

Erdsonden- und Aquifer-Wärmespeicher in Deutschland

Thomas Schmidt¹⁾, Hans Müller-Steinhagen¹⁾²⁾³⁾

¹⁾Solar- und Wärmetechnik Stuttgart (SWT),
Ein Forschungsinstitut der Steinbeis-Stiftung
Pfaffenwaldring 10, D-70550 Stuttgart
Tel.: 0711-685-3299, Fax: 0711-685-3242

Email: schmidt@swt-stuttgart.de, Internet: www.swt-stuttgart.de

²⁾Institut für Thermodynamik und Wärmetechnik (ITW), Universität Stuttgart

³⁾Institut für Technische Thermodynamik (ITT), DLR Stuttgart

1. Einleitung

In Deutschland werden derzeit zur, vorwiegend saisonalen, Speicherung großer thermischer Energiemengen die vier Konzepte Heißwasser-, Kies/Wasser-, Erdsonden- und Aquifer-Wärmespeicher oder Mischformen aus diesen eingesetzt. Umgesetzte Beispiele der beiden letztgenannten Konzepte sind Thema dieses Beitrages. Sie werden auch als Untergrund-Wärmespeicher (englisch: Underground Thermal Energy Storage, UTES) bezeichnet. Speichermedium ist hierbei das Erdreich selbst. Der Wärmeein- und -austrag erfolgt beim Erdsonden-Wärmespeicher indirekt über Rohrschlangen, beim Aquifer-Wärmespeicher durch direkten Austausch von Grundwasser.

Anwendungsmöglichkeiten reichen von Hochtemperaturanwendungen, wie z.B. der Speicherung solarer Wärme oder industrieller Abwärme, bisher erfolgreich demonstriert bis zu Temperaturen von ca. 90 °C, über Kälteanwendungen bis nahe an den Gefrierpunkt bis zur kombinierten Wärme- und Kältespeicherung. Bei Letzterem wird beispielsweise zur Gebäudeklimatisierung sommerliche Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau in den Untergrund abgeführt und im Winter als Wärmequelle für eine Wärmepumpe wieder zur Gebäudebeheizung verwendet. Die dabei entstehende Kälte am Verdampfer der Wärmepumpe wird wiederum im Untergrund gespeichert und steht im Sommer zur Kühlung zur Verfügung. Weiteres zu möglichen Anwendungskonzepten kann [1, 2] entnommen werden.

2. Erdsonden-Wärmespeicher

Beim Erdsonden-Wärmespeicher wird die Wärme über Erdwärmesonden in den Untergrund ein- bzw. aus diesem ausgespeichert. Bild 1 zeigt verschiedene Typen von Erdwärmesonden sowie einen vertikalen Schnitt durch eine Erdwärmesonden-Bohrung. Geeignete Untergründe für Speicher dieser Art sind beispielsweise wasser-gesättigte Tone oder Tonsteine mit keiner oder nur geringer Grundwasserbewegung.

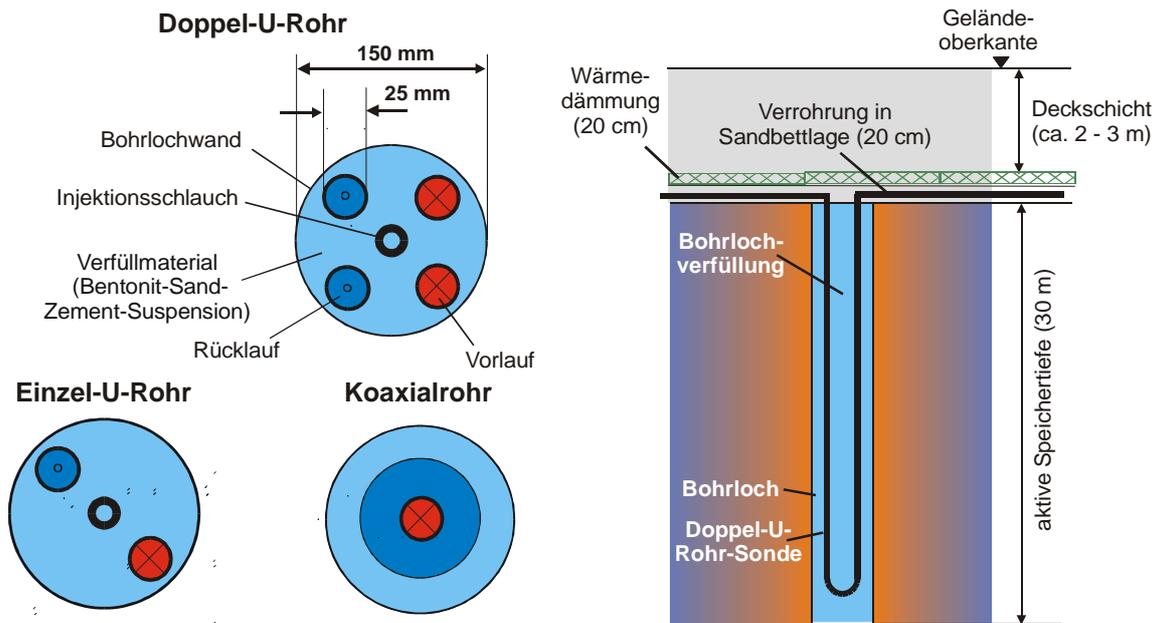


Bild 1: Aufbau von Erdwärmesonden (Bemaßungswerte: Speicher in Neckarsulm)

Typische Bohrloch-Durchmesser liegen bei 100 – 150 mm, Abstände zwischen zwei Bohrlöchern bei 1,5 – 4 m, Bohrlochtiefen bei 20 – 100 m. Aufgrund seiner Bauweise kann dieser Speichertyp nur zur Oberfläche hin wärmedämmend werden. Wegen der dadurch bedingten Wärmeverluste zu den Seiten bzw. nach unten hin sind für Hochtemperaturanwendungen nur große Speicher (> 50 000 m³) dieses Typs sinnvoll, bei denen kleine Oberflächen/Volumen-Verhältnisse erreicht werden können. Maximale Speichertemperaturen liegen bei ca. 80 °C, begrenzt durch die Lebensdauer des Erdwärmesonden-Materials.

Charakteristisch für diesen Speichertyp ist der Wärmeübergangswiderstand zwischen Wärmeträgerfluid und Erdreich. Um eine möglichst gute thermische Anbindung zu erreichen, wird das Bohrloch in der Regel mit einem speziellen Verfüllmaterial, meist einer Bentonit - Zement - Quarzsand - Wassersuspension oder ähnlichen Baustoffen (z.B. Stüwatherm oder ThermoCem), verfüllt.

2.1. Neckarsulm

Ein Speicher dieser Bauart ist in Neckarsulm in Betrieb, eingekoppelt in eine solar unterstützte Nahwärmeversorgung. Der Speicher wurde seit 1997 in bisher drei Ausbaustufen realisiert. Diese sind in Bild 2 dargestellt. Zunächst wurde ein kleiner Pilotspeicher gebaut, der lediglich wissenschaftlichen Zwecken diente. In den Jahren 1999 und 2001 erfolgten zwei Ausbaustufen, die die erforderliche Speicherkapazität an die steigende Wärmelast und Kollektorfläche des immer noch wachsenden Neubaugebietes anpassten. Die aktuelle Größe des Speichers liegt bei rund 63 000 m³ Erdreichvolumen, erschlossen über 528 Erdwärmesonden. Aufgrund einer stark wasserführenden Schicht in 35 – 40 m Tiefe (Grenzdolomit) wurde die Bohrlochlänge

auf 30 m begrenzt. Der Sondenabstand beträgt 2 m, in der zweiten Ausbaustufe wurden im Innenbereich engere Abstände (1,5 m) als im Außenbereich (2,5 m) gewählt, um die thermischen Randverluste zu reduzieren und höhere Temperaturen im Zentrum zu erreichen.

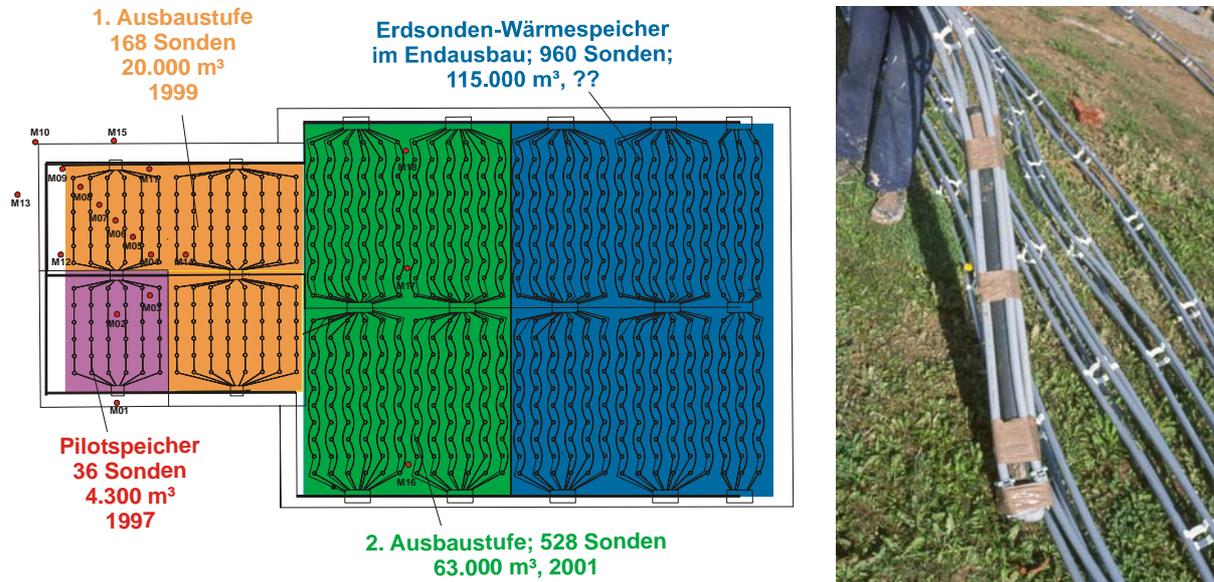


Bild 2: Ausbaustufen des Erdsonden-Wärmespeichers in Neckarsulm und eingesetzte Erdwärmesonden (Polybuten, Doppel-U)

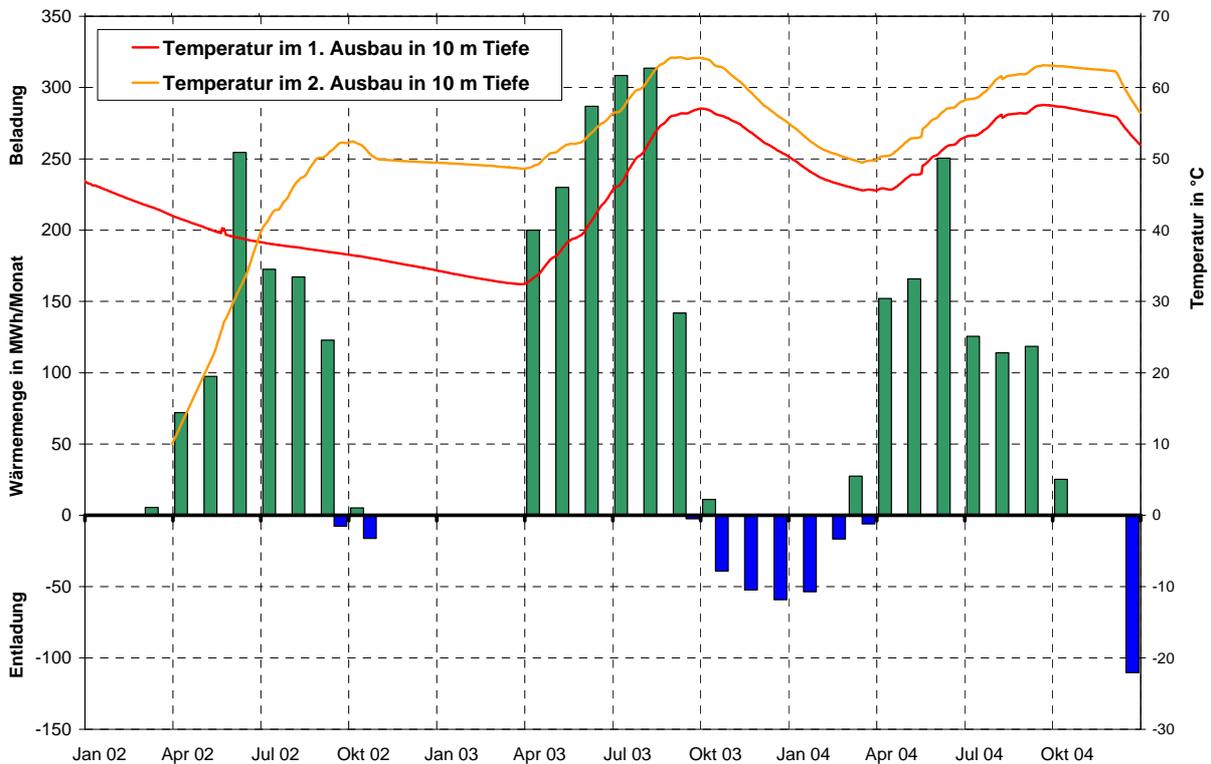


Bild 3: Bilanzen des Erdsonden-Wärmespeichers in Neckarsulm für die Jahre 2002-2004 und Erdreichtemperaturen im Zentrumsbereich zwischen den Erdwärmesonden [3]

Die Wärmebilanzen und Erdreichtemperaturen im Zentrumsbereich zwischen den Erdwärmesonden in 10 m Tiefe sind für die letzten drei Betriebsjahre in Bild 3 dargestellt.

Ein Erdsonden-Wärmespeicher, der auf hohem Temperaturniveau betrieben wird, benötigt ca. 3-5 Jahre, um einen eingeschwungenen Zustand zu erreichen. In dieser Zeit werden das Speichervolumen und das umgebende Erdreich auf Betriebstemperatur aufgewärmt. Wie Bild 3 zeigt, konnte im ersten Jahr nach Inbetriebnahme der zweiten Ausbaustufe nahezu keine Wärme aus dem Speicher entladen werden. Im zweiten Speicherzyklus (Frühjahr 2003 - Frühjahr 2004) wurden rund 15 % der Wärmemenge wieder entladen. Dieser Wert wird nach Ablauf der Einschwingphase auf 60 - 70 % ansteigen, sofern die Rücklauftemperaturen aus dem Wärmeverteilnetz nicht übermäßig hoch liegen [4].

2.2. Attenkirchen

In Attenkirchen ist ein Hybridspeicher, ein Beton-Heißwasser-Wärmespeicher der von einem Ring mit Erdwärmesonden umgeben ist, in eine solar unterstützte Nahwärmeversorgung für 30 Einfamilienhäuser und eine Sporthalle eingebunden, siehe Bild 4. Ziel des Projektes ist eine Reduktion des Primärenergiebedarfs um 50 % im Vergleich zu einer konventionellen Ölheizung [5].

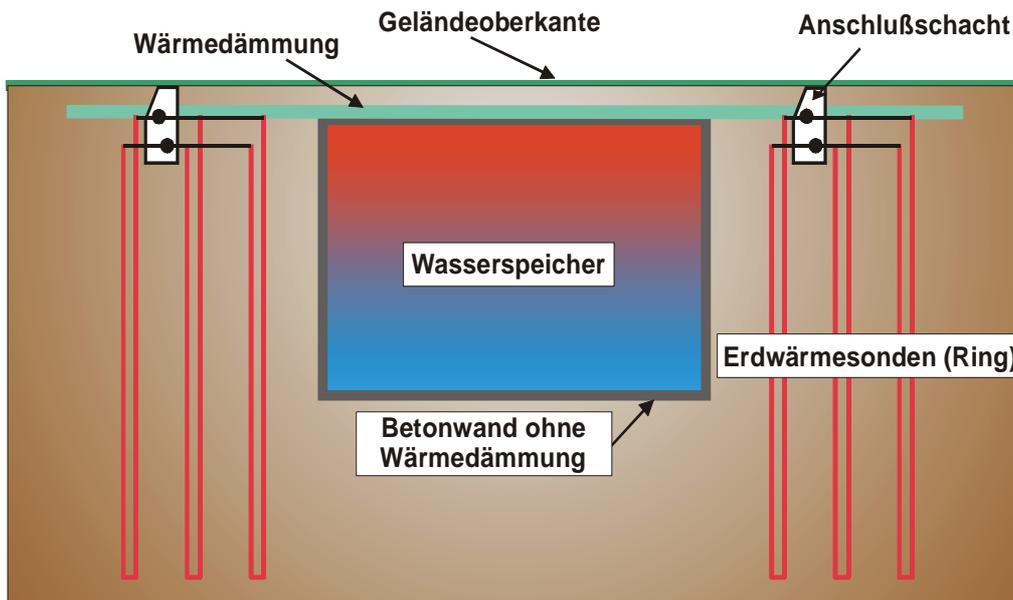


Bild 4: Hybridspeicher Attenkirchen (Quelle: ZAE Bayern, Garching)

Der zentrale Wasserspeicher dient als Kurzzeit-, die Erdwärmesonden als Langzeit-Wärmespeicher. Durch die Kombination kann die Konstruktion des Betonbehälters vereinfacht werden und die Wärmeverluste werden reduziert. Der Wasserspeicher hat ein Volumen von 500 m³ und ist als Betonbehälter ohne Auskleidung ausgeführt. Der Erdwärmesondenring besteht aus 90 Doppel-U-Rohr-Sonden, die in eine Tiefe

von 30 m installiert wurden. Der gesamte Speicher ist nur nach oben hin wärmege-dämmt. Er wird durch ein Kollektorfeld mit einer Größe von 800 m² beladen.

In das System sind Wärmepumpen eingebunden, die sowohl zwischen dem Erdsonden- und dem Wasserspeicher, als auch zwischen Wasserspeicher und Wärme-verteilstnetz arbeiten können. Durch die vorhandenen Temperaturverhältnisse ergeben sich gute Betriebsbedingungen und damit hohe Leistungszahlen für die Wärme-pumpen.

Die Kosten für die Speicher lagen bei 406 €/m³ für den Wasserspeicher und 46 €/m für den Erdsonden-Wärmespeicher (jeweils ohne Planung und MwSt.).

2.3. Sonstige

Einige weitere große Erdsonden-Wärmespeicher sollen hier ohne weitere Erläute-rungen und Anspruch auf Vollständigkeit kurz erwähnt werden:

- Crailsheim (Projekt in Planung): Hochtemperatur-Wärmespeicher mit rund 40 000 m³ Erdreich-Volumen, 100 Erdwärmesonden, 60 m tief, eingebunden in eine solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit 7 500 m² Kollektorfläche, Ent-ladung direkt und über Wärmepumpe [6].
- Deutsche Flugsicherung in Langen: 154 Bohrungen, 70 m tief; kombinierte Wärme- / Kältespeicherung, Deckung 75% Kältelast und 70% Wärmelast über Wärmepumpe.
- Golm: 160 Bohrungen, 100 m tief, 350 000 m³ Erdreich-Volumen; kombinierte Wärme- / Kältespeicherung; Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung für Wissenschafts-campus der Max-Planck-Gesellschaft [7].

3. Aquifer-Wärmespeicher

Beim Aquifer-Wärmespeicher werden natürlich vorkommende, nach oben und unten hin hydraulisch abgeschlossene Grundwasserschichten zur Wärmespeicherung ge-nutzt. Über eine Brunnenbohrung („kalte Bohrung“) wird dem Speicher Grundwasser entnommen, dieses über einen Wärmeübertrager erwärmt und über eine weitere Bohrung („warme Bohrung“) wieder in den Untergrund eingeleitet. Die Ausspeiche-rung erfolgt durch eine Umkehrung der Durchströmungsrichtung, siehe Bild 5.

Aquifer-Wärmespeicher stellen hohe Anforderungen an die geologischen Ver-hältnisse des jeweiligen Standortes bezüglich hydraulischer Durchlässigkeit, Grund-wasserfließgeschwindigkeit, biologischer und chemischer Zusammensetzung des Grundwassers etc. Zentrale Größe ist die hydraulische Durchlässigkeit k_f in der Aquiferschicht. Sie sollte im Bereich von $k_f > 10^{-5}$ m/s liegen, um den direkten Was-seraustausch zwischen Aquiferschicht und Brunnen in genügendem Maße zu gewährleisten. Tabelle 1 zeigt Richtwerte für Standortparameter.

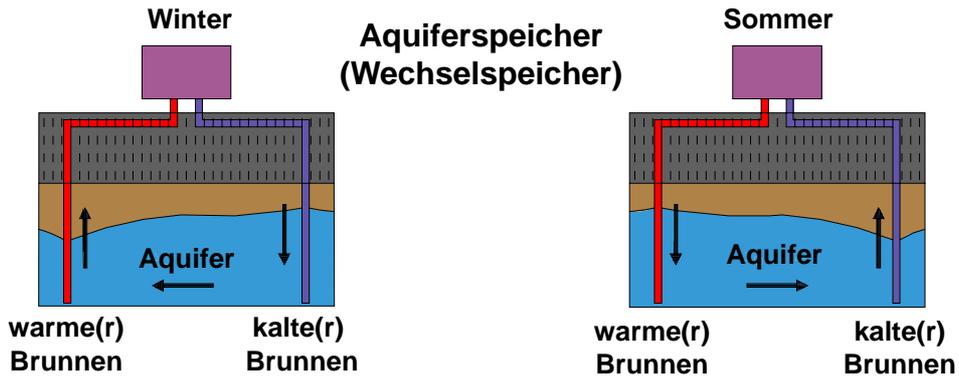


Bild 5: Betriebsweise von Aquifer-Wärmespeichern ([8])

Aquifer-Wärmespeicher können nicht zur Umgebung hin wärmedämmend werden. Wie beim Erdsonden-Wärmespeicher sind Speicher mit hoher Temperatur deshalb nur bei großen Speichervolumina zu empfehlen.

Bei Temperaturen oberhalb etwa 50°C kann es je nach örtlichen Gegebenheiten zu biologischen und geochemischen Veränderungen des Grundwassers kommen. Dies kann gegebenenfalls zu Ablagerungen an Wärmeübertragern und Brunnenfiltern führen, wodurch es im Extremfall zu einem Erliegen der Förderfähigkeit der Brunnen kommen kann. Um dies zu verhindern muss in solchen Fällen eine Wasseraufbereitung während des Betriebs erfolgen. Weitere Informationen zu hydrogeologischen, hydrochemischen und mikrobiologischen Randbedingungen kann [2] entnommen werden.

Parameter	kleine Projekte (25 m ³ /h)	große Projekte (500 m ³ /h)
Mächtigkeit der Abdichtung zur Oberfläche	$d > 5 \text{ m}$	$d > 20 \text{ m}$
Aquifermächtigkeit	$D > 10 \text{ m}$	$D = 50 - 100 \text{ m}$
Transmissivität	$T > 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$	$T = 1 \cdot 10^{-2} - 3 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$
Natürliche Grundwasserbewegung	$v < 3 \text{ cm/d}$	$v < 11 \text{ cm/d}$
Gefahr von Bodensenkungen	Nicht relevant	Tiefe Aquifere bevorzugen

Tabelle 1: Standortparameter für die Eignung von Aquifer-Wärmespeichern in den Niederlanden nach [9]

3.1. Berlin-Reichstag

In Berlin wurden zwei separate Aquifer-Wärmespeicher mit dem Nahwärmeverbund der Parlamentsgebäude im Spreebogen verbunden. Einer dient dabei der Kältespeicherung, der zweite, tiefer gelegene, als Wärmespeicher, siehe Bild 6.

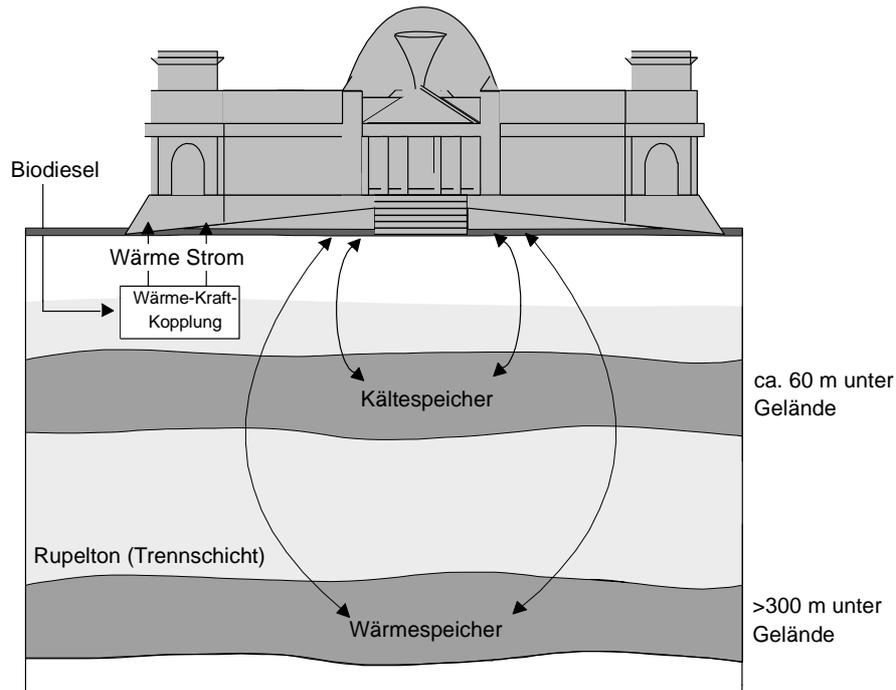


Bild 6: Lage der Aquifer-Wärmespeicher unter dem Reichstagsgebäude in Berlin (Quelle: Geothermie Neubrandenburg GmbH)

Der obere Speicher wird in einem Temperaturbereich zwischen 5 und 28 °C betrieben, die eingespeicherte Kälte wird der Umgebungsluft oder den Verdampfern der eingebundenen Wärmepumpen entnommen. Der Aquifer ist über zwei Brunnen-gruppen mit je fünf Brunnen erschlossen, die maximale Förderrate liegt bei 300 m³/h.

Der untere Aquifer (Tiefenlage 285-315 m) wird im Sommer mit Abwärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung auf einem Temperaturniveau von 70 °C beladen. Er ist über zwei Brunnenbohrungen mit maximalen Förderraten von 100 m³/h erschlossen.

Der Energiebedarf des Gebäudeverbundes beträgt:

Strom:	8 600 kW	19 500 MWh/a
Wärme:	12 500 kW	16 000 MWh/a
Kälte:	6 200 kW	2 800 MWh/a

Im Zentrum des Energiekonzeptes steht die Eigenerzeugung von Strom in Blockheizkraftwerken. Die an zwei Betriebsstandorten konzentrierten BHKWs mit einer elektrischen Gesamtleistung von 3,2 MW werden mit Pflanzenöl angetrieben und arbeiten stromgeführt. Die dabei entstehende Abwärme auf einem Temperaturniveau von 110 °C wird direkt zur Versorgung der Heiznetze genutzt. Darüber hinaus dient sie dem Antrieb von Absorptionskältemaschinen oder -wärmepumpen.

Da die Bedarfskurven von Strom und Wärme nicht synchron verlaufen, wird zeitweise – überwiegend im Sommer – bei der Stromerzeugung Überschusswärme produziert. Diese wird saisonal im unteren Aquifer gespeichert.

Der obere Aquifer dient primär der Gebäudekühlung. Das Grundwasser wird dazu im Winter auf 5 °C abgekühlt. Im Wesentlichen geschieht dies bei Außentemperaturen unterhalb 0 °C in trockenen Kühltürmen mittels Umgebungskälte. Darüber hinaus ist die warme Seite des Kältespeichers Quelle für Wärmepumpen.

Die im Winter in den Erdboden eingelagerte Kälte versorgt im Sommer Hochtemperatur-Kühlsysteme (16/19 °C) durch direkte Wärmeübergabe. Absorptionskältemaschinen, die mit der Abwärme der Blockheizkraftwerke betrieben werden, bedienen die Niedertemperatur-Kältenetze. Der Rückkühlungsbedarf dieser Maschinen wird durch die oben im Zusammenhang mit der winterlichen Kälteeinlagerung beschriebenen Kühltürme sowie bei hohen Außentemperaturen durch den Kältespeicher gedeckt, der so auf maximal 30 °C erwärmt wird. Auf diesem Wege bildet sich erneut die Wärmequelle der Wärmepumpen für den nächsten Winter. Tabelle 2 zeigt die Betriebszustände der beiden Speicher im Sommer und im Winter.

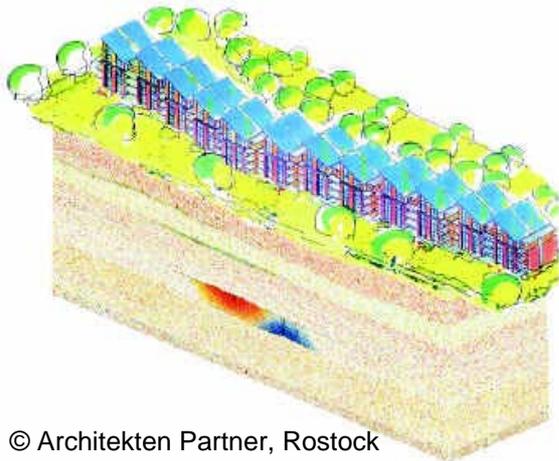
Tabelle 2: Betriebsbedingungen der thermischen Aquifer-Speicher in Berlin [10]

	Wärmespeicher	Kältespeicher
• Sommer:		
Fördertemperatur	20°C	6 ... 10°C
Injektionstemperatur	70°C	15 ... 28°C
eingelagerte Wärme/ entnommene Kälte	2.650 MWh/a	3.950 MWh/a
• Winter:		
Fördertemperatur	65 ... 30°C	22°C
Injektionstemperatur		5°C
entnommene Wärme/ eingelagerte Kälte	2.050 MWh/a	4.250 MWh/a

Eine detaillierte Beschreibung des Projektes sowie Betriebsergebnisse können [10] entnommen werden.

3.2. Rostock

In Rostock ist ein Aquifer-Wärmespeicher in eine solar unterstützte Nahwärmeversorgung eingebunden, siehe Bild 7. Die Aquiferschicht befindet sich in einer Tiefe von 30 m unter dem Gebäude und wird über zwei Brunnenbohrungen erschlossen. Der Speicher wird saisonal auf einem mittleren Temperaturniveau bis maximal 50 °C betrieben. Im Sommer wird überschüssige Solarwärme von Kollektoren mit einer Gesamtfläche von 1000 m² eingespeichert. In der Heizperiode wird die Wärme überwiegend mit Hilfe einer Wärmepumpe entladen und unterstützt die Gebäudebeheizung und die Warmwasserbereitung. In Bild 8 sind die Wärmebilanz für den Speicher und die Temperaturen an den Brunnenköpfen dargestellt. Die gemessenen Speichernutzungsgrade lagen in den vergangenen Jahren zwischen 55 und 70 %. Für die Gesamtanlage war dadurch z.B. im Jahr 2003 ein solarer Deckungsanteil von 49 % am Gesamtwärmebedarf für Heizung und Warmwasserbereitung möglich. Weiter Informationen zum Projekt Rostock können [2, 12] entnommen werden.



© Architekten Partner, Rostock



© Geothermie Neubrandenburg GmbH

Bild 7: Ansichten der solar unterstützten Nahwärmeversorgung in Rostock

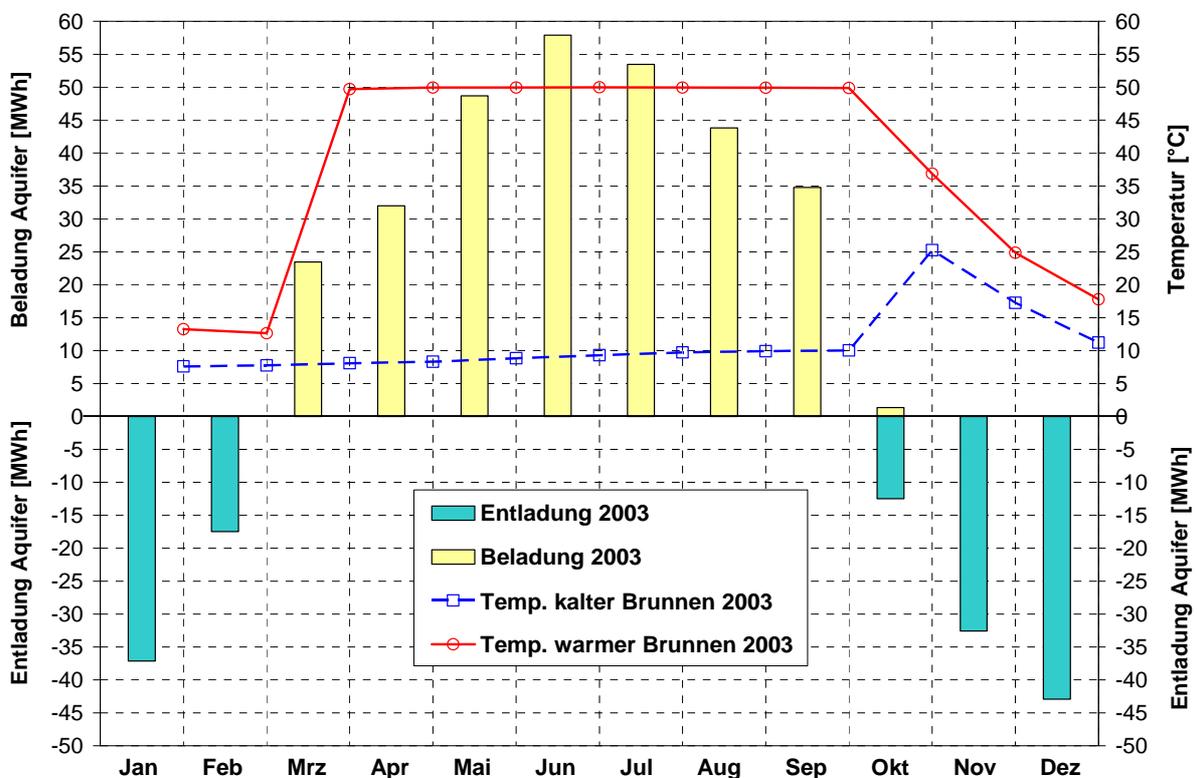


Bild 8: Wärmebilanz und Brunnenkopftemperaturen des Aquifer-Wärmespeichers in Rostock aus dem Jahre 2003

Bild 9 zeigt links die täglichen Be- und Entlade-Wärmemengen sowie die Tages-Mitteltemperaturen an den Brunnenköpfen für das Betriebsjahr 2003. Die Entladetemperaturen reichen zu Beginn der Entladephase für einen kurzen Zeitraum für eine direkte Nutzung zur Heizungsunterstützung aus. Anschließend ermöglichen sie sehr gute Betriebsbedingungen für die Wärmepumpe, die in dieser Zeit mit Leistungszahlen zwischen 6 und 7 arbeiten kann. Gegen Ende der Entladephase fallen diese bis auf ca. 3,5 ab.

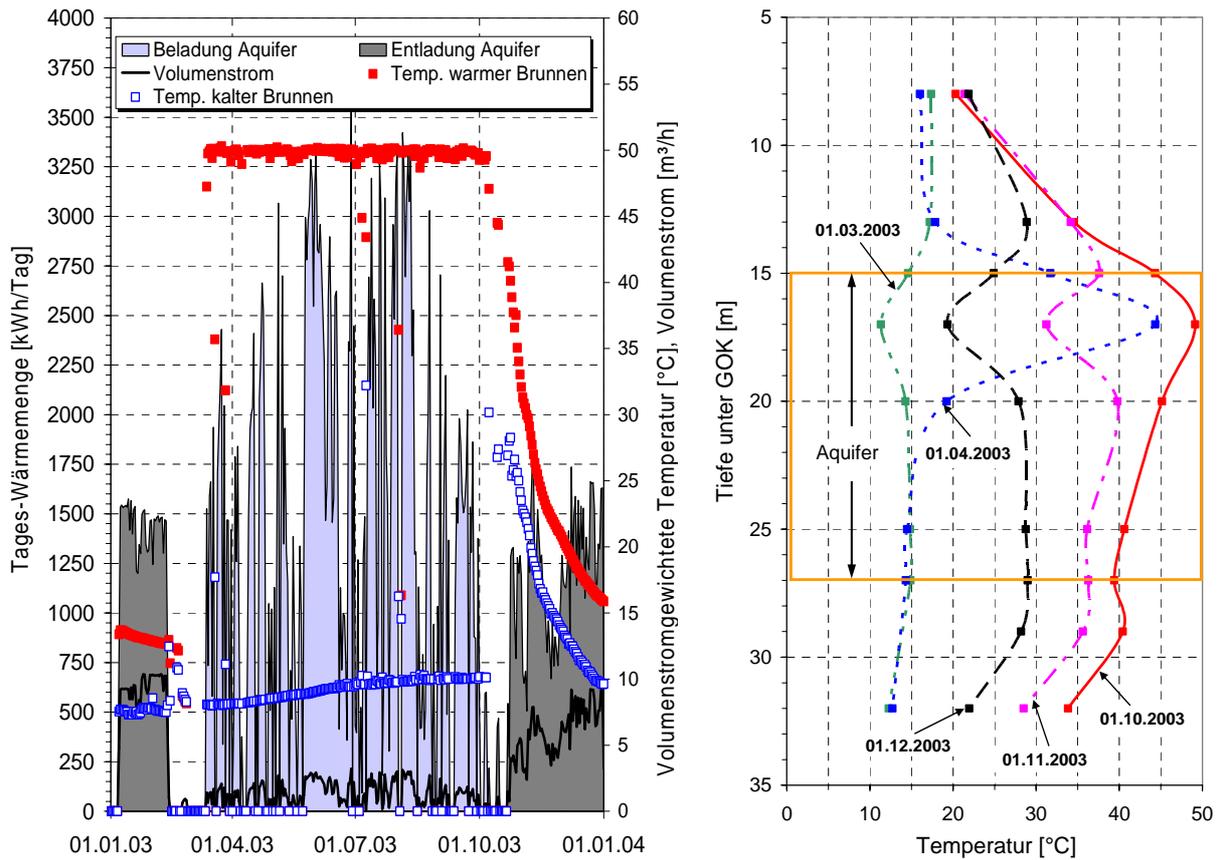


Bild 9: Tages-Wärmemengen, Be- und Entladetemperaturen (links) sowie Temperaturentwicklung im Untergrund (5 m entfernt vom warmen Brunnen)

Auf der rechten Seite ist die Temperaturentwicklung im Erdreich in fünf Meter Entfernung von der warmen Brunnenbohrung für einen vollständigen Speicherzyklus dargestellt. Aufgrund einer stärker durchlässigen Schicht im oberen Teil der Aquiferschicht findet hier ein verstärkter Wasseraustausch statt. Dies führt zu einer geringfügigen Verzerrung der Wärmeblase im Untergrund.

3.3. Neubrandenburg

In Neubrandenburg wird im Sommer überschüssige Abwärme eines GuD-Kraftwerks für eine Nutzung im Winter gespeichert. Dabei wird die natürliche Thermalwassertemperatur aus einem ehemaligen geothermischen Heizwerk

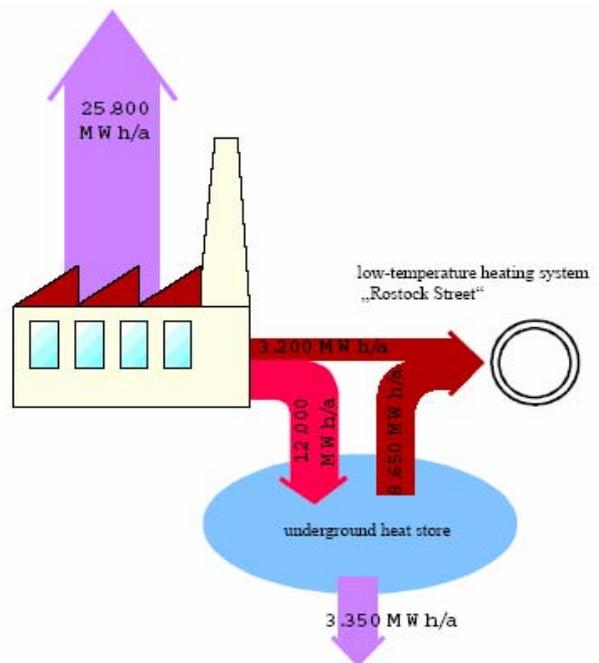


Bild 10: Prinzipschema Neubrandenburg (Quelle: Geothermie Neubrandenburg GmbH)

von ca. 55 °C im Untergrund auf rund 80 °C angehoben. Die eingespeicherte Wärme kann dann auf nutzbarem Temperaturniveau zur Versorgung des Fernwärmenetzes im Winter verwendet werden, siehe Bild 10.

Durch die Koppelung des Kraftwerks mit der Fernwärmeversorgung und dem geothermischen Heizwerk profitieren sowohl das Kraftwerk durch einen höheren Nutzungsgrad und einen uneingeschränkt auf die Stromerzeugung optimierten Betrieb als auch das geothermische Heizwerk durch einen wesentlich höheren Anteil an direkt nutzbarer Wärme aus dem Speicher.

Die Inbetriebnahme fand im März 2004 statt. Bild 11 zeigt beispielhaft die Wärmeüberschüsse an einem Tag im Mai 2004. Über den Sommer wurden im Inbetriebnahmejahr mehr als 8 000 MWh bei Injektionstemperaturen von ca. 77 °C in den Aquifer eingespeichert. Bis Anfang Februar 2005 konnten bereits 40 000 m³ Thermalwasser bei Temperaturen oberhalb 72 °C rückgefördert werden, siehe auch [13].

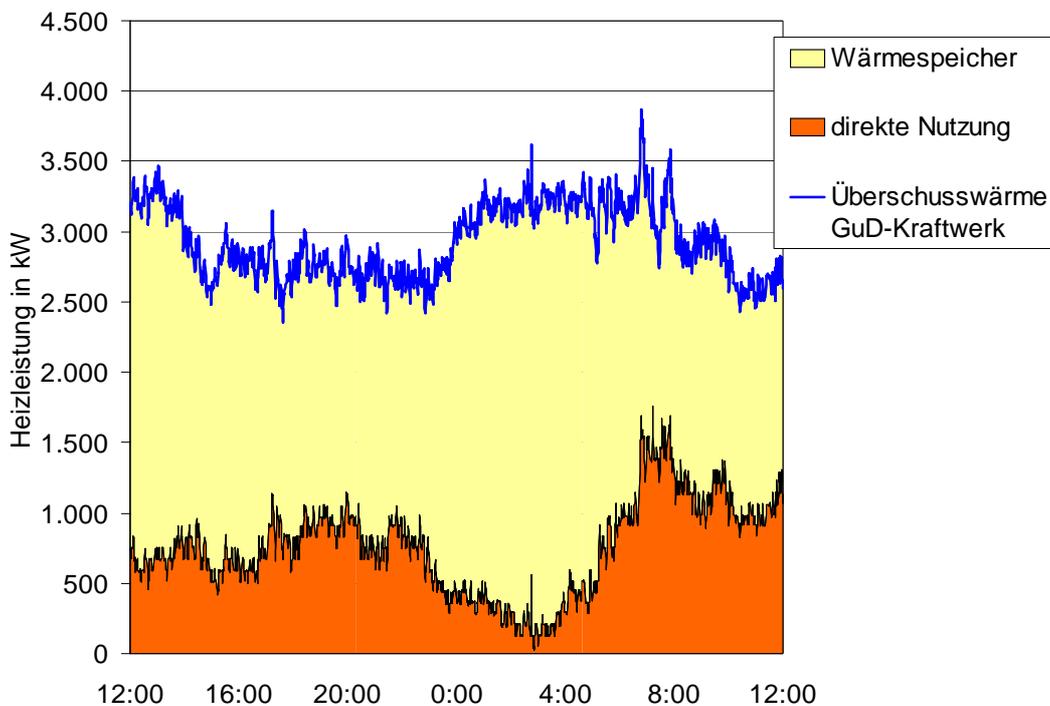


Bild 11: Wärmeüberschüsse und deren Verwendung am 12.05.2004 (Quelle: Geothermie Neubrandenburg GmbH)

4. Schlussfolgerung

Die dargestellten Projekte zu Aquifer- und Erdsonden-Wärmespeichern beweisen sowohl die Funktion als auch die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten von Großspeichern. Mit Ihrer Hilfe können hohe Beiträge von regenerativen Energieträgern sowie erhebliche Betriebsverbesserungen von Wärmeversorgungsanlagen oder Kraftwerken erreicht werden. Welches Speicherkonzept für eine bestimmte Anwen-

dung in Frage kommt hängt von den jeweiligen Standortbedingungen und der Art der Anwendung ab.

5. Literatur

- [1] T. Schmidt, H. Müller-Steinhagen:
Nutzung des Untergrundes zur Kälteversorgung von Gebäuden – Ergebnisse aus dem EU-Projekt Soil-Cool; OTTI-Profiforum „Oberflächennahe Geothermie“, Regenstauf, 2005
- [2] M. Benner, B. Mahler, D. Mangold, T. Schmidt, M. Schulz, H. Seiwald, E. Hahne:
Solar unterstützte Nahwärmeversorgung mit und ohne Langzeit-Wärmespeicher;
Forschungsbericht zum BMFT-Vorhaben 0329606C, ITW, Universität Stuttgart, 1999,
ISBN-Nr.: 3-9805274-0-9
- [3] J. Nußbicker:
Messdatenauswertung zum Projekt Neckarsulm, Interner Bericht, Institut für Thermodynamik,
Universität Stuttgart, 2005
- [4] BINE Informationsdienst:
Solare Nahwärme, BINE Projektinfo 8/00, Fachinformationszentrum Karlsruhe, Bonn, 2000
- [5] M. Reuß:
Erdwärmesonden-Speicher in Neckarsulm und Attenkirchen, OTTI-Profiforum „Oberflächennahe
Geothermie“, Garching, 2004
- [6] S. Raab, W. Heidemann, D. Mangold, H. Müller-Steinhagen:
Die solar unterstützte Nahwärmeversorgung in Crailsheim, 15. OTTI-Symposium Thermische
Solarenergie, Staffelstein, 2005
- [7] H. Jung:
Energiekonzept Max-Planck-Campus Golm unter Einbeziehung eines Erdspeichers, OTTI-Profi-
forum „Oberflächennahe Geothermie“, Garching, 2004
- [8] B. Sanner:
Aquifer-Wärmespeicher in Deutschland, OTTI-Profiforum „Oberflächennahe Geothermie“,
Garching, 2004
- [9] L.J.M. van Loon:
Relevant characteristics for open (ATES) storage. IEA ECES Annex 7, Proc. WS on Generic
Config. Of Seasonal Cold Storage Applications, Utrecht, 1991
- [10] BINE Informationsdienst:
Aquiferspeicher für das Reichstagsgebäude, BINE Projektinfo 13/03, Fachinformationszentrum
Karlsruhe, Bonn, 2000
- [11] B. Sanner:
Thermische Unterspeicherung auf höherem Temperaturniveau : Begleitforschung mit
Messprogramm Aquiferspeicher Reichstag, Schlussbericht zum FuE-Vorhaben 0329809 B,
Giessen, 2004, <http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2004/1795/>
- [12] T. Schmidt, H. Müller-Steinhagen:
The Central Solar Heating Plant with Aquifer Thermal Energy Store in Rostock - Results after
four years of operation, EuroSun 2004, Freiburg 2004
- [13] F. Kabus, G. Möllmann, F. Hoffmann
Speicherung von Überschusswärme aus dem Gas- und Dampfturbinen-Heizkraftwerk Neubran-
denburg im Aquifer, Fachtagung Geothermische Vereinigung e.V., Landau in der Pfalz, 2005

Der Bau der beschriebenen Projekte wurde teilweise aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) finanziert. Die Autoren danken für die Unterstützung. Die Verantwortung für den Inhalt der Veröffentlichung liegt bei den Autoren.