

6. Lösungsoptionen für weitere typische Gebäude

Es ist schwierig, eine pauschale Aussage darüber zu treffen, ob die hier präsentierten Lösungsoptionen auf ähnliche Gebäude übertragbar sind. Dies liegt unter anderem daran, dass sich die zu sanierenden Gebäude nicht nur in ihrer Architektur, sondern auch in ihrem Standort und dessen spezifischen Eigenschaften wie z. B. Bodentemperatur, Grundwasserergiebigkeit, geographische Ausrichtung etc. unterscheiden. Dennoch wurde in diesem Kapitel versucht, die derzeit relevanten Möglichkeiten der Heizungssanierung darzustellen und die Vor- bzw. Nachteile im Hinblick auf unterschiedliche Zielsetzungen zu strukturieren.

Als Zielvorgabe der Wärmeerzeugung wurde im Rahmen des Projektes definiert, die möglichen Quellen dem prognostizierten Bedarf zuzuordnen und ein möglichst effizientes Gesamtsystem zu errichten. Zudem sind die Vor- und Nachteile einer multivalenten Energieversorgung und das Herausarbeiten von technisch sinnvollen Systemkombinationen im Fokus der Arbeit gestanden.

6.1. Kurzzusammenfassung der Optionen zu Wärmequellen, Wärmeabgabe und Warmwassererzeugung

Einleitend werden die Optionen der Wärmeabgabesysteme und Warmwassererzeugung sowie der Wärmequellen allgemein zusammengefasst und im Anschluss typische Wärmequellenkombinationen als Ergebnis diskutiert.

6.1.1 VARIANTEN DES WÄRMEABGABESYSTEMS UND DER WARMWASSERERZEUGUNG

Generell steht man vor der Herausforderung, das Temperaturniveau der Verteilleitungen abzusenken, um die damit einhergehenden Verteilverluste zu minimieren. Insbesondere die zentrale Warmwasserbereitung mit einer zusätzlichen Zirkulationsleitung bietet großes Einsparungspotenzial, da bei dem herkömmlichen System mit zwei Heißwasserleitungen von der Zentrale bis zu den einzelnen Wohnungen hohe Wärmeverluste entstehen. Insbesondere dann, wenn diese Leitungen eine unzureichende Wärmedämmung aufweisen. Dadurch ist es sinnvoll, die Warmwasserbereitung dezentral in die Wohnungen zu verlegen. Systeme, die derzeit für die Wärmeabgabe und die Warmwassererzeugung im Zuge einer Sanierung möglich wären, sind:

- Variante 01: Radiatoren und Frischwasserstation
- Variante 02: Radiatoren und E-Speicher mit Wärmeübertrager
- Variante 03: Radiatoren und Brauchwasser-Wärmepumpe
- Variante 04: Kleinst-Wärmepumpe und Brauchwasser-Wärmepumpe
- Variante 05: Klein-Wärmepumpe und Bestandsabgabesystem

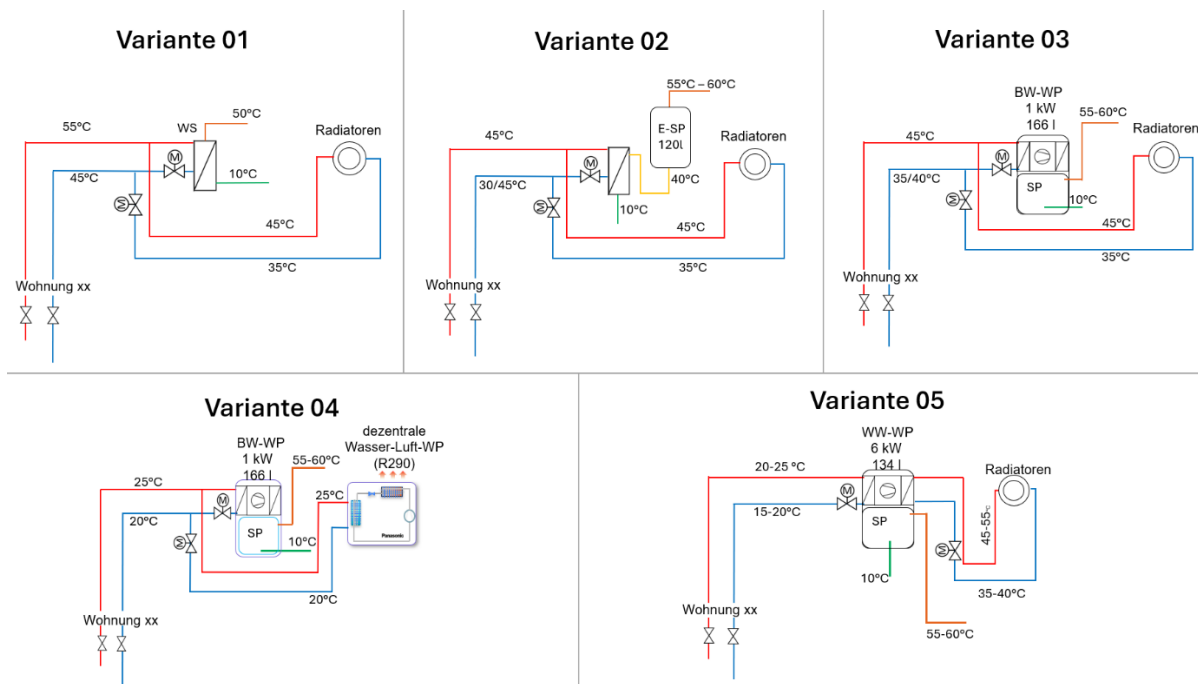


Abbildung 78: Schematische Darstellung der möglichen Varianten des Wärmeabgabesystems und der Warmwassererzeugung (eigene Darstellung).

In Abbildung 78 sind die Varianten 01 bis 05 der Wärmeabgabesysteme und der Warmwasserbereitung schematisch dargestellt. Der einfachste Weg, die Warmwasserbereitung zu dezentralisieren, bieten Frischwasserstationen wie in Abbildung 78 (Variante 01) ersichtlich. Hierfür wird das heiße Verteilnetz der Heizung genutzt, um das Frischwasser über einen Wärmeübertrager zu erwärmen. Die herkömmlichen Radiatoren können in dem Fall für die Wärmeabgabe beibehalten werden. Wenn die Gebäudehülle nicht thermisch saniert wird und die Transmissionswärmeverluste gleichbleiben, müssen die Bestandsradiatoren bei Absenken der Vorlauftemperatur auf 55 °C auf die geänderte Wärmeabgabeleistung geprüft werden. Radiatoren vom Typ 10 (ohne Konvektionsbleche) müssen beim Absenken der Vorlauftemperatur jedenfalls getauscht werden.

Bei Variante 02 und 03 wird die Vorlauftemperatur auf 45 °C gesenkt. Für die Warmwasserbereitung wird nun entweder ein E-Speicher oder eine dezentrale Wärmepumpe notwendig, um die erforderliche Mindesttemperatur des Warmwassers von 55 °C zu erzeugen. Die Radiatoren können, wenn deren Leistung ausreicht, bei einer thermischen Sanierung beibehalten werden. Die Wärmeabgabe der Bestandsradiatoren ist für jeden Raum zu prüfen und die neue Abgabeleistung bei verringerter Vorlauftemperatur zu errechnen. Hierfür werden die Abmessungen und Typ der Radiatoren benötigt. Alternativ kann auch das Datenblatt die notwendigen Informationen liefern. Ist die Leistung der Bestandsradiatoren kleiner als die für den spezifischen Raum erforderliche, muss ein Tausch erfolgen.

Variante 04 der Abbildung 78 ermöglicht eine weitere Reduktion der Vorlauftemperatur auf 25 °C. Die Warmwassererwärmung findet wie bereits in Variante 03 über eine dezentrale Wärmepumpe statt. Die Bestandsradiatoren werden bei dieser Variante durch Kleinst-Wärmepumpen ersetzt. Diese werden über das 25 °C warme Netz mit Wärme versorgt. Zusätzlich wird ein Stromanschluss neben jedem Radiator benötigt. Eine Kühloption ist durch die Kleinst-Wärmepumpen gegeben.

In Variante 05 ist das Verteilnetz auf Quelltemperatur bzw. etwas darüber. Die Warmwasser- und Heizwärmeerzeugung für die Wohnung wird in diesem Fall dezentral von einer Wärmepumpe mit höherer Leistung bereitgestellt. Die Bestandsradiatoren können wie für Variante 02 und 03 beibehalten werden, wenn das Gebäude thermisch saniert wird. Ansonsten ist die Abgabeleistung zu prüfen. Bei reversiblen Wärmepumpen ist für Variante 05 eine Kühloption gegeben.

In den Varianten 04 und 05 erfolgt der Großteil der Wärmeerzeugung direkt in der Wohnung. Dadurch lassen sich Verteilverluste deutlich reduzieren – ein Vorteil insbesondere bei vielen Wohneinheiten und langen Leitungswegen. Bei wenigen Wohneinheiten und/oder kompakter Bauweise hingegen fallen die Leitungsverluste geringer aus. In solchen Fällen empfiehlt sich ein warmes Verteilnetz mit den Wärmeabgabe-Varianten 01 bis 03.

6.1.2 VARIANTEN DER WÄRMEQUELLE

Neben dem Wärmeabgabesystem ist die Wahl der Wärmequelle ein wichtiges Kriterium, um eine Heizungsanlage zu sanieren und dauerhaft effizient betreiben zu können. Folgende Auflistung zeigt die zurzeit gängigen Wärmequellen im Wohnbereich für die Wärmeerzeugung mittels Wärmepumpen.

- Variante 01: Umgebungsluft
- Variante 02: Erdwärmesonden
- Variante 03: Thermische Grundwassernutzung

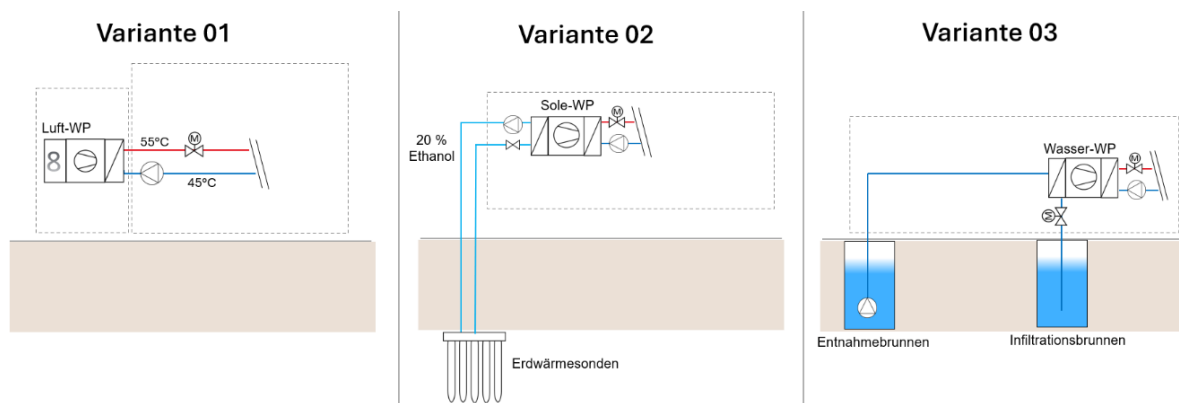


Abbildung 79: Schematische Darstellung der Varianten der Wärmequelle (eigene Darstellung).

In Abbildung 79 sind 3 Varianten als Wärmequellen aufgeführt:

Variante 01 - Umgebungsluft bietet die meiste Flexibilität, da der Aufstellungsort (bezogen auf die Wärmequelle) frei gewählt werden kann, ohne dass Leitungen für die Quellenseite benötigt werden. Darüber hinaus haben Luft-Wärmepumpen geringe Investitionskosten, wenn das Gerät allein (ohne Schallschutz) betrachtet wird. Die Effizienz ist bei Außenlufttemperaturen von über 8 °C gut. Allerdings sinkt die Effizienz über das Jahr gesehen wegen der sich verändernden Außentemperaturen. Dadurch entstehen auch höhere Betriebskosten im Vergleich zur Geothermie. Darüber hinaus muss geprüft werden ob für den gewählten Standort ein Schallschutz erforderlich ist.

Im städtischen Raum an stark befahrenen Straßen, wo der Nachtschallpegel über dem der Wärmepumpe liegt, ist in der Regel kein Schallschutz erforderlich. In ruhigen Zonen beispielsweise in Innenhöfen ist ggf. ein Schallschutz erforderlich.

Variante 02 zeigt Erdwärmenutzung als Wärmequelle für die Wärmeerzeugung. Vorteilhaft ist der gute COP über das ganze Jahr hinweg und die geringen Betriebskosten bei relativ geräuschem Betrieb im Vergleich zu Luft-Wärmepumpen. Allerdings ist die Herstellung der Sonden mit einem Aufwand verbunden, da ein entsprechendes Bohrgerät benötigt wird. Ebenfalls ist ein ausreichender Abstand der Sonden zueinander notwendig und entsprechende Fläche für das Sondenfeld notwendig.

Die thermische Nutzung von Grundwasser ist in **Variante 03** der Abbildung 79 dargestellt. Durch das Temperaturniveau von ca. 8-12 °C bietet sich die Grundwassernutzung für ein kaltes Verteilsystem ohne eine zentrale Wärmepumpe an. In Kombination mit einer dezentralen Wärmeerzeugung wie in Variante 04 und 05 aus Kapitel 6.1 ist dieses System mit geringsten Verteilverlusten sehr effizient. Eine Kühloption ist sowohl aktiv als auch passiv bei entsprechenden Wärmeaufnahme-systemen (Kleinst-Wärmepumpen) möglich. Mit Bestandsradiatoren kann allerdings nur wenig bis gar nicht gekühlt werden. Bei der Platzierung ist nicht nur auf einen ausreichenden Abstand zwischen den Entnahme- und dem Infiltrationsbrunnen zu achten, sondern auch auf bereits bestehende thermische Grundwassernutzungen in der Umgebung. Die thermischen Auswirkungen sind abhängig von der Entnahmeleistung und der Fließgeschwindigkeit des Grundwassers. Bei der Rückgabe des Wassers auf einem anderen Temperaturniveau entstehen Thermalfahnen, die sich bis zu mehreren hundert Metern Stromabwärts des Grundstücks auswirken können. Für die Errichtung eines Brunnens ist jedenfalls eine wasserrechtliche Bewilligung einzuholen.

6.2. Typische Wärmequellenkombinationen

Aus den Optionen der Wärmequellen werden die Vor- und Nachteile bei der Nutzung von typischen Wärmequellenkombinationen zusammenfassend dargestellt. Die Auswahl der Wärmequellen folgt entlang nachfolgender Kriterien (Details dazu siehe Kapitel 5.4):

- Temperaturniveau und Effizienz: „Je höher die Quelltemperatur, desto höher die Effizienz“
- Zeitliche Verfügbarkeit und Konstanz: Ganzjährig verfügbare Wärme oder nur saisonal
- Erschließungskosten
- Platzbedarf und räumliche Koppelung: z.B. Geothermie und verfügbare Technikfläche im Dachbereich und damit einhergehende zusätzliche Steigleitung
- Genehmigungsaufwand

Solarthermie wurde bei den Kombinationen ausgeschlossen, da derzeit keine Reduktion der zu installierenden Gesamtleistung durch eine Solarthermie-Anlage möglich ist. Eine Reduktion ist erst in Kombination mit Speichertechnologien, die eine Überbrückung von sonnenfreien Tagen gewährleisten, gegeben.

6.2.1 GEOTHERMIE UND LUFT

Ein kombinierter Betrieb von Variante 01 und 02 aus Abschnitt 6.1.2 (Luft und Geothermie) ist bezogen auf die Effizienz sinnvoll. In Abhängigkeit von der Außentemperatur können sowohl die Sole- als auch die Luftwärme-Pumpe mit hohen Arbeitszahlen betrieben werden. Gleichzeitig kann das Erdsondenfeld ökonomisch optimiert werden, da für die wenigen Stunden im Jahr, in denen eine hohe Leistung benötigt wird, die Luftwärme-Pumpe dazugeschaltet werden kann. In diesem Zeitraum wird bewusst ein energietechnisch ineffizienterer Betrieb der Luftwärme-Pumpe in Kauf genommen, um die Wirtschaftlichkeit des Gesamtsystems zu optimieren. Nachfolgend werden die Vor- und Nachteile zusammenfassend gegenübergestellt.

Vorteile:

- Ganzjährig hohe Effizienz der Wärmepumpe
- Free-Cooling-Option: Temperierungs- bzw. Kühlmöglichkeit bei gleichzeitiger Regeneration der Erdsonden
- Zusätzliche Regeneration über Luftwärme-Pumpe im Sommer möglich
- Geringere Investitionskosten für Wärmequellenerschließung durch Reduktion der Größe des Sondenfeldes

Nachteile:

- Investitionskosten Erdsonden
- Regeneration nötig zur langfristigen Erhaltung der Leistungsfähigkeit
- Soleleitung

6.2.2 GRUNDWASSER UND LUFT

Die zweite typische Systemkombination ist Umgebungsluft und Grundwasser, sofern der Standort für die Grundwassernutzung geeignet ist und keine anderen thermisch genutzten Brunnen in der Umgebung beeinträchtigt werden. Aus energietechnischer Sicht ist eine Brunnennutzung einer Geothermienutzung auf Grund der höheren Effizienz vorzuziehen. Luft hat sich aufgrund der permanenten Verfügbarkeit und der unkomplizierten Nutzung als eine sehr praktikable Zusatzquelle herauskristallisiert. Nachfolgend werden die Vor- und Nachteile zusammenfassend gegenübergestellt.

Vorteile:

- Höhere Quelltemperatur bei Grundwasser als bei Geothermie
- Keine Soleleitung erforderlich
- Kein Solekreislauf und dadurch geringere Wärmeverluste
- Effiziente Warmwasserbereitung im Sommer über Luft-Wärmepumpe
- Keine Regeneration notwendig
- Kühlmöglichkeit

Nachteile:

- Mindestabstand zwischen den beiden Brunnen und damit Mindestanforderungen an die Grundstücksgröße
- Genehmigungsverfahren
- Beeinflussung von bestehenden Nutzungsrechten
- Wartungsintensiver im Vergleich mit einem Sondenfeld (Geothermienutzung)

6.2.3 GEOTHERMIE UND GRUNDWASSER

Eine Kombination von Variante 02 und 03 aus Abschnitt 6.1.2 (Grundwasser und Geothermie) ist grundsätzlich möglich, allerdings ist die thermale Grundwassernutzung nicht für jeden Standort sinnvoll (siehe auch 6.1.2). Die Kombinationsmöglichkeit ist bei den drei ausgewählten Optionen die unüblichste und kommt dann zum Einsatz, wenn durch die Brunnennutzung eine signifikante Anzahl an Erdsonden und damit Bohrungen entfallen kann. Nachfolgend werden die Vor- und Nachteile zusammenfassend gegenübergestellt.

Vorteile:

- konstante Quelltemperatur bei Grundwasser
- Free-Cooling-Option: Temperierungs- bzw. Kühlmöglichkeit bei gleichzeitiger Regeneration der Erdsonden
- keine ganzjährige "Belastung" des Sondenfeldes
- geringere Kosten für Wärmequellenerschließung durch Reduktion der Größe des Sondenfeldes

Nachteile:

- Regeneration nötig zur langfristigen Erhaltung der Leistungsfähigkeit
- mögliche gegenseitige Beeinflussung Grundwasser/Erdsärmesonden
- Investitionskosten

6.3. Exkurs: Wärmespeicher

Im Gebäudebereich gibt es verschiedene Formen von Wärmespeichern, die zum Teil von vornherein vorhanden sind (thermische Masse des Gebäudes oder Erdsondenfeld bei Sole-Wärmepumpen) bzw. in der Haustechnik eingeplant werden (Warmwasser- und Heizungswärmespeicher). Darüber hinaus gibt es eine Vielzahl verschiedener weiterer Wärmespeicher. Hierzu zählen insbesondere Eisspeicher und Latentwärmespeicher, die sich in beiden Fällen das Phänomen der isothermen Phasenänderung von Wasser bzw. speziellen sogenannten Phase Change Materials (PCMs) zunutze machen. Zusätzliche Wärmespeicher werden dazu eingesetzt, die Energieflexibilität des Gebäudes zu erhöhen, den Eigenbedarf an lokal erzeugter Energie (etwa PV-Strom) zu maximieren und Kosten bzw. CO₂-Emissionen einzusparen. Prinzipiell können zusätzliche Wärmespeicher in mono- und multivalenten Systemen eingesetzt werden.

Eisspeicher und Latentwärmespeicher werden als zusätzliche Komponenten zu ohnehin bereits vorhandenen Pufferspeichern geplant und sind daher als reine Wärmespeicher gedacht, während standardmäßig eingeplante Pufferspeicher gleichzeitig verschiedene hydraulische Zwecke erfüllen (etwa als hydraulische Weiche). Pufferspeicher sind lediglich in sehr großen Gebäuden mit langen Leitungsnetzen entbehrlich, weil hier das in den Leitungen vorhandene Wasservolumen bereits zum Ausgleich von Bedarf und Erzeugung ausreicht. Der unmittelbarste limitierende Faktor für Eis- und Latentwärmespeicher ist der Platzbedarf, der insbesondere im mehrgeschoßigen Wohnbau im urbanen Bereich ein großes Hindernis darstellt. Am häufigsten werden Eis- und Latentwärmespeicher als Kurzzeitspeicher (Tagesspeicher) ausgelegt (vgl. REINHART UND ARNEMANN, 2022 sowie EICKER, 2022). Eisspeicher benötigen aufgrund der geringeren Speicherdichte etwa doppelt so viel Platz wie Latentwärmespeicher (Speicherdichte: ca. 50 bzw. 120 kWh/m³, vgl. ebd.). Der Einsatz derartiger Speicher hängt also hauptsächlich von der Platzverfügbarkeit ab, aber auch von den durch die erhöhte Entkoppelung von Wärmeerzeugung und -bedarf (etwa zur Steigerung des Eigenverbrauchs bei Vorhandensein von Anlagen zur Nutzung von Sonnenenergie) erwarteten Kosteneinsparungen. Eine Sonderform von Latentwärmespeichern sind bauteilintegrierte Latentwärmespeicher, die in der Bauphase direkt in Gebäudeteile eingelassen werden. Hier agieren sie als Puffer zur Verringerung von Temperaturschwankungen und können als Wärme- oder Kältespeicher betrieben werden (vgl. BLAND ET AL., 2017). Diese Systeme sind noch relativ neu und daher nur in Demonstrationsobjekten probeweise umgesetzt (vgl. etwa WEINLÄDER ET AL., 2019).

Die thermische Masse des Gebäudes als Wärmespeicher ist eine von der Bauweise des Objekts abhängige Größe. Gebäude in massiver Bauweise (etwa Stahlbeton- oder Ziegelbauten) haben ein höheres Speicherpotenzial als Gebäude in leichter Bauweise (etwa Fertigteiltbauten in Holzskelettbauweise). Die Wärmezufuhr kann indirekt über freie Heizflächen (Heizkörper) oder direkt über Flächenheizungen oder Bauteilaktivierungen erfolgen. Die gezielte Be- bzw. Entladung kann mithilfe wetterprognosebasierter Ansätze erfolgen, die einen vorausschauenden Betrieb des Heiz- bzw. Kühlsystems erlaubt und zudem Energie- und Kosteneinsparungen ermöglicht. Dieser Ansatz wird etwa im Projekt *ZQ3Demo* im Versuchsquartier Campo Breitenlee erprobt (vgl. FFG, S. A. B).

Erdsondenfelder sind eine Sonderform thermischer Speicher, da diese nicht gänzlich geschlossene Systeme darstellen. Sie haben allerdings den Vorteil, dass sie längerfristig Wärme speichern können und somit die einzige verbreitete Form saisonaler Wärmespeicher sind. In diesem Zusammenhang kommt der ausreichenden Regeneration besondere Bedeutung zu. Zusätzlich haben Wärmeflüsse im Untergrund eine Auswirkung auf den Speicherhaushalt, die unter dem Sammelbegriff natürliche Regeneration subsumiert sind. Diese umfasst Wärme-Zu- und -Abflüsse durch Bewegungen von Wasser (Niederschlag/Grundwasser) sowie Wärmezuflüsse aus dem Erdinneren (vgl. RIVERA ET AL., 2015). In der wissenschaftlichen Literatur wird ein Unterschied zwischen klassischen Erdsondenfeldern zur Gebäudetemperierung und eigens für die Wärmespeicherung ausgelegten Sondenfeldern gemacht (vgl. etwa AHMADFARD UND BANIASADI, 2025): durch die gezielte Beladung in der warmen Jahreszeit können die Sonden in Erdwärmespeichern enger gesetzt werden (mind. 2 m Abstand) und die Durchströmung erfolgt derart, dass in der Mitte liegende Sonden stark und am Rand liegende Sonden weniger stark beladen werden, sodass eine Temperatur-Stratifizierung nach außen hin mit hohen Temperaturen in Innenbereich entsteht.