Wohnpark (links) und Wüstenrot (rechts)

Auffällig ist, dass es im LWP während des Betrachtungszeitraums dauerhaft wärmer ist als in Wüstenrot. Während sich die Minimaltemperaturen in Landshut bei Werten um den Gefrierpunkt bewegen, werden in Wüstenrot zweistellige Minuswerte erreicht.

Unter Berücksichtigung der Außentemperaturen kann der Anlagenbetrieb der Kollektoren untersucht werden. Hierfür werden die Wärmepumpen mit ihren Arbeitszahlen und Vorlauftemperaturen sowie die Wärmeentzüge aus dem Erdreich untersucht. Für die intensiv gemonitornten Gebäude ergibt sich der in Abb. 11 dargestellte repräsentative Mittelwert für das Quartier in Wüstenrot.

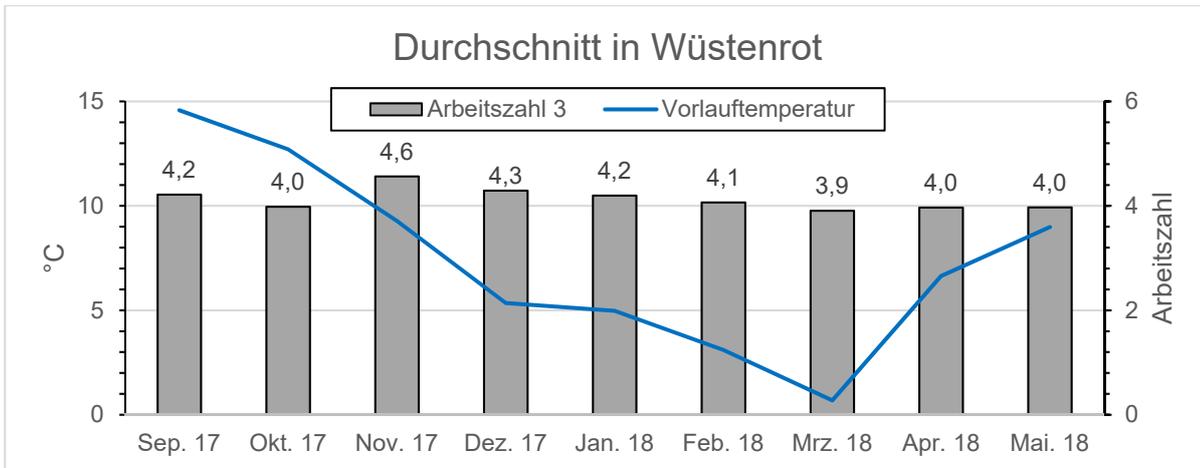


Abb. 11: Auswertung der intensiv gemonitorten Wärmepumpen aus dem Großkollektor in Wüstenrot

Erkennbar ist, dass die mittlere Arbeitszahl des Quartiers während der gesamten Heizperiode um maximal 0,41 abweicht. Die Werte variieren um eine JAZ mit dem Wert 4,1. Trotz des großen Kollektorvolumens wird die Vorlauftemperatur der WP dennoch relativ weit abgesenkt, bis kurz vor den Gefrierpunkt im März bei 0,7 °C. Dadurch ergibt sich hier die geringste mittlere Arbeitszahl.

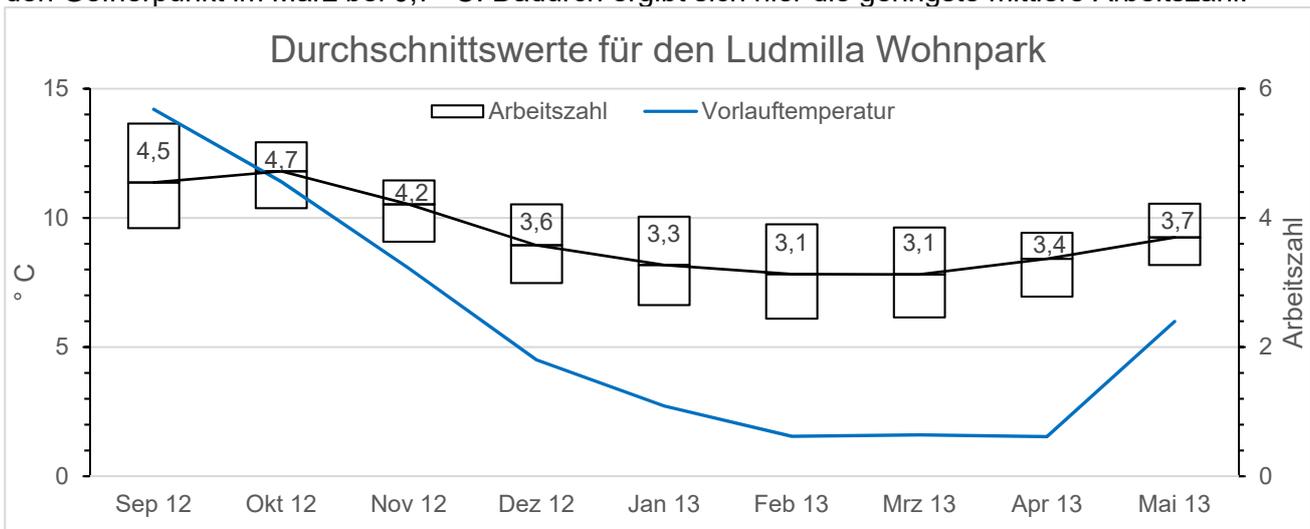


Abb. 12: Auswertung der gemonitorten EFH aus den Kleinstkollektoranlagen im LWP

In Abb. 12 ist der repräsentative Mittelwert der EFH des Ludmilla-Wohnpark mit den jeweiligen Minimal- und Maximalwerten dargestellt. Hier fällt auf, dass in den sehr warmen Monaten September und Oktober auffällig gute Arbeitszahlen erzielt werden. Sobald jedoch das umliegende Erdreich durch den Wärmeentzug mittels Wärmepumpen abgekühlt wird und als Konsequenz

daraus die Vorlauftemperaturen sinken, sinkt auch die Arbeitszahl ziemlich stark. Sie verändert sich während der Heizperiode, um maximal 1,7. Es wird eine mittlere Arbeitszahl von 3,5 erzielt.

Innerhalb der Messperioden wird auch die prozentuale Verteilung der Energiebereitstellung untersucht (siehe Abb. 13).

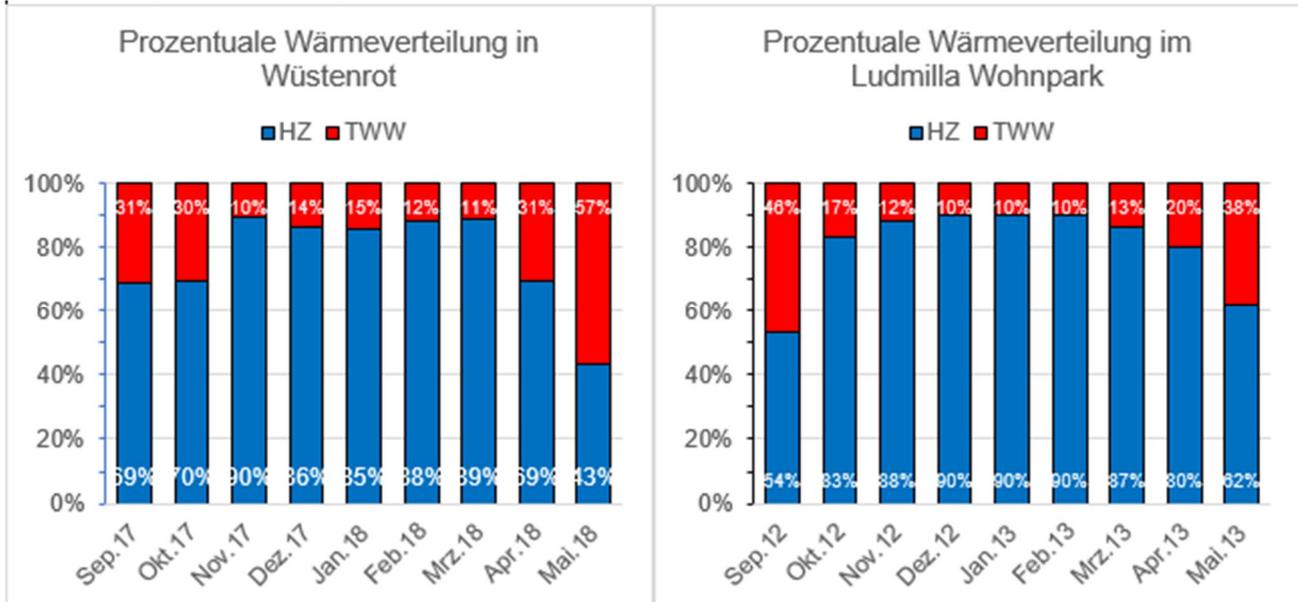


Abb. 13: Prozentuale Wärmeverteilung in der Vorderen Viehweide (Wüstenrot) und im Ludmilla Wohnpark (Landshut)

Im LWP entfallen während der Wintermonate ca. 90 % der Wärmeenergie auf die Gebäudebeheizung. Nur ca. 10 % werden für die Trinkwarmwassererwärmung aufgewendet. In Wüstenrot hingegen entfallen etwas über 87 % auf die Wärmebereitstellung und ca. 13 % auf die Warmwasserbereitstellung.

Neben dem Anlageverhalten der Wärmepumpen aus den Systemen werden auch Entzugsprofile für die Kollektorsysteme erstellt. Die Wärmeentzüge der Kollektoren [kWh] aus dem Ludmilla-Wohnpark wurden in Relation zur jeweiligen Kollektorgröße [m<sup>2</sup>] gesetzt. Der spezifische Wärmeentzug [kWh/m<sup>2</sup>] des Großkollektors in Wüstenrot, lässt sich in der bisherigen Messperiode noch nicht aussagekräftig darstellen, da während der Messperiode weitere Gebäude angeschlossen

wurden. Die mittleren spezifischen Wärmeentzüge des Ludmilla-Wohnparks sind in Abb. 14 dargestellt.

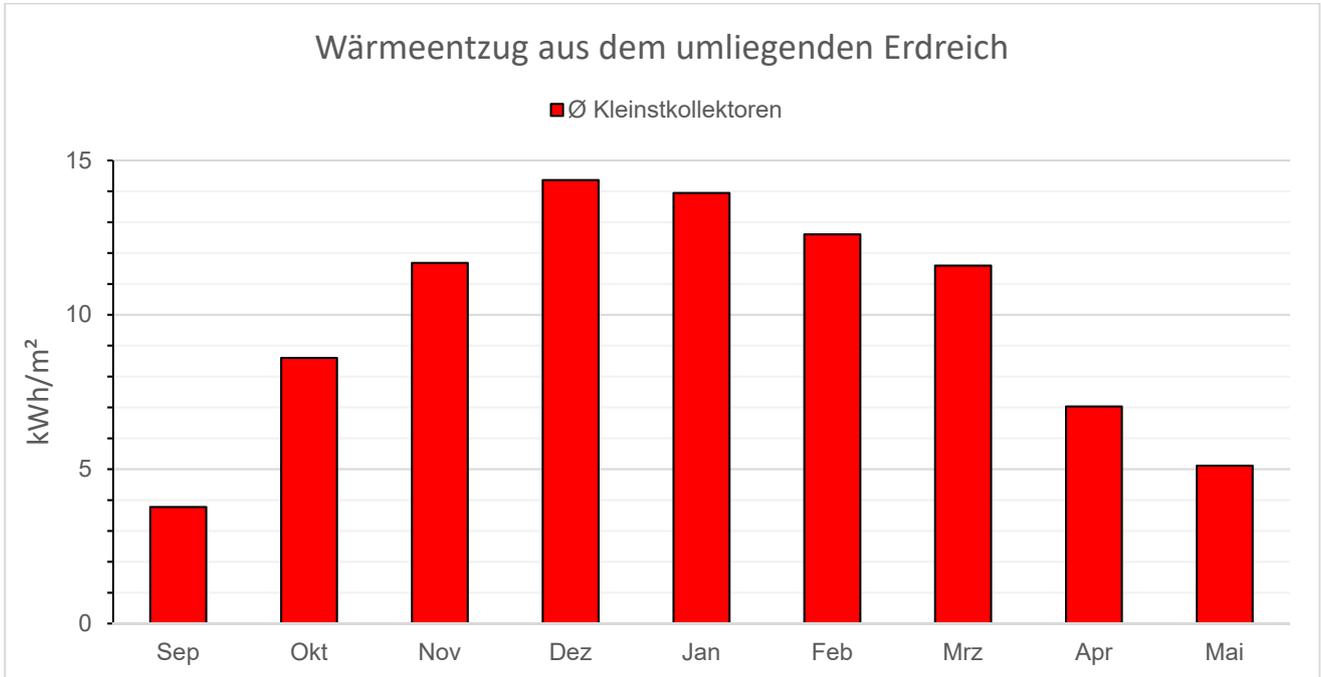


Abb. 14: Darstellung der spezifischen Wärmeentzüge

Aufgrund der noch sehr geringen Messdatenmenge in Wüstenrot, der Tatsache, dass noch nicht alle Gebäude am Kollektor angeschlossen sind und bei den bisherigen Auswertungen noch nicht alle intensiv gemonitorten Wärmepumpen ausgewertet werden konnten, lassen sich noch keine wissenschaftlichen Vergleiche zwischen dem Großkollektor und den Kleinstkollektoranlagen treffen.

## 5. Ausblick

Im Rahmen des Projektes EnVisaGePlus ist neben dem Vergleich der Erdwärmesysteme auch der Vergleich von zwei warmen Nahwärmenetzen geplant. Hier soll die Performance des regenerativ betriebenen Wärmenetzes in Wüstenrot mit dem fossil befeuerten KWK-Netz in Landshut verglichen werden. Beide Systeme eignen sich zudem für den systemübergreifenden Vergleich zwischen „warmer“ und „kalter“ Nahwärme.

Alle intensiv sowie extensiv gemonitorten Gebäude in Wüstenrot sollen in naher Zukunft aussagekräftige Messdaten liefern, um den Quervergleich der Systeme weiter voranzubringen. Mit den Messfeldern im Erdreich werden zudem Vergleiche des Regenerationsverhaltens durch die Sonne und den Niederschlag möglich. Außerdem wird durch die zentrale Erfassung der Wärmeentzugsleistung am Großkollektor die reale Beanspruchung des Kollektors erfasst, so dass ein direkter Vergleich zur Leistungsfähigkeit der Kleinstkollektoren in Zukunft möglich wird.

## Quellenangaben

PIETRUSCHKA, D. et al.: Vision 2020 - Die Plusenergiegemeinde Wüstenrot pro:21 GmbH, Bonn (Hrsg.), 2016, 139 S., Fraunhofer IRB Verlag, ISBN 978-3-8167-9545-2

STOCKINGER, V. et al.: Abschlussbericht: Forschungsvorhaben +Eins – Plusenergiesiedlung Ludmilla-Wohnpark in Landshut. Competence Center Energieeffiziente Gebäude (CEEG), Fakultät Versorgungs- und Gebäudetechnik, Hochschule für angewandte Wissenschaften München (HM), München (2015)

MIARA, M. et al.: Wärmepumpen Effizienz – Messtechnische Untersuchung von Wärmepumpenanlagen zur Analyse und Bewertung der Effizienz im realen Betrieb. S 42. Fraunhofer ISE, Freiburg (2010)