

Es kann funktionieren! - Langzeitmessungen an geothermischen Anlagen, Erfahrungen und Ergebnisse

Franziska Bockelmann

Steinbeis-Innovationszentrum energie+

Keywords: Erdgekoppelte Wärmepumpen, Langzeitmessungen, Anlagenperformance, Qualitätssicherung

Zusammenfassung

Im Rahmen diverser Forschungsprojekte führt das SIZ energie+ bereits seit mehr als 10 Jahren Langzeituntersuchungen an erdgekoppelten Wärmepumpenanlagen für Heiz- und Kühlzwecken an verschiedenen gewerblichen und institutionellen Gebäuden sowie Mehrfamilienhäusern durch, die sowohl mit Erdwärmesonden als auch mit Energiepfählen als Energiequelle umgesetzt wurden. Die durchgeführten Messungen und Analysen umfassen u. a. Betriebsarten, Regelungsstrategien, Wärmeentzug und -eintrag aus dem Erdreich, gebäude- und erdseitige Temperaturen sowie Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen.

Anhand der Ergebnisse und Erfahrungen wird deutlich, dass ein stimmiges Energiekonzept und innovative Anlagentechnik alleine nicht zu einem energieeffizienten Gebäude führen. Auch bei einer detaillierten, sorgfältigen Planung kann es im Betrieb zu Störungen kommen, die zu einem steigenden Energieverbrauch oder mangelndem Nutzerkomfort führen können. Aus diesem Grund ist die Qualitätssicherung (Betriebsanalyse und -optimierung) bei erdgekoppelten Versorgungskonzepten vor allem in den ersten Betriebsjahren, aber auch darüber hinaus von entscheidender Bedeutung. Nur so kann sichergestellt werden, dass die Gebäude und deren Systeme ihre Planungsziele und langfristige Funktionalität erreichen.

Die meisten der betrachteten erdgekoppelten Wärmepumpen der Gebäude konnten wie geplant in Betrieb genommen werden und arbeiten effizient mit einer Arbeitszahl von bis zu 6 im Heizbetrieb und zwischen 4 und über 100 im Kühlbetrieb, je nach Anteil der freien und aktiven Kühlung. Die Ergebnisse zeigen, dass es zwischen einem Erdwärmesondenfeld und Energiepfählen im Allgemeinen keinen signifikanten Unterschied bei Betrieb und Leistung gibt.

Nach mehr als zehn Jahren Betrieb lässt sich feststellen, dass die Systeme zwar funktionieren und ihre geplante Effizienz erreichen, aber ständige Kontrolle und Nachsteuerung erfordern, um Fehlbetriebe zu vermeiden. Sowohl Bilanzierung als auch die kontinuierliche Überwachung der Entzugs- und Eintragsmengen sollten nicht vernachlässigt werden. Fehler und Inkonsistenzen, die den Betrieb der Anlage entscheidend beeinflussen, können nur durch eine Langzeitüberwachung erkannt werden.

1. Einleitung

Zahlreiche Innovationen haben die Möglichkeiten zur Gestaltung energieeffizienter Gebäude deutlich erweitert; kompakte Blockheizkraftwerke, dezentrale außenwandintegrierte Lüftungsgeräte, thermoaktive Bauteilsysteme und geothermische Anlagen sind längst in der Baupraxis angekommen. Die oberflächennahe Geothermie nimmt als regenerative Energiequelle in diesem Zusammenhang eine wesentliche Rolle beim umweltfreundlichen Heizen und Kühlen moderner Gebäude ein. Sie lässt sich sehr effizient mit Heiz- und Kühlsystemen kombinieren, die nahe dem Temperaturniveau des Erdreichs arbeiten. Dadurch, dass sich die gleiche Technik sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen nutzen lässt, bietet sie sich besonders für die Temperierung von Büro- und Verwaltungsgebäuden an. Um die Energieeffizienz der Systeme, den thermischen Komfort im

Gebäude sowie die dauerhafte Funktionalität zu gewährleisten, gilt es allerdings insbesondere bei komplexen Systemen und deren kombiniertem Einsatz zum Heizen und Kühlen, eine Vielzahl an Punkten zu beachten, da sich die Anlagen zur Nutzung der Erdwärme sowohl bei der Planung als auch beim Betrieb von konventioneller Wärme- und Kältetechnik unterscheiden. Vielen Planern, Ausführenden und Betreibern fehlt jedoch immer noch die Erfahrung im Umgang mit dieser Technologie. Das kann bei der Planung und Umsetzung zu Problemen und in der Folge zu ineffizienten Betriebsweisen führen.

Aufgrund der geringen Temperaturspreizungen zwischen Erdreich und dem Heiz- bzw. Kühlsystem im Gebäude reagieren die Anlagen sehr sensibel auf Fehler und Störungen. Darüber hinaus werden Ausführungs- und Betriebsfehler infolge der Trägheit der Systeme sowie der Redundanz mit weiteren Heiz- und Kühlsystemen meist erst spät erkannt. Ein fehlerhafter Betrieb mindert also nicht nur die aktuelle Effizienz des Systems, sondern kann auch die Leistungsfähigkeit für die Folgejahre beeinträchtigen.

Neben einer entsprechenden Planung und fehlerfreien Ausführung bestimmt der Gebäude- und Anlagenbetrieb über Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Systeme. Um eine dauerhafte und energieeffiziente Funktion zu gewährleisten, entscheidet eine optimale Abstimmung des Gebäudeenergiebedarfs auf das thermische Angebot im Erdreich darüber, welche thermischen Leistungen sich erzielen lassen. Der Gebäude- und Anlagenbetrieb muss im Unterschied zu konventionellen Heiz- und Kühlsystemen kontinuierlich den schwankenden Randbedingungen durch Wetter und Gebäudenutzung angepasst werden. Ein wesentliches Instrument dafür ist die messtechnische Begleitung der Anlagen, insbesondere in der ersten Betriebsphase.

Das Steinbeis-Innovationszentrum (SIZ) energie+ untersucht das Zusammenspiel zwischen Wärmepumpen und Erdwärmesonden sowie Energiepfählen anhand von sechs unterschiedlichen Gebäuden (gewerbliche, institutionelle und Mehrfamilienhäuser) in einem Langzeitmonitoring von bis zu > 10 Jahren. Ziel ist es, gesicherte Kenntnisse über die tatsächliche Performance der Gebäude hinsichtlich Energieverbrauch, Nutzerkomfort und Betrieb zu erlangen und zu dokumentieren.

Die erhobenen Messdaten erlauben Rückschlüsse darauf, wie sich die verschiedenen Systemkomponenten und Regelungsstrategien auf die Gesamtleistung auswirken, sodass bewährte Verfahren angewendet werden können, um Konstruktions- und Installationsprobleme zu beheben. Auch können neu gewonnen Erkenntnisse auf sich in der Planung befindende Anlagen übertragen werden.

2. Monitoringgebäude und Anlagen

Im Monitoring werden vier Bürogebäude, eine Schule und ein Mehrfamilienhaus messtechnisch erfasst und analysiert (Abb. 1). Bei den sechs Gebäuden handelt es sich um Neubauten an unterschiedlichen Standorten in Deutschland, von denen jeweils drei Gebäude mit Erdwärmesonden und drei Gebäude mit Energiepfählen ausgestattet sind, die als Wärmequelle für die Wärmepumpenanlage dienen. Fertigstellung und Inbetriebnahme der Gebäude erfolgte in den Jahren 2002 bis 2016, Messdaten liegen jedoch größtenteils erst ab einem späteren Zeitpunkt vor. Die Auswertung der Messungen wurde für den Zeitraum von 2006 bis 2019 durchgeführt, für einige Gebäude liegen die Daten jedoch erst seit 2011 oder 2017 (Inbetriebnahme des Gebäudes oder der Datenübertragung) vor. Die erdgekoppelten Systeme werden in den betrachteten Gebäuden zum Heizen und zur freien oder mittels reversibler Wärmepumpe zur aktiven Kühlung genutzt. Alle Gebäude sind mit einer Kombination aus Wärmepumpe und Niedertemperaturübergabesystem ausgestattet. Die Verteilung der Wärme und Kälte erfolgt z. B. über eine Betonkernaktivierung und / oder über raumlufttechnische Anlagen. Zur Deckung von Spitzenlasten sind in einigen Gebäuden zudem Fernwärme oder Gasbrennwerttechnik mit Konvektoren bzw. Radiatoren installiert.

Die betrachteten Anlagen waren zum Teil schon mehrere Jahre in Betrieb, bevor sie im Rahmen der Projektbegleitung näher analysiert wurden. Bei den untersuchten Gebäuden und Anlagen sind Fehler daher zum Teil lange unentdeckt geblieben und wurden erst im Rahmen des Monitorings festgestellt und soweit möglich behoben. Die Messergebnisse spiegeln diese Zeiten der Fehlererkennung und -behebung sowie der anschließenden Betriebsoptimierung wider und variieren von Jahr zu Jahr teilweise recht stark.

	Gebäude		Wärmequelle		Wärmeübergabesystem	
Erdwärmesonden (EWS)	Büro 1	Baujahr	2010	Anzahl	25	stat. Heizung Betonkernaktivierung Raumluftechnische Anlage
		Nettogrundfläche	6.750 m ²	Länge EWS	100 m	
		Heizenergie	262 MWh/a	Gesamtlänge	2.500 m	
		Kühlenergie	62 MWh/a	Entzug / Eintrag	174 / 206 MWh/a	
		Zusatzherzeuger	Gaskessel			
	Büro 2	Baujahr	2004	Anzahl	36	Heiz-/Kühlsegel Raumluftechnische Anlage Fußbodenheizung
		Nettogrundfläche	6.200 m ²	Länge EWS	150 m	
		Heizenergie	554 MWh/a	Gesamtlänge	5.400 m	
		Kühlenergie	166 MWh/a	Entzug / Eintrag	155 / 110 MWh/a	
Mehrfamilienhaus (MFH)	Baujahr	2016	Anzahl	9	Fußbodenheizung Trinkwarmwasser	
	Nettogrundfläche	1.100 m ²	Länge EWS	100 m		
	Heizenergie	66,4 MWh/a	Gesamtlänge	900 m		
			Entzug / Eintrag	60 MWh/a		
Energiepfähle (EP)	Büro 3	Baujahr	2003	Anzahl	196	Betonkernaktivierung
		Nettogrundfläche	20.700 m ²	Länge EP	8,50 m	
		Heizenergie	828 MWh/a	Gesamtlänge	1.666 m	
		Kühlenergie	62 MWh/a	Entzug / Eintrag	85 / 85 MWh/a	
		Zusatzherzeuger	Fernwärme			
	Büro 4	Baujahr	2002	Anzahl	101	Betonkernaktivierung Raumluftechnische Anlage
		Nettogrundfläche	4.000 m ²	Länge EP	17,50 – 21,50 m	
		Heizenergie	350 MWh/a	Gesamtlänge	1.926 m	
		Kühlenergie	24 MWh/a	Entzug / Eintrag	N/A	
		Zusatzherzeuger	Fernwärme			
	Schule	Baujahr	2015	Anzahl	4.400 m ² Agrothermie /	Betonkernaktivierung Raumluftechnische Anlage Fußbodenheizung
		Nettogrundfläche	11.500 m ²	96 EP		
Heizenergie		340 MWh/a	Länge EP	8 - 12 m		
			Gesamtlänge	1.004 m		
			Entzug / Eintrag	Agrothermie:		
Kühlenergie		100 MWh/a		61,5 / 70,7 MWh/a		
Zusatzherzeuger		Gaskessel		EP: 101,7 / 102,3 MWh/a		

Abb. 1: Gebäude, Wärmeübertrager- und übergabesysteme der im Monitoring untersuchten Gebäude

3. Monitoringergebnisse

Neben der technischen Realisierbarkeit spielen energetische, ökologische und wirtschaftliche Gesichtspunkte bei der Entscheidung für oder gegen ein bestimmtes Heiz- oder Kühlsystem eine zentrale Rolle. Beim Vergleich von Erdwärmesystemen mit konventionellen Systemen stellt sich einerseits die Frage, ob sie einen ähnlich hohen thermischen Komfort in den Gebäuden gewährleisten können und andererseits, welche nutzbaren Vorteile sie hinsichtlich der genannten Aspekte bieten.

Die nachfolgenden Abschnitten gehen daher anhand der Monitoringergebnisse der sechs betrachteten Gebäude und Anlagen auf die Punkte Energieertrag und Anlageneffizienz der Anlagen ein. Die dokumentierten Ergebnisse stellen daher nicht Ziel- oder Richtwerte für andere Projekte dar, vielmehr sollen Optimierungserfolge und -potenziale sowie Möglichkeiten und Grenzen der Erdwärmesysteme aufgezeigt werden.

3.1 Jahresarbeitszahl

Um im Rahmen der Auswertungen eine einheitliche Basis zu gewährleisten, werden im Vorfeld Bilanzgrenzen für die Bildung der Jahresarbeitszahl (JAZ) definiert (Abb. 2). In diesem Beitrag wird die JAZ 2 betrachtet. Sie ergibt sich aus:

$$JAZ\ 2 = \frac{\text{Wärme – bzw. Kältebereitstellung der Wärmepumpe sowie freie Kühlung}}{\text{Strom des Verdichters der Wärmepumpe und Umwälzpumpe erdseitig}}$$

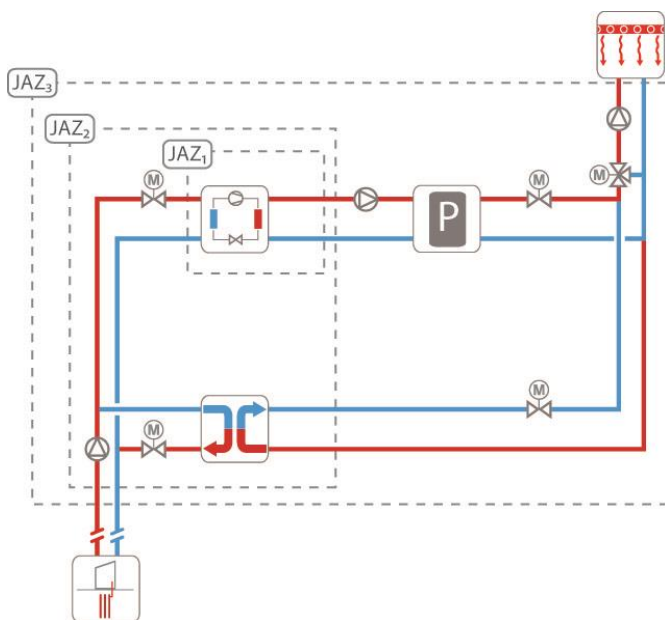


Abb. 2: Bilanzgrenzen für die Bildung der Jahresarbeitszahl

Mit Jahresarbeitszahlen kleiner 3 war der Betrieb von einigen der untersuchten Anlagen zu Beginn des Monitorings unter primärenergetischen Gesichtspunkten nicht so effizient wie geplant. Durch Erkenntnisse aus dem Monitoring konnten die Systeme und ihr Betrieb soweit optimiert werden, dass alle Anlagen mittlerweile Jahresarbeitszahlen zwischen 3 und 6 erreichen (Abb. 3 und Abb. 4). Größere Differenzen, wie z. B. beim Büro 2 oder Büro 4, sind in der Regel auf Optimierungen und/oder Änderungen an der Hydraulik zurückzuführen. Demgegenüber sind leichte Schwankungen meist durch einen vom Wetter variierenden Verbrauch sowie variierenden Untergrundtemperaturen zurückzuführen. Entscheidenden Einfluss auf die Jahresarbeitszahl für den Kühlfall hat der Anteil des sehr effizienten freien Kühlbetriebs im Verhältnis zum aktiven Kühlbetrieb über die reversible Wärmepumpe.

Dass sich Qualitätssicherung und ein Monitoring schon von der Inbetriebnahme an auszahlen, zeigen die Ergebnisse von Büro 1, Büro 3 sowie dem MFH und der Schule. Hier wurden Jahresarbeitszahlen bis zu 5 erreicht. Aber auch nach der Einregulierungsphase ist ein Monitoring sinnvoll: Beim Büro 4 konnte dadurch festgestellt werden, dass nach Ende des Forschungsprojektes und der Optimierungsphase (2010/2011) die Arbeitszahlen wieder auf Werte unter 3 absanken. Die Gründe lagen und liegen in der Anlagentechnik.

Auf Grundlage der Auswertungen kann zusammenfassend festgestellt werden, dass

- der überwiegende Teil der Gebäude die in der Planung ermittelten Verbräuche aufweist und keine größeren Abweichungen auftreten,
- die Wärmepumpenanlagen zuverlässig und nach ggf. notwendigen Anpassungen effizient arbeiten,
- im Heizbetrieb Jahresarbeitszahlen größer 3 erreicht werden und
- bei vorrangig aktiver Kühlung (rev. Wärmepumpe) für den Kühlbetrieb JAZ um 4 zu erreichen sind. – Demgegenüber resultiert die freie Kühlung in JAZ um 40 und darüber.

Als Ursachen für niedrige Arbeitszahlen konnten u. a.

- ein Dauerbetrieb der Anlage (Laufzeiten),
- Überschneidung der Betriebsmodi Heizen und Kühlen (aktiv und/oder freie Kühlung),
- nicht zurückgesetzte, temporär angedachte Änderungen in der Regelung und
- fehlerhafte Messtechnik

identifiziert werden.

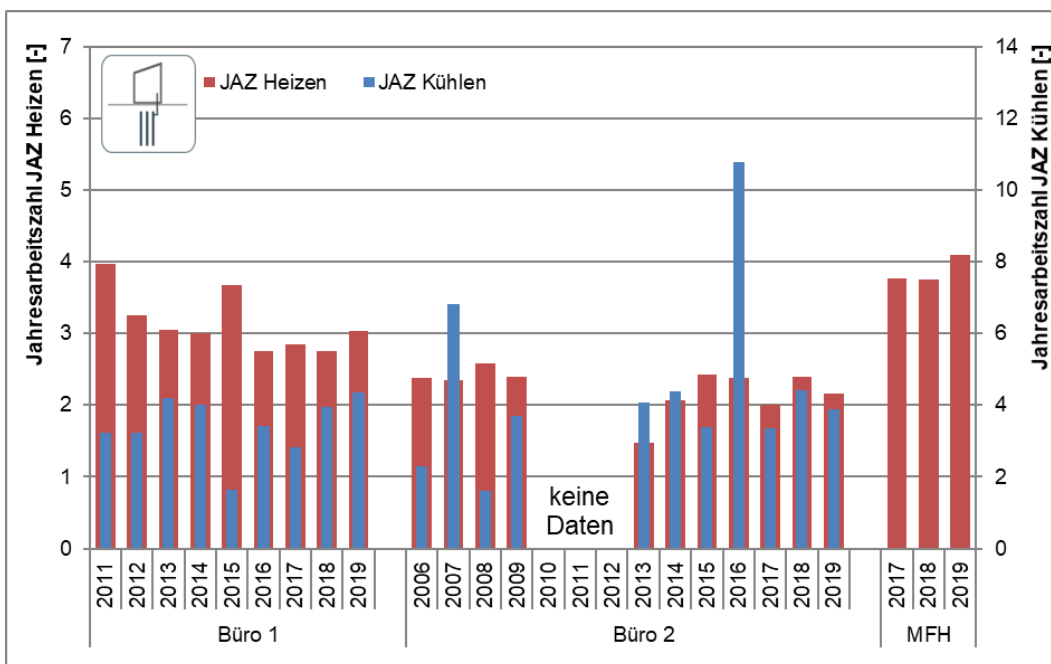


Abb. 3: Jahresarbeitszahlen Heizen und Kühlen zu den im Monitoring untersuchten Gebäuden mit Erdwärmesonden

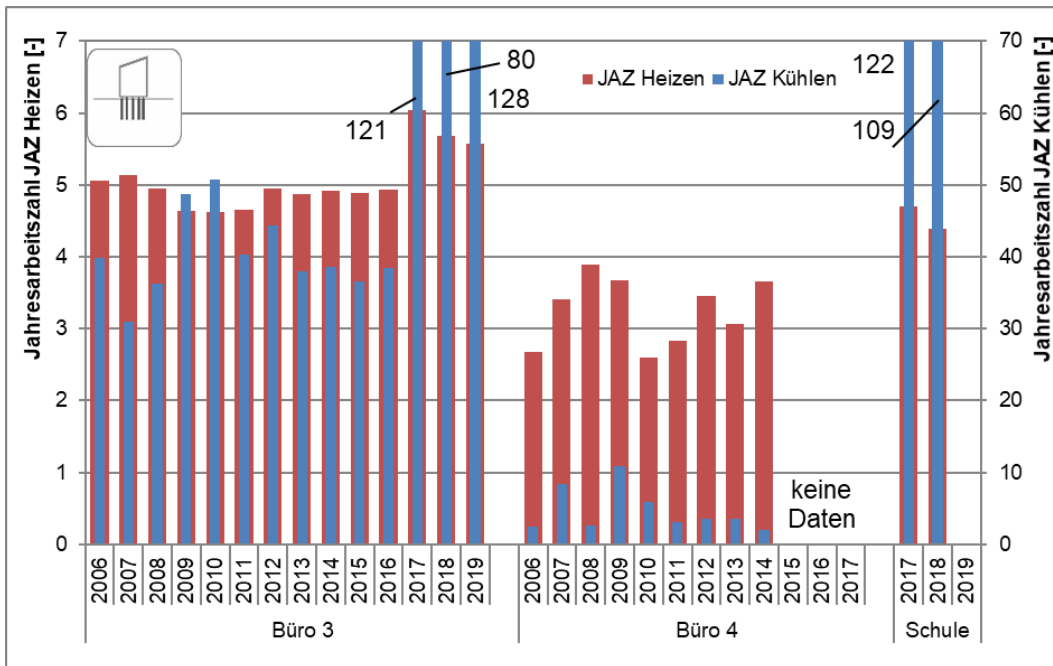


Abb. 4: Jahresarbeitszahlen Heizen und Kühlen zu den im Monitoring untersuchten Gebäuden mit Energiepfählen

3.2 Wärmeentzug und -eintrag

Die Entzugsmengen an Wärme entsprechen in etwa den Werten der Planung. Demgegenüber weicht der Wärmeeintrag bei einigen Anlagen zum Teil erheblich von der Konzeption ab (Abb. 5 und Abb. 6). Ursachen hierfür sind Fehler in der Betriebsführung oder ein für einen freien Kühlbetrieb zu hohes Temperaturniveau im Erdreich infolge von Betriebsfehlern unmittelbar nach der Inbetriebnahme. Zur Erzielung eines über die Jahre ausgeglichenen Temperaturniveaus ist bei einigen Anlagen gegenüber dem Wärmeeintrag ein höherer Wärmeentzug erforderlich. Anhand der Messergebnisse kann festgestellt werden:

- Büro 1: In den ersten Betriebsjahren ist der Wärmeeintrag deutlich größer als der Wärmeentzug, eine ausgeglichene Wärmebilanz liegt nicht vor. Dem Erdreich muss deutlich mehr Wärme entzogen und/oder weniger Wärme zugeführt werden. Anpassungen an der Wärmepumpe konnten deren Effizienz steigern. Durch die Auslagerung der Server und der damit verbundenen Kühlung wurde der Wärmeeintrag reduziert und eine annähernd ausgeglichene Bilanz erreicht.
- Büro 2: Durch Optimierungen innerhalb der gesamten Anlage konnte der Wärmeentzug gesteigert und durch eine Erhöhung des Anteils freier Kühlung (Reduzierung des Betriebs der rev. Wärmepumpe) der Wärmeeintrag in das Erdreich reduziert werden.
- Büro 3: Dem Erdreich wurde etwa zweimal mehr Wärme entzogen als im Sommer zugeführt. Wärmeentzug und -eintrag sind in den Jahren 2013 bis 2018 deutlich reduziert. Der Grund waren Fehler an der Wärmepumpe sowie Steuer- und Regelungstechnik.
- Büro 4: Der planmäßige Heiz- und Kühlbetrieb wurde im Jahr 2009 realisiert. Ab 2014 wurde der Wärmeentzug durch ein neues Steuerungssystem und neue Software für die Wärmepumpe reduziert. Nach der Softwareumstellung konnte im Rahmen der messtechnischen Betreuung ein planmäßiger Betrieb jedoch nicht wiederhergestellt werden.
- Schule: Seit der Inbetriebnahme fanden auf Basis der Ein- sowie Austrittstemperaturen Anpassungen an den Regelstrategien der beiden Quellen statt. Der zu Beginn umgesetzte ganzjährige, ineffiziente parallele Dauerbetrieb wurde durch eine Prioritätenverteilung (Hinzu-/

Abschaltung einer Quelle) ersetzt. In der Heizperiode greifen die Wärmepumpen vorrangig auf die Energiepfähle zurück. Im Anschluss erfolgt der Wärmeentzug aus dem Agrothermiefeld. Für die Kühlperiode ist eine umgekehrte Priorität vorgesehen: Vorrangig agiert hier das Agrothermiefeld, im Anschluss werden die Bohrpfähle angesteuert, um eine Regeneration der Energiepfähle zu gewährleisten. Für eine Bewertung der Leistungsfähigkeit des Agrothermiefeldes wurden die Energiepfähle in der Heizperiode 18/19 deaktiviert. Es hat sich gezeigt, dass das Feld bis einschließlich Dezember als alleinige Quelle für die Wärmepumpen dienen kann.

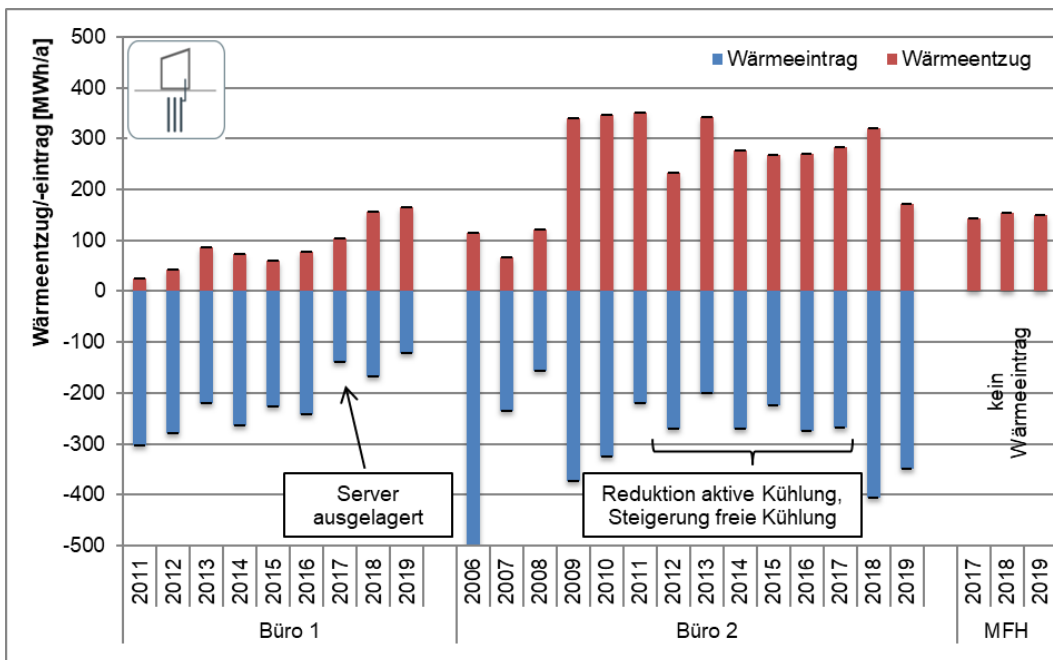


Abb. 5: Jährlicher Wärmeeintrag und -entzug der Erdwärmesondenanlagen

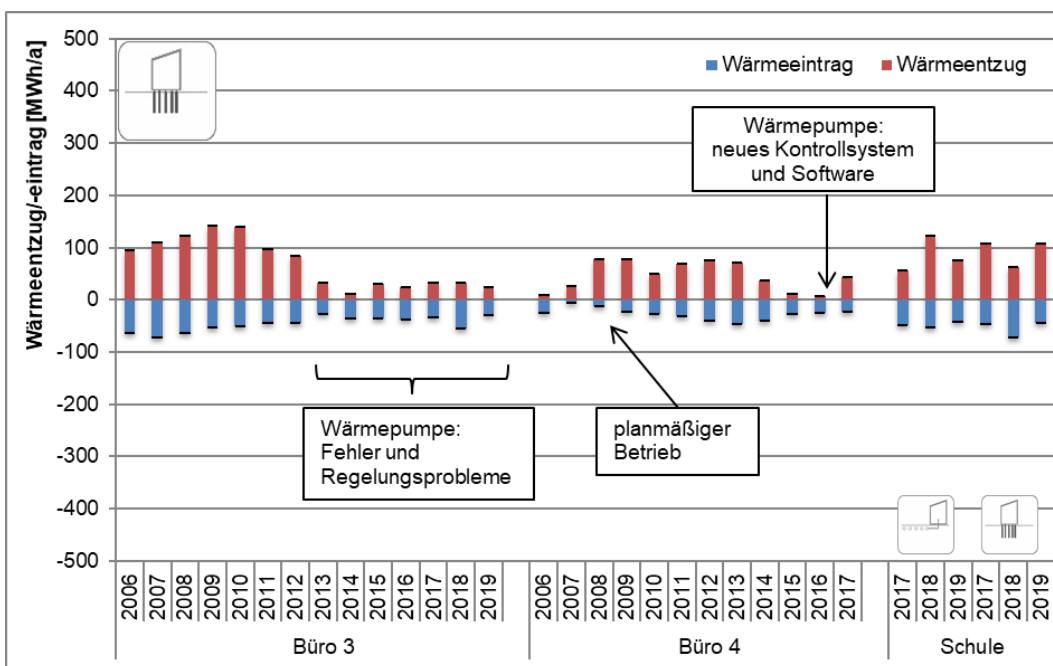


Abb. 6: Jährlicher Wärmeeintrag und -entzug der Energiepfahlanlagen

3.3 Temperaturniveau Erdreich

Die Betriebsweise der Wärmepumpe und die dazugehörigen Temperaturniveaus von Quelle und Senke haben einen entscheidenden Einfluss auf die Jahresarbeitszahl. So wirken sich z. B. niedrige Austrittstemperaturen der Quellsysteme oder hohe Vorlauftemperaturen im Gebäude negativ aus. Hinsichtlich der Vorlauftemperaturen der untersuchten Gebäude sollten hier angemessene Temperaturen vorherrschen, da in den betrachteten Gebäuden überwiegend Niedertemperaturübergabesysteme zur Konditionierung der Gebäude verwendet werden. Der Verlauf der Ein- und Austrittstemperaturen aus den Erdwärmesonden oder Energiepfählen folgt der Heiz- und Kühlperiode. Im Laufe der Heizperiode sinkt die Erdreichtemperatur bedingt durch den Wärmeentzug sowie den niedrigen Außentemperaturen. In der Kühlperiode steigt die Temperatur entsprechend der Außentemperatur sowie infolge des Wärmeeintrags wieder an. (Beispiel Abb. 7)

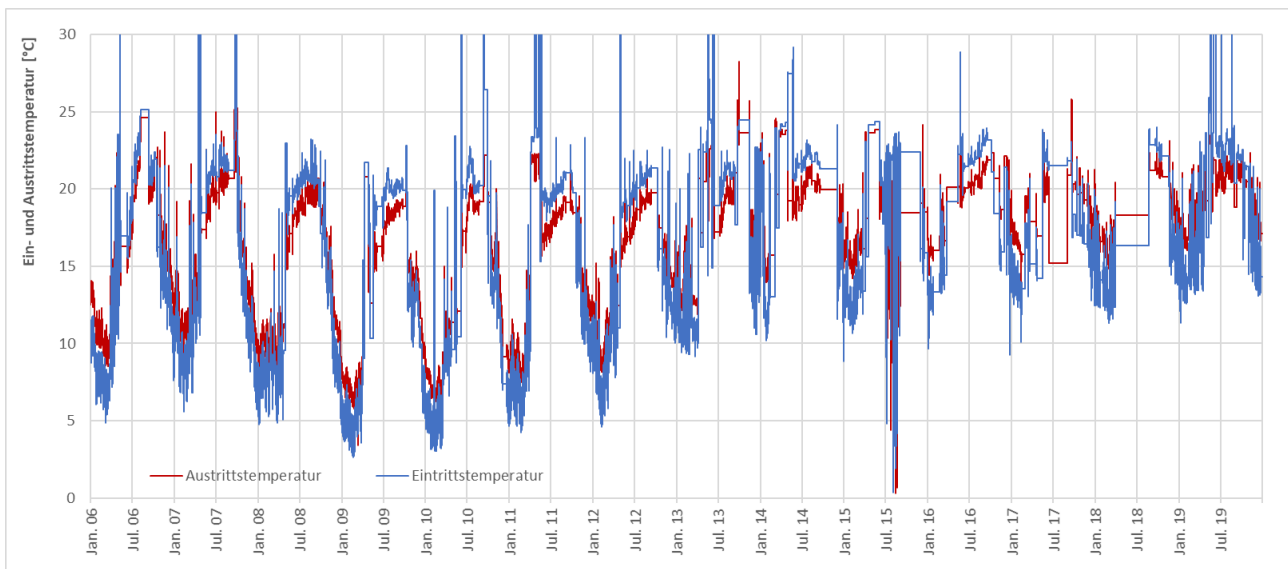


Abb. 7: Beispiel Büro 3: Stundenmittelwerte der Ein- und Austrittstemperatur der Energiepfählanlage während der Betriebszeit der Anlage

In den Abbildungen 8 und 9 sind die durchschnittlichen Temperaturbereiche der gemessenen Austrittstemperaturen und deren durchschnittliche Häufigkeit im Messzeitraum aufgetragen. Die Temperaturen repräsentieren das Temperaturniveau, das sowohl den Wärmepumpen im Heiz- oder Kühlfall der freien Kühlung, als auch den reversiblen Wärmepumpen als Quelltemperatur zur Verfügung gestellt wurde. In den Abbildungen ist zusätzlich das maximale bzw. minimale Temperaturniveau gekennzeichnet, welches gemäß der Auslegung im Gebäude für die Raumheizung und -kühlung über die Wärmepumpe bereitgestellt werden sollte. Anhand der ausgewerteten Austrittstemperaturen aus den Erdwärmesonden oder Energiepfählen ist festzustellen, dass

- die Austrittstemperaturen aus den Wärmeübertragern immer größer als 4 °C sind. Eine Ausnahme stellt das Agrothermiefeld mit 1°C dar. Bei den Energiepfählanlagen sind keine Temperaturen unter 5°C im Austritt des geothermischen Systems festzustellen. Dies beruht darauf, dass aus statischen Sicherheitsgründen kein Medium mit Temperaturen unter 3°C in die Energiepfähle eingetragen werden darf. Die Wärmepumpen gehen zuvor automatisch außer Betrieb.
- das Erdreich bei aktiver Kühlung durch die hohen Rücklauftemperaturen deutlich erwärmt wird. Die Austrittstemperaturen steigen in den Sommermonaten bis auf 29 °C an.

- die Vorlauftemperaturen für die Raumheizung im Mittel gemäß Planung zwischen 26 und 40 °C (Trinkwarmwasser 60°C) liegen, die Kühlung bedarf rund 16°C.
- der Temperaturhub bei den Wärmepumpen im Heizfall im Mittel 16 bis 32 K beträgt. Maximal musste ein Hub von 56 K überwunden werden.

An einigen Anlagen ist festzustellen, dass das Temperaturniveau im Erdreich deutlich außerhalb des Temperaturbereichs liegt, in dem das Potential der freien Kühlung nutzbar ist. In diesen Fällen ist entweder ein vermehrter Einsatz der reversiblen Wärmepumpe von Nöten oder die geforderte Kühlleistung kann nicht an das Gebäude übergeben werden. Eine Fehlerbehebung und die thermische Regeneration des Erdreichs erfordern je nach Projektstatus zum Teil mehrere Jahre.

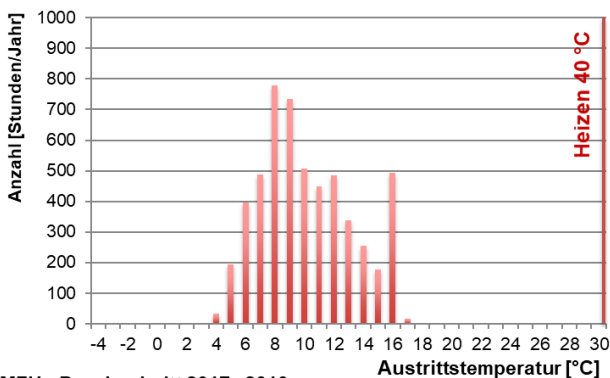
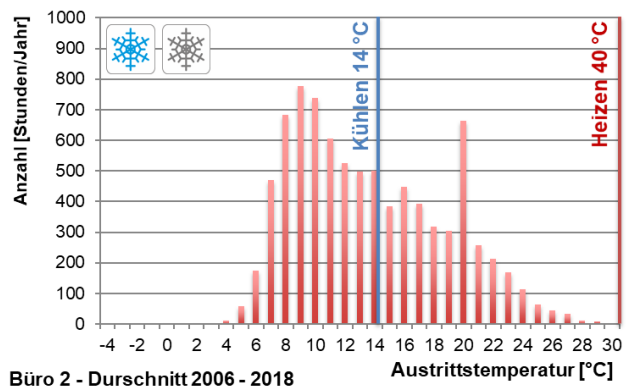
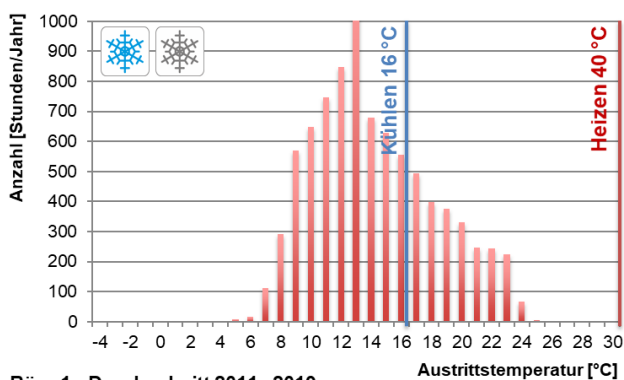
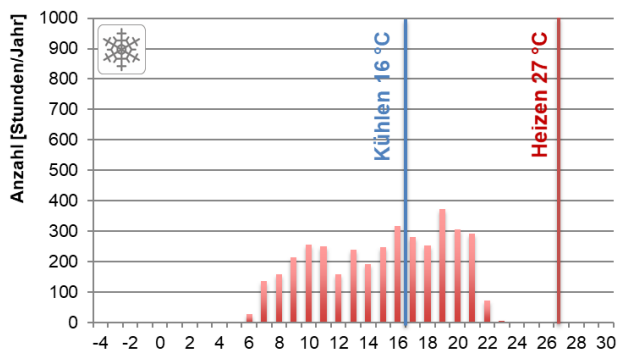
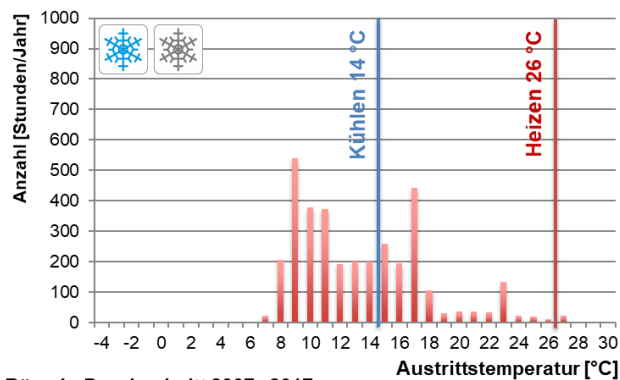


Abb. 8: Austrittstemperatur aus den Erdwärmesondenfeldern sowie gebäudeseitige Vorlauftemperaturen im Heiz- und Kühlfall (blaue Schneeflocke = aktive Kühlung, graue Schneeflocke = freie Kühlung)



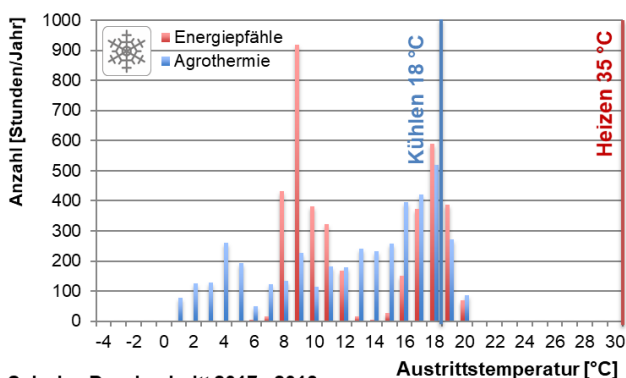
Büro 3 - Durchschnitt 2006 - 2019

Austrittstemperatur [°C]



Büro 4 - Durchschnitt 2007 - 2017

Austrittstemperatur [°C]



Schule - Durchschnitt 2017 - 2018

Austrittstemperatur [°C]

Abb. 9: Austrittstemperatur aus den Energiepfähle sowie gebäudeseitige Vorlauftemperaturen im Heiz- und Kühlfall (blaue Schneeflocke = aktive Kühlung, graue Schneeflocke = freie Kühlung)

4. Schlussfolgerungen

Neben der Reduzierung des Energiebedarfs von Gebäuden ist die nachhaltige - z. B. CO₂-neutrale - Deckung des Energiebedarfs ein Schwerpunkt in Forschung und Entwicklung. Unter dem Gesichtspunkt der Nutzung regenerativer Energien und einer energieeffizienten Bauweise wird für Beheizung und Kühlung sowohl von modernen Büro- und Verwaltungsgebäuden als auch von Mehrfamilienhäusern in den letzten Jahren zunehmend das Erdreich als Wärme- und Kältelieferant in Zusammenhang mit einer Wärmepumpe ins Energiekonzept mit eingebunden. Die Wärmepumpentechnologie wird daher bei der zukünftigen Wärme- und Kälteversorgung weiterhin eine wesentliche Rolle spielen.

Die Erfahrungen und Ergebnisse aus den Projektbegleitungen zeigen, dass es möglich ist, geothermische Anlagen in innovative Energiekonzepte verschiedener Gebäudetypen zu integrieren. Es bedarf allerdings einer Einregulierungsphase, während der das direkte Zusammenspiel zwischen geothermischer Anlage, dem Gebäude, weiteren Anlagen zur thermischen Konditionierung und nicht zuletzt den Nutzern optimiert wird. Fehlende Erfahrungen bei ausführenden Firmen und den Betreibern der Anlagen verlängern diese Einregulierungsphase häufig deutlich. Im Vergleich zu konventionellen Heiz- und Kühlsystemen unterliegen geothermische Niedertemperaturquellen aufgrund ihrer Trägheit und des Zusammenspiels von Grund- und Spitzenlastkomponenten komplexeren Zusammenhängen hinsichtlich der Aufdeckung von System- und Betriebsfehlern. Anhand des vorgestellten Langzeitmonitorings kann gezeigt werden, dass für einen dauerhaft effizienten Betrieb von Energiepfahl- und Erdwärmesondenanlage bereits bei Planung und Ausführung aber auch während des Betriebes ein hoher Qualitätsstandard einzuhalten ist. Voraussetzung für die dauerhafte Funktionsfähigkeit eines Erdwärmesystems ist dabei eine fehlerfreie, an die geologischen und klimatischen Bedingungen angepasste Betriebsweise. Ein

Fehlbetrieb kann je nach Art und Umfang schwerwiegende und langfristige Einschränkungen für den weiteren Betrieb und die Effizienz der Anlage hervorrufen.

Wesentliche Punkte der durchgeführten Mängel- und Fehlerbeseitigung an den messtechnisch untersuchten Gebäuden und Anlagen und hierbei aufgetretene Probleme umfassen:

- fehlerhafter Einbau oder Regelung von Hydraulikkomponenten wie z. B. Rückschlagklappen, Ventile und Pumpen,
- Dimensionierungs- und Auslegungsmängel: falsch bemessene Anlagenkomponenten, wie Plattenwärmetauscher und Umwälzpumpen,
- mangelhafter Abgleich zwischen einzelnen Anlagenteilen wie z. B. fehlerhafte technische und betriebliche Integration der Systembausteine zu einem Gesamtsystem oder falsche Priorisierung der vorhandenen Wärmequellen nach Grund- und Spitzenlast. Beispielsweise wurde der erforderliche Wärmebedarf über andere Quellen wie Fernwärme oder interne Lasten gedeckt, anstatt das Erdreich zu nutzen, was zu unausgeglichenen Energiebilanzen im Erdreich führt. Des Weiteren funktionierten einzelne Anlagen nicht zuverlässig, so dass kein kontinuierlicher und kontrollierter Wärmeentzug und -eintrag in das Erdreich gewährleistet werden konnte, sodass es zu einer Überhitzung oder Auskühlung des Erdreichs kam.
- keine kontinuierliche Überwachung und Anpassung der Anlage an veränderte Bedingungen, z. B. veränderte Sollwerte, Heiz- und Kühlkurven oder Regel- und Freigabegrenzen.
- Versäumnisse, temporäre Änderungen wieder zurückzusetzen.

Die im Rahmen des Projektes erarbeiteten Optimierungsmaßnahmen greifen infolge der Trägheit der geothermischen Quellen nur langsam und müssen fortlaufend kontrolliert werden. Der Projektverlauf zeigt, dass für die Betreuung und die Fortsetzung der Betriebsoptimierungen ein gewisser Aufwand zu berücksichtigen ist. Dieser ist in die Kosten für das Gebäudemanagement einzukalkulieren.

Neben den diskutierten Aspekten sollte für künftige Anlagen beachtet werden:

- kontinuierlicher und frühzeitiger Austausch zwischen Architekt, Gebäudetechnikplaner und geothermischer Planung.
- Abstimmung der Regelstrategien einzelner Anlagenteile aufeinander und messtechnische Überwachung der Einhaltung des Regelbetriebs
- Qualitätsüberwachung und -sicherung während der Bauphase sowie umfassende Endkontrolle und Inbetriebnahme nach Fertigstellung.
- Durchführung einer Einregulierungsphase, während der das Zusammenspiel zwischen geothermischer Anlage und allen Anlagenteilen zur thermischen Konditionierung des Gebäudes optimiert wird.
- Betriebsüberwachung zur Aufdeckung und Behebung von Fehlern und Fehlfunktionen.

Daher gilt: Erdgekoppelte Wärmepumpenkonzepte zum Heizen und Kühlen sollten so einfach wie möglich - und nur so komplex wie nötig – installiert werden.

Quellenangaben

BOCKELMANN, F., KIPRY, H., FISCH, M. N.: „WKSP – Wärme- und Kältespeicherung im Gründungsbereich energieeffizienter Bürogebäude“, Abschlussbericht: BMWi Fkz 032736A, November 2010, Braunschweig

BOCKELMANN, F., KIPRY, H., FISCH, M. N.: „Erdwärme für Bürogebäude nutzen“, BINE-Fachbuch, Fraunhofer IRB Verlag, ISBN 978-3-8167-8325-1, 2010

BOCKELMANN, F., FISCH, M. N., ET AL: „geo:build - Systemoptimierung erdgekoppelter Wärme - und Kälteversorgung von Bürogebäuden - reversible Wärmepumpen und freie Kühlung“, Abschlussbericht: BMWi Fkz O3ET1024A, Dezember 2015, Braunschweig

BOCKELMANN, F.: Diverse Monitoringberichte der Gebäude, Braunschweig

Mühlenpfordtstraße 23, 38106 Braunschweig
franziska.bockelmann@stw.de