



Programmsteuerung:
Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:
Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)



ENERGIE DER ZUKUNFT

Publizierbarer Endbericht - INDEX

Ein publizierbarer Endbericht sollte folgende Struktur (Index) besitzen und besteht aus mindestens 10 Seiten:

1. Einleitung

Aufgabenstellung

Alle im Leitprojekt „energieautarke Solarfabrik“ und damit auch im Projekt „Erdwärmespeicher“ angeführten Innovationen hatten das Ziel, mit einer passivtauglichen Gebäudehülle einen möglichst energieautarken Industriebau zu schaffen. Erstmals wollte der Antragsteller experimentelle Komponentenentwicklungen in verschiedensten Bereichen, wie in den entsprechenden Anträgen beschrieben, gemeinsam mit Zulieferern und Projektpartnern zu einem prototypenhaften Reifegrad entwickeln und dann sofort in der Realität an einem Demonstrationsobjekt (Projekt 817 619) einer Erprobung hinsichtlich Effizienz (Erreichung der Entwicklungsziele in technischer Hinsicht) aber auch hinsichtlich Alltagstauglichkeit, Steuerbarkeit und Dauerhaltbarkeit unterziehen.

Die Resultate sollten Erkenntnisse und Wissen schaffen, das eingesetzt wird, um zukünftige Planungen und Ausführungen von Industriegebäuden nach diesen neu geschaffenen Standards, zu bauen. Die Ergebnisse sollten auch auf Wirtschaftlichkeit geprüft werden, um später auch am freien Markt bestehen zu können. Der Antragsteller beabsichtigte die neu zu entwickelnden Komponenten im Bereich der Bauwirtschaft bestmöglich zu vermarkten. Auf diese Weise werden industrielle Neubauten mit diesem Know How versorgt. Dieser Umstand wird in der Zukunft

wesentlich dazu beitragen, dass Wärmeemissionen solcher Bauten weitgehend vermieden werden.

Das Projekt sollte sich in seiner Zielsetzung einer „Nullemissionsfabriken“ als ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz darstellen und nachhaltig auch auf neue Industriebauten als Vorbild wirken.

Schwerpunkte des Projektes

Der Schwerpunkt war die Forderung nach einem weitgehenden Verzicht auf fossile Brennstoffe zur Warmwasseraufbereitung und Lufterwärmung in der Halle. Auch der Einsatz von hochwertiger, elektrischer Energie sollte nur auf den Maschinenpark sowie auf die Beleuchtung beschränkt sein.

Im Speziellen wird im Projekt 815 812 das Ziel verfolgt, den Wärmebedarf des ersten industriell genutzten Hallenbaus ganzjährig und zu 98% mit Wärmeenergie aus solarer Gewinnung abzudecken. Mit der Erreichung dieser Zielsetzung unterstützt das Projekt die Gesamtzielsetzung einer „energieautarken Solarfabrik“.

Das Gesamtziel lässt sich nun in Detailziele für verschiedenste Einzelkomponenten (=experimentelle Produktentwicklungen) aufgliedern, wie dies auch im Antrag ersichtlich ist.

Einordnung in das Programm

Das Thema Erdwärmespeichers fügt sich in seiner Zielsetzung als Experimentelle Entwicklung voll und ganz in die Programmlinie von EDZ ein.

Folgende Übersicht zeigt die Einordnung in das Programm EDZ:

- × Themenfeld 1: Energiesysteme und Netze
- Themenfeld 2: Fortgeschrittene biogene Brennstoffproduktion (Bioraffinerie)
- × Themenfeld 3: Energie in Industrie und Gewerbe
- × Themenfeld 4: Energie in Gebäuden
- Themenfeld 5: Energie und Endverbraucher
- Themenfeld 6: Fortgeschrittene Verbrennungs- und Umwandlungstechnologien
- Themenfeld 7: Foresight und Strategie unterstützende Querschnittsfragen

Die bei der Entwicklung des Erdwärmespeichers gewonnenen Erkenntnisse werden eingesetzt, um zukünftige Planungen und Ausführungen von Industriegebäuden nach diesen neuen Standards, zu bauen. Die Erkenntnisse vor allem im Energiebereich werden auf Wirtschaftlichkeit geprüft, um später auch am freien Markt bestehen zu können. Der Antragsteller beabsichtigt die neue Komponente im Bereich der Bauwirtschaft bestmöglich zu vermarkten. Auf diese Weise werden industrielle Neubauten mit diesem Know How versorgt. Dieser Umstand wird in der Zukunft wesentlich dazu beitragen, dass Emissionen aus dem Bereich der Energieversorgung dieser Bauten weitgehend vermieden werden.

Im Umkehrschluss wird damit auch ein weitgehender Verzicht auf fossile Brennstoffe zur Lufterwärmung in Produktionshallen und Verwaltungsgebäuden einhergehen.

Der Antragsteller hat es sich zum Ziel gesetzt, durch die Entwicklung des Erdwärmespeichers gänzlich auf eine zusätzliche Wärmequelle ganzjährig verzichten zu können. Somit sind die Ziele für den Einsatz alternativer Energieträger aber auch einer modernen Umwandlungsform von Energie zum Verbrauch in zeitlich entgliederten Perioden anvisiert.

Somit reiht sich diese Entwicklung in allen Punkten in die Zielsetzungen der Republik Österreich, der EU zum Thema Klimaschutz ein. Besonders hervorzuheben ist das Einsparpotenzial an CO₂. Das Treibhausgas CO₂, das nach heutigem Stand der Wissenschaft hauptverantwortlich für den Treibhauseffekt gemacht wird, kann heute nur in bestimmten Bereichen unseres Lebens verhindert bzw. gänzlich vermieden werden (siehe Individualverkehr, Stahlgewinnung, etc.). Durch den Bau von „Nullemissionsfabriken“ kann ein wichtiger Beitrag zum Klimaschutz erreicht werden.

Ein weiterer umweltrelevanter Aspekt liegt in der Vermeidung von Hausbrand in der energieautarken Fabrik durch den Einsatz des Erdwärmespeichers in Kopplung mit solarer Technologie. Hausbrand gilt als ein großer Verursacher von Feinstaub. Feinstaub wurde in den letzten Jahren immer mehr zu einem Thema im Zusammenhang mit einem möglichen Gesundheitsgefährdungspotenzials für den Menschen. Auch hier gilt, so wie oben, dass in gewissen Bereichen wohl nur eine Reduktion der Entstehung von Feinstaub erreicht werden kann (Verkehr, Altbauten,...). Beim gegenständlichen System kann durch die Einsparung einer zusätzlichen Wärmequelle auf Basis von Verbrennung die Emission von Feinstaub gänzlich vermieden werden. Insofern reiht sich dieses Vorhaben in die Ziele der „Energie der Zukunft“ ein, als die Forderung nach Verwendung erneuerbarer Energieträger ausdrücklich gefordert wird.

An dieser Stelle darf er über die positiven Auswirkungen nachgedacht werden, sollte das zu untersuchende Energiesparkonzept Erdwärmespeicher nach erfolgreicher

Entwicklung flächendeckend bei industriellen und gewerblichen Neubauten eingesetzt werden können.

Grundsätzlich liegt die Zielsetzung darin, die Energieversorgung einer „energieautarken Fabrik“ durch einen Mix an neuartigen Energiegewinnungssystemen in Verbindung mit einer intelligenten Speicherung dieser weitgehend autark zu gestalten. Energiegewinnung aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe soll weitgehend vermieden bzw. gänzlich abgestellt werden.

Die Einspeisung sämtlicher Abwärme aus internen Produktionsprozessen (z.B. Laserschweißanlage), falls nicht schon vorher woanders benötigt, in das Erdspeichersystem führt dazu, dass die Umwelt auch keine Wärmeemissionen aus dem Demoobjekt aufnehmen muss.

Während der Entwicklung des Erdwärmespeichers hat der Antragsteller ein Demoobjekt in einer Größenordnung von ca. 18.000 m² erbaut, wo das entwickelte System eingesetzt und so einer praktischen Erprobung zugeführt wird. Von dort aus sollen die gewonnenen Erkenntnisse zu einem Standard für Neubauten werden. Somit schafft der Antragsteller einerseits einen Technologiesprung, der in weiterer Folge positive wirtschaftliche Auswirkungen haben wird, auf der anderen Seite ist der Erdwärmespeicher auch ein „Innovations-Highlight“ mit Beispielwirkung werden, der sich gänzlich in die Programmlinie „Energie der Zukunft“ einreicht.

Im internationalen Kontext kommt der CO₂ Reduktion immer höhere Bedeutung bei. Der angelaufene Handel von CO₂-Zertifikaten zeigt schon heute, wie wichtig es wird, schon bei der Entstehung dieses als für den Klimawandel verantwortlich gemachten Gases Vermeidungsstrategien anzuwenden. Die energieautarke Solarfabrik wird dank des Erdwärmespeichers weitgehend CO₂ neutral in ihrer Umwelt agieren. Kosten für den Ankauf von Zertifikaten, wer auch immer diese bezahlen muss (siehe gegenwärtige Debatte rund um den Standort der VOEST in Linz), sind somit gegenstandslos. Gerade der Kostenfaktor entscheidet, ob sich Unternehmen an den Märkten unserer globalisierten Welt halten können. Eine Mehrbelastung durch den Ankauf von CO₂-Zertifikaten wird somit unweigerlich zur Belastung. Schon aus diesen Ansätzen ist erkennbar, wie wichtig Nullemissionsgebäude in der Zukunft sowohl für die Unternehmen selbst aber auch für den Standort sein werden. Die enormen Marktpotenziale der Entwicklung eines funktionstüchtigen Erdwärmespeichers sind damit klar!

Die kooperative experimentelle Entwicklung des Erdwärmespeichers kann durchaus als Instrument einer österreichischen Standortpolitik angesehen werden, denn wo

Unternehmen auch in Zukunft ihren Platz finden und gegen härteste internationale Konkurrenz verteidigen können, werden auch immer wieder Arbeitsplätze in den verschiedensten Qualifikationsniveaus entstehen.

Verwendete Methoden

Das gegenständliche Projekt ist Teil des Leitprojekts „energieautarke Solarfabrik“. Insgesamt stehen unter diesem Leitprojekt 4 Sub-Projekte. Das Projekt „Erdwärmespeicher“ charakterisiert sich durch intensive Abstimmungen zwischen Bauphysikern, Geologen, Simulationspartner, technischer Komponentenentwicklung (interne Entwicklung und externe Entwicklungspartner), aber auch dem Kostencontrolling. Dieses fand unter Koordination der Gesamtprojektleiter DI(FH) Stefan Dietrich und Dr. Gerhard Rimpler bzw. seinen Nachfolgern als GF Ulrich Bartmann und Herbert Huemer statt. Milestonemeetings als permanente Baubesprechungen am Demoobjekt und zuvor Baugrund dienten einem gemeinsamen Abgleich der Entwicklungsziele.

Die einzelnen Entwicklungsziele- oder -details werden in Arbeitspaketen abgearbeitet.

Durch ein lang angelegtes Messprogramm vor und nach dem Start der innerbetrieblichen Produktion kann die Praxistauglichkeit des Erdwärmespeichers getestet und optimiert werden.

Wichtiger Bestandteil bei der Entwicklung des Erdwärmespeichers ist die Simulation des Speichers sowie sein Zusammenwirken mit der Gebäudehülle. Die Simulation stellt eine wesentliche Methodik der Entwicklung dar, die die experimentelle Entwicklung zeitlich verkürzt und schneller zu einem positiven Ergebnis bringen konnte.

2. Inhaltliche Darstellung

Die Arbeitspakete hatten folgende Inhalte im Detail:

AP 1- Machbarkeit: Ziele:

Im AP 1 wurde die Machbarkeit des Erdwärmespeichers vor Start der experimentellen Entwicklung Hierzu wurde eine geologische Untersuchung des für den Aufbau des Erdwärmespeichers ausgewählten Grundstückes in Eberstalzell angestellt.

Das geologische Gutachten war in seinem Umfang einer Fläche von ca. 18.000 m², die dem späteren Demoobjekt zu entsprechen hatte, eine als intensiv zu bezeichnende Aufgabe zu sehen. Die Ergebnisse bzw. deren Genauigkeit waren die Basis für das geplante Demoobjekt. In der zeitlichen Abfolge war der geplante Erdwärmespeicher ja baulich vor der Errichtung der Grundhalle zu entwickeln und einzubringen. Ein Scheitern bzw. ein Konstruktionsfehler oder schlicht das Übersehen einer geologischen Fehlfunktion würde das gesamte Forschungsvorhaben oder seine Aussagekraft in Frage stellen.

Das geologische Gutachten konnte die erhoffte Machbarkeit des Speichers auf dem Grundstück in Eberstallzell bestätigen.

AP1 hatte die Erarbeitung einer grundsätzlichen Machbarkeitsanalyse des Erdwärmespeichers zum Ziel. Dies konnte durch das Gutachten über die Bodenbeschaffenheit, eine erste Simulation zur Plausibilisierung des Speichers sowie der hochdichten Gebäudehülle erreicht und untermauert werden.

AP 2- Simulation, Berechnung: Ziele:

Aufbauend auf die Machbarkeitsanalysen wurde im AP 2 die Simulation des Speicherprozesses gestartet und durchgeführt. Es wurden alle Wärmelieferanten, Verlustträger und sonstige Einflussfaktoren evaluiert und damit eine Basis für eine erfolgreiche Simulation gelegt.

Aus der Simulation konnten für das Projektteam technische Aussagen zu Erstausslegung des Speichers samt Auswirkungen baulicher Notwendigkeiten auf die Speichereigenschaften gewonnen werden.

Insbesondere waren hier die Arbeiten von Herrn Mag. Oskar Pankratz sowie die permanente Abstimmung zwischen den Experten von XOLAR und SUN MASTER Basis für die treffsicheren Aussagen zum Speicherverhalten wichtig. Methodisch gesehen wurden Programme aus dem Bereich der FE-Simulation angewendet, um den Speicher simulationstechnisch abzubilden.

Schon heute kann gesagt werden, dass diese Simulationstechnik als sehr zielführend für Erdspeicher in dieser Dimension und Anwendung angesehen werden kann.

Um den für das „Leben“ des Erdwärmespeichers notwendigen niedrigen Wärmeverlust des Demoobjekts zu eruieren, wurde eine eigene Berechnung der max. Verluste erstellt als Absicherung für ein worst case Szenario.

Am Ende dieses Pakets standen Informationen zur Größe und zu den geforderten Rahmenbedingungen des Speichers, die danach durch bauliche Maßnahmen und

richtige Auswahl und Entwicklung dazugehöriger Hardwarekomponenten sicherzustellen waren.

AP 3- Speicherkonzept: Ziele:

Ein Gesamtkonzept für den gesamten Erdwärmespeicher galt als generelles Ziel für dieses AP. Darin eingeschlossen sind die Dimensionierung der thermischen Solaranlage, die für die ausreichende Wärmeversorgung des Speichers notwendig ist, und ein hydraulisches Konzept für die Einbindung des Speichers in den gesamten Hydraulikkreislauf. Ebenso gelten die richtige Materialwahl und eine abschließende Kontrollsimulation des Speichersystems als Ziele des AP 3.

Um den Wärmebedarf über den Ganzjahreszyklus (Forderungen an Raumklima und Verluste) bestimmen zu können, wurde eine Simulation des Wärmeeintrags und Berechnung des gesamten Bedarfs durchgeführt. Es wurden der Bedarf und der Bedarfszeitpunkt genau ermittelt, um daraus Planungsgrößen für die Solaranlage und das Ausmaß des benötigten Erdspeichervolumens zu erhalten.

Eine große Bedeutung kam auch der Auswahl der richtigen Materialien für die Hardware Komponenten des Erdwärmespeichers zu. Es wurden die Themen Temperaturunterschiede, Korrosion, Verhalten der Materialien auf längere Zeit eingehend mit Lieferanten und Planern diskutiert.

Inhalt dieses Pakets war auch die Erarbeitung eines detaillierten hydraulischen Konzepts, das die Einbindung des Speichers im gesamten Hydraulikplan darstellt. Eigenes Know How wurde eingebracht, um eine optimale hydraulische Schaltung für die verschiedensten Betriebszustände zu erarbeiten. Dies ist vollinhaltlich durch die Partner XOLAR, SUN MASTER und den Drittleister Altmüller gelungen.

Abschließend wurde das Konzept durch eine Kontrollsimulation abgesichert, um etwaige Fehlentwicklungen noch vor der Beschaffung von Hardware und dem kostspieligen Verbau derselben entdecken zu können.

AP 4- Praxiseinsatz: Ziele:

Das AP 4 sieht eine technische Korrekturschleife des Erdspeichers vor und soll die Funktion absichern oder verfeinern. Eine weitere Zielsetzung liegt in der Kostenbewertung des Entwicklungsstandes.

Es wird ein Konzept für die Messtechnik erarbeitet. Als langfristiges Ziel sind die Messungen des Speichersystems während der Entwicklungsphase und dann bis 2010 vorgesehen.

Im Arbeitspaket wird eine vollständige Korrekturschleife für das Basisengineering vorgesehen. Diese Extraschleife wird zur Optimierung des Speichers genutzt, der zu diesem Zeitpunkt schon in der Realität entsteht.

Die Kostenbewertung des Gesamtsystems wird ab nun ständig und begleitend eingeführt.

Um das Ziel einer vollständigen datenmäßigen Erfassung des Speichers zu erreichen, wird im AP 4, gemeinsam mit einem Spezialistenteam, ein Messkonzept erarbeitet und am entstehenden Speicher umgesetzt.

Sobald das Messtechnikkonzept umgesetzt ist, beginnt eine langjährige Messreihe mit ständigen Auswertungen und Inputs für die weitere Entwicklung des Speichers und seiner Steuerung. Diese Messungen sollen dazu beitragen, das Verhalten solcher Megaspeicher unter saisonalen Schwankungen, auf längere Zeit sowie seine Interaktion mit der Umwelt besser verstehen zu können.

Die Korrekturschleife erbrachte neue Ergebnisse hinsichtlich der Verlegung der Rohre, die als Wärmeeinbringer ins Erdreich gelten. Hier war zunächst von mehr zentralen Rohren ausgegangen worden. Im Ergebnis wurde hier der Schwerpunkt an die Ränder der Fläche verlegt.

Eine Kostenbewertung hinsichtlich des Systems bzw. seiner Kopierbarkeit wurde nur dahingehend begleitend gemacht, als dass es ein Kostencontrolling der realen Umsetzung gab.

Eine parallele Kostenbewertung zu den einzelnen Entwicklungsschritten wurde nur sehr lückenhaft durchgeführt. Hier war das Augenmerk mehr auf das technische Endergebnis gelegt worden.

Das Messtechnikkonzept wurde als Basis für alle weitergehenden Schritte voll und umfangreich umgesetzt. So können heute Temperaturen bis in etwa 20 m Tiefe permanent erfasst und Veränderungen im gesamten Erdreich ausgewertet werden.

Der Beobachtungszeitraum konnte erfreulicherweise bis in das Jahr 2011 ausgedehnt werden. Das setzt das Projektteam nunmehr in die Lage, noch mehr an Daten auszuwerten zu können.

AP 5- Korrekturen: Ziele:

AP stellt eine reine Korrekturschleife dar. Ziel: Bewertung und Optimierung aller Ergebnisse aus den vorangegangenen APs.

Wurde vollständig umgesetzt. Hierzu ist zu sagen, dass glücklicherweise, vielleicht aufgrund der guten Vorarbeit, eine weitergehende Korrektur vermieden werden konnte.

AP 6- bauliche Ausführung: Ziele:

Das Ziel dieses APs ist die Erarbeitung eines bautechnischen Konzepts für den Erdwärmespeicher, das alle baulichen Rahmenbedingungen, die sich durch die Anforderungen an das Gebäude ergeben, miteinbezieht.

AP 6 hat auch die Entwicklung der Steuerung und des Speicherladungskonzepts samt Exit- Strategie für das Vorhaben zum Ziel.

Eine begleitende Produkt FMEA rundet die Zielsetzung des Pakets ab.

Mit Hilfe von Bauphysik und Partner P2 wird ein bautechnisches Konzept für die Errichtung von Erdwärmespeichern erarbeitet. Dabei müssen nun auch die Anforderungen der Bauwirtschaft, des Hallenbaus und vieler anderer technischer Anspruchsgruppen eingearbeitet werden. Der Prozess hat eine Bauanleitung für Speicher dieser Art zum Ergebnis.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt auf der Entwicklung einer Steuerung für den einzigartigen Speicher und ein dazugehöriges Speicherladungskonzept. Diesem kommt, wenn man die zuvor getroffenen Aussagen zu den technischen Rahmenbedingungen für einen solchen Speicher (Einbringung der Energie u.Ä.) betrachtet, zentrale Bedeutung zu.

Das Projektteam unter Federführung des Antragstellers wird im Rahmen dieses Paketes, gemeinsam mit Lieferanten und Partnern eine Exit-Strategie erarbeiten, die ein Weiterentwickeln der anderen dann noch sinnvollen Systeme des Gesamtvorhabens (siehe Leitantrag und Demonstrationsobjekt) beim Scheitern des Erdwärmespeichers möglich macht.

Das Baukonzept konnte mit Hilfe der Partner schon begleitend mit den vorangegangenen APs entwickelt werden. Besonders interessant war dabei die Abdichtung des Speichers zum benachbarten Erdreich. Hier mussten Betonschürzen vorgesehen werden, um die Ausbildung des Wärmesacks direkt unter dem späteren Fertigungsstandort zu optimieren und Verluste zu begrenzen.

Der Aufbau der Betondecke und die Verlegung der Kunststoffrohre (=Wärmetauscher) in den richtigen Dimensionen (Dicke, Tiefe) rundeten die Arbeiten am Baukonzept ab.

Die Speichersteuerung wurde auf Basis einer SPS umgesetzt und vollständig in die Haussteuerung (siehe „gesamtheitlicher Energiehaushalt“) integriert.

Die im Antrag angesprochene Exitstrategie bestand darin, dass das Objekt durch 3 Stück 100 kW Pelletsbrenner temperiert werden könnte. Im Wesentlichen wurde jedoch keine echte Exitstrategie entwickelt, die einen Rückbau des Erdspeichers vorgesehen hätte. Dies war nach den ersten Simulationsergebnissen aber auch nicht mehr als prioritär einzustufen.

3. Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Der Erdwärmespeicher befindet sich seit dem Herbst 2008 in einer Art Probetrieb. Zu diesem Zeitpunkt waren wesentliche Elemente der Speicherung wie die als Wärmetauscher verlegten Rohre ins Erdreich eingebracht. Der solare Ertrag der Sommersaison 2008 konnte aber noch nicht ins Erdreich eingebracht werden, da die dafür notwendigen Komponenten erst in Entwicklung waren. Parallel war jedoch der Bau des Demoobjekts soweit fortgeschritten, dass eine Versorgung mit Wärmeenergie notwendig ist. Aus diesem Grund wurde der Speicher künstlich aufgeladen, um die Temperatur in der Halle über den Winter 2008/2009 auf einem Niveau von etwa 20°C zu stabilisieren. Die Aufheizung erfolgte dabei über dieselben Leitungen, in die auch die solare Energie eingebracht wird.

Die bei der Entwicklung eingebrachten Erdsonden bis in eine Tiefe von 13 m zeigten schon zum Zwischenbericht im Frühjahr 2009 konstante Temperaturerhöhungen in allen Niveaus, die sich aber zum Ende des Beobachtungszeitraumes (=Endberichtslegung) immer mehr einem stabilen Niveau annäherten. Die Zusatzheizung war im Winter 2010/2011 nicht mehr notwendig. Somit kann das Projektziel, dass der Speicher den Thermalhaushalt der Industriehalle über die gesamte Saison ausreichende unterstützt, sodass eine Zusatzheizung entfallen kann, als 100% erreicht angesehen werden.

Das Zusammenspiel Passivhalle mit Erdwärmespeicher dürfte also besser funktionieren als bisher angenommen und simuliert. Der Grund zu dieser Annahme liegt darin, dass schon früher als in der Simulation ein Gleichgewicht zwischen Speicher und Gebäude festgestellt werden kann.

Ergebnisse im Detail:

1) Der Erdspeicher unter dem Hallenboden des Demoobjekts

Der neu entwickelte Speicher nimmt in 12 – 20 m Tiefe die Durchschnittstemperatur des darüber liegenden Klimas an. Diesen Effekt nutzen wir hier aus, um im Winter so gut wie keine Wärmeverluste zum Erdreich einrechnen zu müssen. Der Erdspeicher ist

ein zentrales Element der Energieversorgung des Demoobjekts. Die Entwicklung der Erdspeichertechnologie ist Gegenstand dieses eigenen Subprojekts.

Dieses Ziel wurde vollinhaltlich erreicht. Im Bericht zum gesamten Demoobjekt wird nachgewiesen, dass der Erdspeicher seine Ziele erreicht und, was die Zeit für seine Aufladung betrifft, sogar übertroffen hat.

2) Auslegung und Simulation

Die im Rahmen der Entwicklung vorgesehene Simulation des Speichers sowie des gesamten Gebäudes muss in ihrer Zielsetzung so exakt sein, dass ein gänzlichliches Scheitern des wärmetechnischen Ansatzes für das Demoobjekt ausgeschlossen werden kann, sobald das Reallabo (=Demoobjekt) errichtet wird.

Beim Bau des Demoobjekts müssen davor jedoch von Anfang an bauliche Maßnahmen getroffen werden, da das für den Speicher notwendige Erdreich unter dem Hallenboden nach Errichtung der Halle und des Bodens nicht mehr erreichbar ist. Somit kommt der Erstauslegung und den Simulationen des Systems erhöhte Bedeutung im Vergleich zu herkömmlichen Komponentenentwicklungen bei.

Die Simulation und Auslegung des Speichers verlief ebenso wie Punkt 1 erfolgreich. Auch hier kann die Beweisführung an späterer Stelle zeigen, dass die getroffenen Annahmen sehr nah an der Realität liegen. Somit können die Ergebnisse bzw. die Annahmen der Simulation für zukünftige Projekte enorme Bedeutung gewinnen.

3) Das Speichermedium

Das Erdreich unter der Halle wird als Speichermedium für Überschussenergie starker solarer Monate genutzt, um diese Energie in weniger ertragreichen Monaten als Wärmeenergie an das Halleninnere abzugeben. In der Zielsetzung muss das Erdreich, diese Energiemengen aufnehmen können, sie ohne grobe Verluste über Monate speichern und dann wieder abgeben können.

Im Ergebnis kann festgehalten werden, dass nicht jedes Speichermedium, nicht jede Untergrundbeschaffenheit, als Speicher geeignet ist. Als kritischer Punkt stellt sich hier insbesondere der Grundwasserstrom in seiner Stärke und Oberflächennähe heraus. Als Grundlage für zukünftige Baute, die einen Erdwärmespeicher haben, müssen geologische Gutachten keinen oder einen sehr tiefgelegenen Grundwasserstrom in mehr als 40 m Tiefe nachweisen, um einen Einsatz dieser Technologie in dieser Größenordnung möglich zu machen.

4) Ausgleichsdeckung

Kann die Solaranlage nur mehr einen Teil der Raumwärmeversorgung alleine decken, so muss zusätzlich Wärme aus dem Speicher über die Bodenplatte in die Räume eingebracht, um ein Auskühlen und damit eine Betriebsunterbrechung zu verhindern! Die Versorgung der Produktionshalle sowie des Bürotraktes mit Wärme soll so vollkommen ohne Zufuhr von externer Energie erfolgen. Dabei wird das Erdreich als Pufferspeicher eingesetzt, in den, sobald die am Firmengebäude angeordneten solarthermischen Kollektoren mehr Wärmeenergie liefern als anderweitig im Betrieb von Nöten ist, Energie in Form von Wärme gepumpt wird.

Dieser Punkt konnte nun über die gesamte letzte Beobachtungssaison als erfolgreich bestanden angesehen werden. Einschränkend muss gesagt werden, dass dieses Resultat nur in Verbindung mit dem beschriebenen Passivbau erreicht werden konnte und eventuell bei geändertem Wärmeanforderungsprofil zu einem anderen Ergebnis führen kann.

Folgende Punkte stellen Ziele für neue Bauten in Industrie und Gewerbe dar und sind teilweise nur als verbundene Ziele mit dem Erdwärmespeicher zu verstehen:

a) Passivbau

Das gesamte Gebäude muss in Passivbauweise errichtet werden, um den Raumwärmebedarf in Grenzen zu halten, der über ein derartiges Wärmepuffersystem technisch machbar abgedeckt werden kann.

Dieser Punkt ist Gegenstand eines Endberichts zum Passivbau und wird daher hier nicht behandelt.

b) Pufferwirkung

Der Erdwärmespeicher muss auch in längeren Kälteperioden (langer Winter mit tiefen Temperaturen) in der Lage sein, den dann erhöhten Wärmebedarf liefern zu können. Jede Verbesserung hinsichtlich des U-Wertes des Gesamtbauwerks kann dabei nur hilfreich sein. Durch diese Forderung ergeben sich zwangsläufig Innovationen und Technologiesprünge in der Ausführung des Bauwerks in allen Bereichen. Grundsätzlich gibt es heute keine derartigen Puffersysteme, die durch ihre gesamte Wärmekapazität ganze Energiepakete so speichern und in andere klimatischen Saisonen transferieren können, dass Zusatzheizungen keine Notwendigkeit mehr darstellen.

Die Pufferwirkung kann als 100% ig erreicht und erfüllt betrachtet werden.

Werte um Gesamtbau werden in den Endberichten zum Passivbau erklärt.

c) ungewöhnliches Puffermedium Erde

Heutige Puffersysteme basieren vorwiegend auf Wasser als Energiespeicher. Diese Speicher sind mit einem hohen Bedarf an Isolierung nach Außen behaftet.

Die Wärmekapazität und das Volumen müssen derart hoch sein, dass auch der hohe Energieeintrag das Erdreich nicht allzu sehr erwärmt. Ein zu hohes Temperaturgefälle in Richtung benachbartes Erdreich, Halle oder sämtlicher Umgebung würde hohe Energieverluste zu Lasten der Wärmeabgabe in der kalten Jahreszeit ergeben. Das Ziel ist damit wie folgt: möglichst hoher Energieeintrag bei niedriger Temperaturerhöhung des Speichermediums Erde.

Hier wurden begleitend Betonschürzen ins Erdreich eingebracht, um den Speicher vertikal abzugrenzen und den sich bildenden Wärmesack unter dem Gebäude zu halten. Der Wärmefluss vom Ort höherer Temperatur (an der Oberfläche) in Richtung Tiefe des Speichers stellte sich erwartungsgemäß ein. Auch die Entladung funktioniert wie in der Simulation dargestellt. Dieser Umstand führte zu einem positiven Ergebnis für den nachfolgenden Punkt d), der gerade die Entladung ohne technische Hilfen zum Ziel hatte.

d) Entladung ohne Hilfsprozesse

Herkömmlich muss die Beladung mittels Wärmetauschersysteme samt Umwälzpumpen bewältigt werden, wie auch die Entladung. Das gegenständliche System entlädt sich ohne technische Unterstützung, indem es die Wärme kontinuierlich über den Hallenboden nach oben abgibt. Erst, wenn sich ein Temperaturgefälle zwischen Hallenuntergrund (=Speichermasse) und der in der Halle herrschenden Temperatur einstellt, kommt ein Energiefluss und damit eine Heizung des Raumes zustande.

Punkt erfüllt wie unter c) beschrieben.

Weitere Nebenziele des Speichers:

Die thermische Ankopplung des Erdreiches darunter funktioniert wie ein gigantischer Wärmespeicher und hält die Temperaturschwankungen im Gebäudeinneren klein (Pufferfunktion durch den Hallenuntergrund!).

Wie weiter unten dargestellt, konnte auch dieses Nebenziel erreicht werden. Der Vergleich Simulation- IST zeigt dies sehr deutlich.

Eine solare Kühlung der Laserschweißmaschinen mit anschließender Energiekaskade wird entwickelt und hydraulisch eingeplant. Überschussenergie wird ebenfalls in den Erdwärmespeicher eingespeist.

Der Punkt solar Kühlung wurde umgesetzt und der sich ergebende Energiefluss in die Speisung des Speichers eingebunden. Die Funktion konnte im nunmehrigen Testbetrieb im Demoobjekt einwandfrei dargestellt werden.

Es wird eine eigene, neuartige Energiesteuerung für das gesamte Gebäude inklusive Speicher entwickelt. Es entsteht eine zentrale Steuereinheit für alle Energiebelange. Mit dieser Steuerung wird auch das System Erdwärmespeicher in das Gesamtsystem eingebunden. Die Steuerung wird im Projekt 817 618 (Energiehaushalt) behandelt, da sie Teil des gesamten Energiehaushalts ist.

Die Steuerung wurde vollinhaltlich umgesetzt und ist bereits im Vollbetrieb. Ein Handbuch zur Steuerung wird dem Endbericht als Annex beigelegt.

Aus heutiger Sicht werden ca. 1000 m² solarthermischer Kollektoren am Dach der Halle installiert. Sie liefern die Energie für die solare Kühlung der Laserschweißautomaten, Heizungswärme für die Fußbodenheizungen in den Büros, die Industrieflächenheizung in der Halle und in den Erdwärmespeicher. Im Extremfall (Sommermonate) wird fast die Gesamtenergie in den Erdspeicher gelangen.

Die Fläche der solarthermischen Kollektoren wurde sogar auf 1100 m² erhöht. Die hydraulische Einbindung sowie die Steuerung ist vollinhaltlich umgesetzt und in Funktion.

MESS UND SIMULATIONSERGEBNISSE IM AUSZUG:

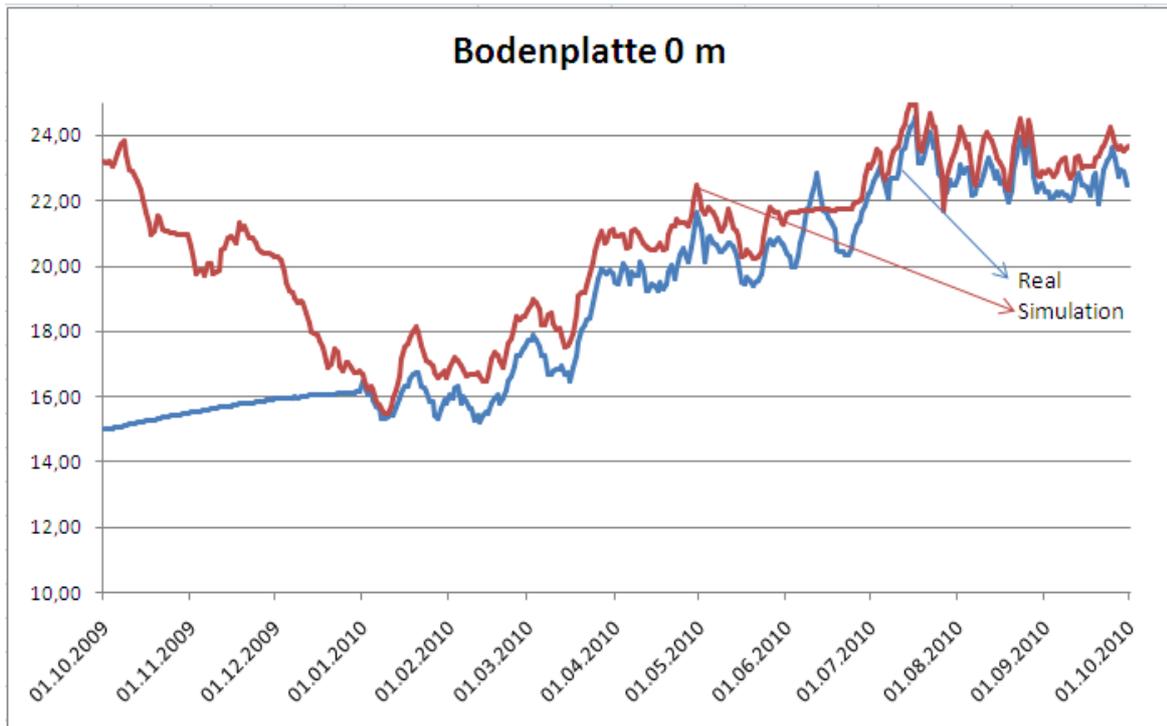
Die gemessenen Temperaturen vom 1. Oktober 2009 bis 1. Oktober 2010
Aufbau der warmen Blase unter der Werkhalle



Die dargestellten Ausreißer sind als Messfehler zu interpretieren. Dennoch ist die Entwicklung deutlich zu sehen.

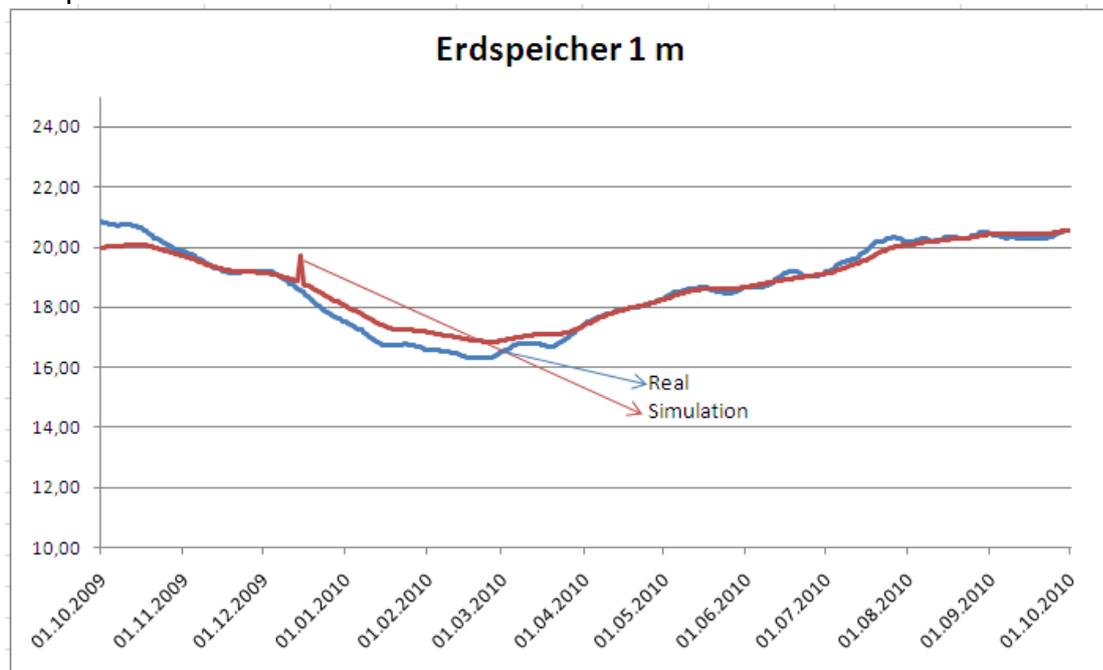
Vergleich Simulation und Messung

Temperatur Oberfläche Hallenmitte

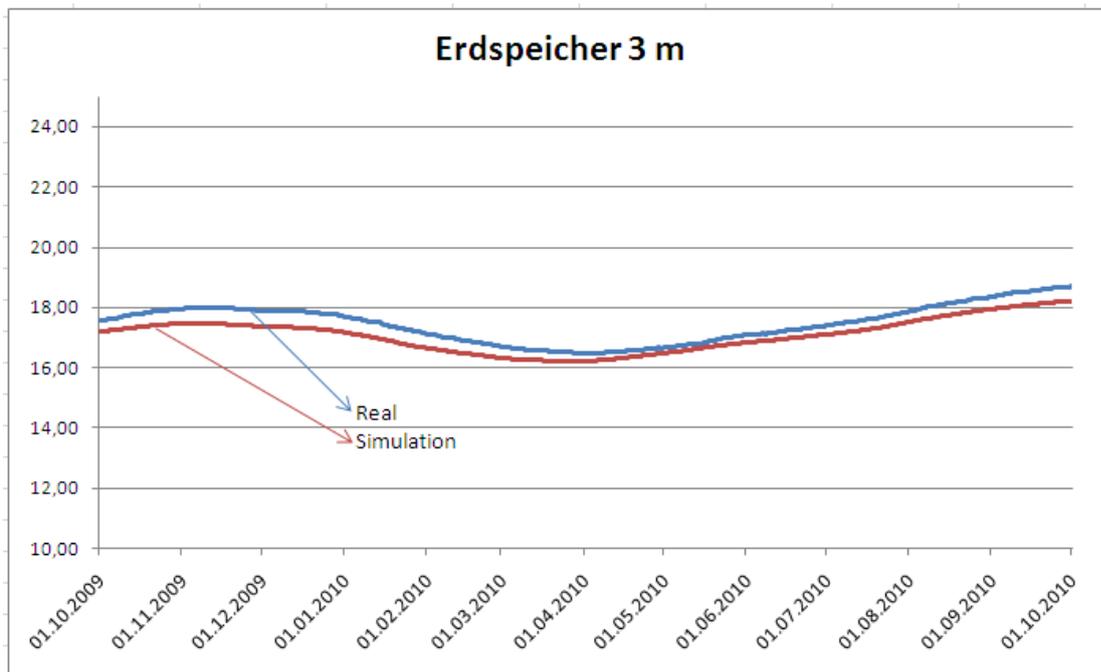


Ganz Das Bild zeigt eine sehr gute Übereinstimmung von Simulation und Realität. Die teilweisen Trendunterschiede ergeben sich mit größter Wahrscheinlichkeit aus ungenauen Startbedingungen für die Simulation, aber auch durch nicht exakte Materialkennndaten.

Temperatur 1 m Tiefe Hallenmitte



Das thermische Verhalten des Erdreiches unter der Halle entspricht den Erwartungen. Differenzen zwischen Messung und Simulationen sind aufgrund der ungenauen Materialkennndaten nicht zu vermeiden. Eine weitere Fehlerquelle sind Ungenauigkeiten bei den Startbedingungen.



Diskussion Erdwärmespeicher

Eine grobe Abschätzung des Potentials der ersten 2 m Erdreich von oben.

Annahmen:

>> Temperaturdifferenz zur Raumtemperatur 2 °K.

>> Rohdichte 2000 kg/m³

>> Wärmekapazität 850 J/kgK

>> Wärmehalt [J] = Kubatur [m³] x Rohdichte [kg/m³] x Temperaturdifferenz [K] x Wärmekapazität [J/kgK].

$$34000 \text{ m}^3 \times 2000 \text{ kg/m}^3 \times 2 \text{ K} \times 850 \text{ J/kgK} = 115600 \text{ MJ} = 32136.8 \text{ kWh}$$

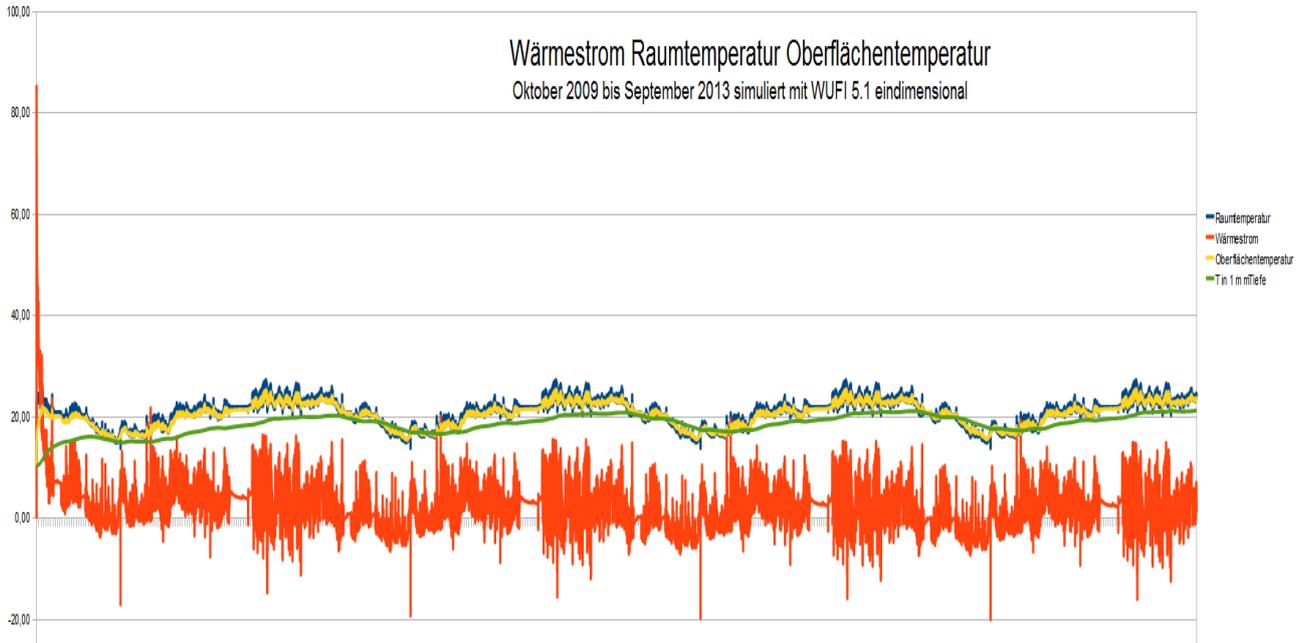
Wenn nun 100 kW von diesem Erdreich an den Raum abgegeben werden, dann dauert es 13,4 Tage bis die Wärmekapazität erschöpft ist. Die Simulationsergebnisse sind nachvollziehbar, wenn der Heizbeitrag des Erdreiches in einem durchschnittlichen Jänner betrachtet wird.

Folgende Parameter beeinflussen die Performance des Erdwärmespeichers:

GEWINNE Abwärme aus Prozessen (Heizung, Lasermaschinen etc.), Personen und Licht entsprechend der Auslastung.	VERLUSTE Transmissionswärmeverluste entsprechend der Temperaturdifferenz. Sie sind anteilig um so kleiner, je vorteilhafter das A/V Verhältnis ist und je kleiner der U-Wert der Hülle ist.
Solare Gewinne nach Verfügbarkeit aufgeteilt auf Direktgewinne durch die Sheds und Solarthermie.	Lüftungswärmeverluste inklusive Infiltrationsverluste, abhängig von Temperaturdifferenz und Auslastung. Dieser Verlustart ist gerade bei großvolumigen Bauten bedeutend. Wesentlich beeinflusst werden diese Verluste von der Dichtheit der Hülle und der Qualität der Wärmerückgewinnung in der Lüftungsanlage.
Gespeicherte Energie vom Sommer im Erdreich gibt Wärme an den Raum ab, abhängig von der Temperaturdifferenz. Je größer der mögliche Raum-Temperaturbereich desto höher der mögliche Heizbeitrag. Weiters wirkt die Bodenplatte kurzfristig und dämpft die täglichen Amplituden vor allem in der Übergangszeit und zu Zeiten großer solarer Gewinne im Frühjahr und Herbst.	Lüften, automatisiert oder händisch entlädt thermisch die Bodenplatte und stellt im Sommer die nächtliche freie Kühlung zur Verfügung. Dies ist hier die Methode der Steuerung der Raumtemperaturen.

Die Bodenplatte mit ihrem darunterliegenden Erdreich dämpft nicht nur die tägliche Amplitude stark, das erwärmte Erdreich kann ca. 2 Wochen mit 6 W/m² oder 100.000 W für die ganze Halle praktisch Heizleistung beitragen. So können Zeiten mit geringen solaren Gewinnen und nur geringfügigen internen Gewinnen (Weihnachtsferien) überbrückt werden. Bei schlechter Auslastung (wenig interne Gewinne) kann bei gleichzeitigem Schlechtwetter auf die Möglichkeit des Heizens auf die Dauer nicht verzichtet werden.

Untersuchung der Wärmeströme Bodenplatte – Raum

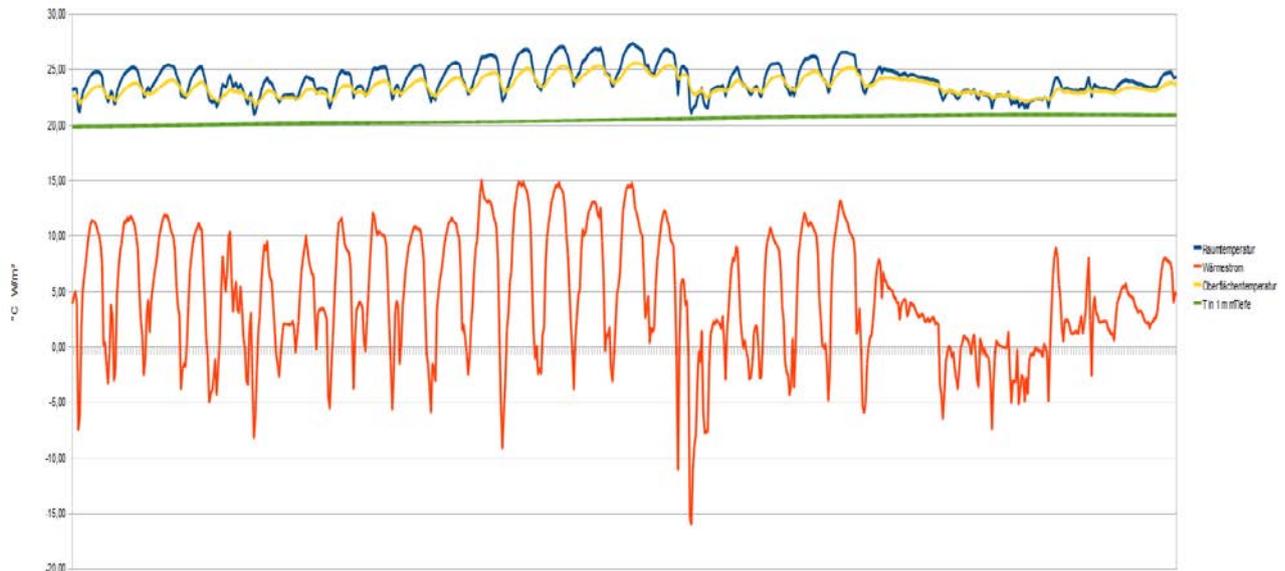


x Achse Zeit, y.-Achse ° Celsius + W/m². Die gemessenen Innentemperaturen wurden als Randbedingung für die Simulation verwendet. Wärmestrom + ist der Strom von Raum ins Erdreich, - ist vom Erdreich in den Raum. Blau Raumtemperatur, Orange Wärmestrom, Gelb Oberflächentemperatur, Grün Temperatur 1 m Tiefe.



x Achse Zeit, y.-Achse ° Celsius + W/m². Die gemessenen Innentemperaturen wurden als Randbedingung für die Simulation verwendet. Wärmestrom + ist der Strom von

Sommerfall Wärmestrom Juli 2012



Raum ins Erdreich, Wärmestrom - ist vom Erdreich in den Raum. Blau Raumtemperatur, Orange Wärmestrom, Gelb Oberflächentemperatur, Grün Temperatur 1 m Tiefe. Bis auf wenige Stunden geht in den ersten 2 Wochen der Wärmestrom vom Erdreich zum Raum. Ab Mitte Jänner 2010 wurde eingheizt und der Wärmestrom geht vom Raum zum Erdreich. Bei üblichem Industriestandard würde die orange Linie 4 bis 5 Punkte nach oben verschoben sein, es käme nur in Ausnahmefällen zu einem Heizbeitrag durch die Bodenplatte. Im herkömmlichen Industriebau führt die deutlich höhere Infiltration zu einer um 2 – 4 ° geringeren Lufttemperatur in Bodennähe und verhindert so einen Heizbeitrag über das Erdreich. Eine Verlustminimierung in den Boden findet aber auch bei üblichem Industriestandard statt.

4. Ausblick und Empfehlungen

Die Entwicklungsarbeiten am Erdwärmespeichers können soweit als abgeschlossen betrachtet werden. Unter verschiedenen Bedingungen (Grundwasser sehr tief liegend, ausreichender Wärmeeintrag, bestimmte Anlaufzeit zur Ladung des Speichers) kann die Entwicklung als Paket in vergleichbaren Objekten zur Anwendung kommen. Eventuell kann es auch noch zu Optimierungen an der Hard- oder Software kommen.

Zum Projektabschluss mit 30.06.2011 kann gezeigt werden, dass sich der Speicher über den Jahreszyklus so verhält, wie dies in der Simulation vorhergesagt wurde.

In der Zukunft geht es nun darum, diese neue Technologie möglichst einer interessierten Öffentlichkeit zu präsentieren und durch den gezielten Einsatz dieses Know Hows einen substanziellen Beitrag zur Energieversorgung auf nichtfossiler Basis für Gebäude von Industrie und Gewerbe zu leisten.

Die heute schon sehr gut angewandte Simulationstechnik könnte Ausgangspunkt für neue Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Simulation sein. So würde eine tiefergehende Erforschung der Materialdaten (in diesem Fall Erdreich), das Verhalten bei Auf- und Entladung, neue Erkenntnisse bringen, die die Simulationstechnik als Werkzeug weiter aufwerten würden.

Auch die Ausbildung des Wärmesacks in seiner Form und Geometrie und die Untersuchung der Randzonen und die dazugehörigen Energieflüsse könnten sinnvoller Gegenstand von neuen Forschungsaktivitäten sein, die helfen würden, das Wesen des Speichers noch besser zu verstehen bzw. ihn noch effektiver zu machen. Gerade hier könnte ein Effizienzsteigerungsprogramm ansetzen, das die Wirtschaftlichkeit der Entwicklung noch erhöhen würde. Damit wäre auch eine beabsichtigte Marktdurchdringung erheblich begünstigt.

Ein weiterer Punkt stellt die Konstruktion der Bodendecke samt Materialeigenschaften sowie Verwendung der Materialien für die Kunststoffrohre dar. Vermutlich könnten mit anderen Mischungen des Betons dünnere Decken realisiert werden. Auch die Langzeitbeständigkeit der verwendeten Materialien unter Einfluss des Be- und Entladens des Speichers ist nicht untersucht.

Abschließend wäre eine Langzeituntersuchung der Temperaturverteilung über vielleicht 20 Jahre in einem derartigen Speicher samt Umwelteinflussanalyse auf die Umgebung des Speichers (Stichwort: Leben unter der Erdoberfläche) als Interdisziplinäre Aufgabe von Technik und Biologie interessant, könnte sie doch Basis für verkürzte Behördenverfahren sein und damit der Entwicklung dienlich sein.

5. Literaturverzeichnis

Entfällt, da Literatur als gesamtes im Endbericht zu 817 619 dargestellt wird.

6. Anhang

Entfällt, da Anhänge im Gesamtprojekt 817 619 mitgeliefert werden. Dies erfolgt aus dem Grund, da Evaluierungsberichte und dergleichen immer das Gesamtprojekt betreffen.