

NEUE ENERGIEN 2020

Publizierbarer Endbericht – INDEX

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

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

1 Einleitung

Das industrielle Forschungsprojekt „RADREC - Energieeffizienzsteigerung in der stahlverarbeitenden Industrie durch Rückgewinnung von Strahlungswärme an der Hakenbahn und an Kühlbetten“ ist dem Themenfeld „Energie in Industrie und Gewerbe“ zugeordnet.

Aufgabenstellung

In den betrachteten Unternehmen der stahlverarbeitenden Industrie (voestalpine Austria Draht GmbH, voestalpine Tubulars GmbH & Co KG) tritt im Verlauf des Produktionsprozesses Strahlungswärme auf. Diese Energie wird ungenutzt an die Umgebung (Produktionshalle) abgegeben und führt zu einer Verschlechterung der Arbeitsbedingungen für die in diesem Bereich beschäftigten Mitarbeiter, vor allem im Sommer. Eine Rückgewinnung dieser Energie würde den Primärenergieeinsatz der Unternehmen deutlich reduzieren und gleichzeitig die Arbeitsbedingungen verbessern.

Die Strahlungswärme tritt in folgenden Bereichen auf:

- voestalpine Austria Draht GmbH: Drahtbundkühlung entlang der Hakenbahn
- voestalpine Tubulars GmbH & Co KG: Kühlbett zur Abkühlung der Nahtlosrohre am Ende des Produktionsprozesses (Walzen) und im Anschluss an die Wärmebehandlung

voestalpine Austria Draht GmbH: Ein hoher Anteil der im Erwärmungssofen (Hubbalkenofen) eingebrachten Energie ist im Walzgut enthalten. Die gewalzten Drahtbunde verlassen die Bundbildekammer mit einer Temperatur von 600 bis 700 °C. In weiterer Folge werden die Drahtbunde nach Verlassen der Bundbildekammer an Bundtransporteinrichtungen übergeben. An der Hakenbahn werden die Drahtbunde ohne Wärmerückgewinnung an der Umgebungsluft ausgekühlt. Zur zumindest teilweisen Rückgewinnung der in den Drahtbunden gespeicherten Energie bietet sich eine Energierückgewinnung entlang der Hakenbahn an. Zur Wärmerückgewinnung sollen die Drahtbunde durch eine mit Wärmetauscherflächen ausgestattete Hakenbahn geführt werden, in der die Bundwärme durch Strahlung an die Wärmetauscherflächen übertragen wird.

voestalpine Tubulars GmbH & Co KG: Am Kühlbett wird dem Endprodukt jene Energie wieder entzogen, welche dem Vormaterial zunächst zugeführt wurde, um eine Umformung und Bearbeitung möglich zu machen. Für die Abkühlung des Endprodukts von ca. 1.000 bis 600 °C auf Umgebungstemperatur wird ein Luftstrom eingesetzt, der durch Gebläse erzeugt wird. Zu diesem Zweck befinden sich derzeit 10 Gebläse unter dem Kühlbett mit einem Luftdurchsatz von jeweils ca. 20.000 m³/h. Direkt über dem Kühlbett befinden sich zwei mal acht Dachventilatoren, wobei die Lufttemperatur in diesem Bereich ca. 50 bis 60 °C beträgt. Direkt am Kühlbett beträgt die Temperatur etwa 800 °C. So wird die Wärme nicht nur direkt an die Umgebung abgeführt, es werden zusätzlich noch große Energiemengen für Gebläse eingesetzt.

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt erfolgt in diesen Bereichen des Produktionsprozesses keine Wärmerückgewinnung, da die Temperaturen in Abhängigkeit vom Produktprogramm schwanken, unterschiedliche Wärmestromdichten auftreten und mögliche auftretende Risiken aufgrund der

relativ hohen Produkttemperaturen und möglichen mechanischen Störungen bisher nicht untersucht wurden.

Zielsetzungen

- Experimentelle Ermittlung des Wärmerückgewinnungspotenzials aus Walzdraht und Nahtlosrohren
- Simulation und konstruktiver Entwurf für die Umsetzung von Gesamtlösungen für die Rückgewinnung von Strahlungswärme
- Einbindung der rückgewonnenen Wärme in die betriebliche Energieversorgung mit dem Ziel, Primärenergie einzusparen
- Wirtschaftlichkeitsberechnung der machbaren, für den Produktionsprozess risikofreien und konstruktiven Lösungen

Aufbau und Methodik

Zur Erreichung der Projektziele und Ermittlung des Wärmerückgewinnungspotenzials aus Walzdraht und Nahtlosrohren wurde eine experimentelle Vorgehensweise in Form eines Versuchsaufbaus im kleinen Maßstab gewählt, weil die Installation von zusätzlichen Baukörpern möglicherweise Störungen des Produktionsablaufes (bezüglich Wärmefluss, Rückwirkung auf das Produkt sowie sicherheitstechnischer Aspekte), die vom theoretischen Standpunkt zum derzeitigen Zeitpunkt nicht vorhersehbar sind, hervorrufen könnte.

Aufgrund der Kenntnis des Wärmerückgewinnungspotenzials sowie der im Rahmen der Versuche aufgetretenen Störfälle und Schwierigkeiten wurde im nächsten Schritt eine apparative Lösung für die großflächige Umsetzung der Wärmerückgewinnung am Hubrechenkühlbett und der Hakenbahn entwickelt und die Einbindung der rückgewonnenen Wärmemenge in das betriebliche Energieversorgungssystem geplant sowie eine Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Gesamtinvestitionen durchgeführt.

Zur Erreichung der Projektziele wurden folgende Arbeitspakete definiert:

- Planung, Konstruktion, Bau und Inbetriebnahme der Versuchsanlage
- Versuchsdurchführung voestalpine Austria Draht GmbH
- Versuchsdurchführung voestalpine Tubulars GmbH & Co KG
- Auswertung der Versuchsergebnisse, Wärmerückgewinnungskonzept voestalpine Austria Draht GmbH, voestalpine Tubulars GmbH & Co KG
- Wirtschaftlichkeit
- Projektmanagement

2 Inhaltliche Darstellung

Entsprechend der definierten Arbeitspakete wurde im ersten Schritt jeweils eine Versuchsanlage für die voestalpine Austria Draht GmbH und die voestalpine Tubulars GmbH & Co KG konzipiert, konstruiert, gefertigt und installiert. An beiden Standorten wurden folgende Rahmenbedingungen hinsichtlich der Ausführung der Versuchsanlagen definiert:

- Notlaufeigenschaften
- Autarkie des Systems
- Mindestabstand zu Transportmechanik und Rohren bzw. zu den Drahtbunden
- Robustheit (auch gegen Verschmutzung)
- einfache Reinigung
- einfacher Aufbau und Abbau
- Variabilität des Systems (Messmöglichkeit an verschiedenen Positionen)

2.1 voestalpine Austria Draht GmbH

2.1.1 Versuchsanlage

Die konstruierte Versuchsanlage bestand aus einem zweigeteilten Aufbau mit aktiver und passiver Seite. Ziel war es, den Drahtbund möglichst vollflächig zu umschließen und somit so wenig Wärmeenergie wie möglich entweichen zu lassen. Die beiden Teile der Versuchsanlage wurden mit Transportrollen versehen. Damit war es möglich, in einfacher Weise an verschiedensten Stellen der Hakenbahn Messungen durchzuführen.

In Kombination mit der passiven Seite wurde eine Tunnelwand gebildet. Die passive Seite dient hauptsächlich als Reflektor der Wärmestrahlung, aber auch dazu, die Konvektionsluft durch den Wasserkühler zu bringen. Auf der aktiven Seite befand sich daher einerseits ein konventioneller Radiator, welcher auf Höhe des Drahtbundes angebracht wurde und hauptsächlich den Strahlungsanteil der übertragenen Wärmemenge aufnehmen soll, andererseits wurde im oberen angestellten Bereich ein Wasserkühler installiert, welcher jenen Anteil der Wärmemenge aufnimmt, der mittels Konvektion übertragen wird. Um den Volumenstrom durch den Kühler zu erhöhen, wurde zusätzlich ein Ventilator angebracht (vgl. Abbildung 1).

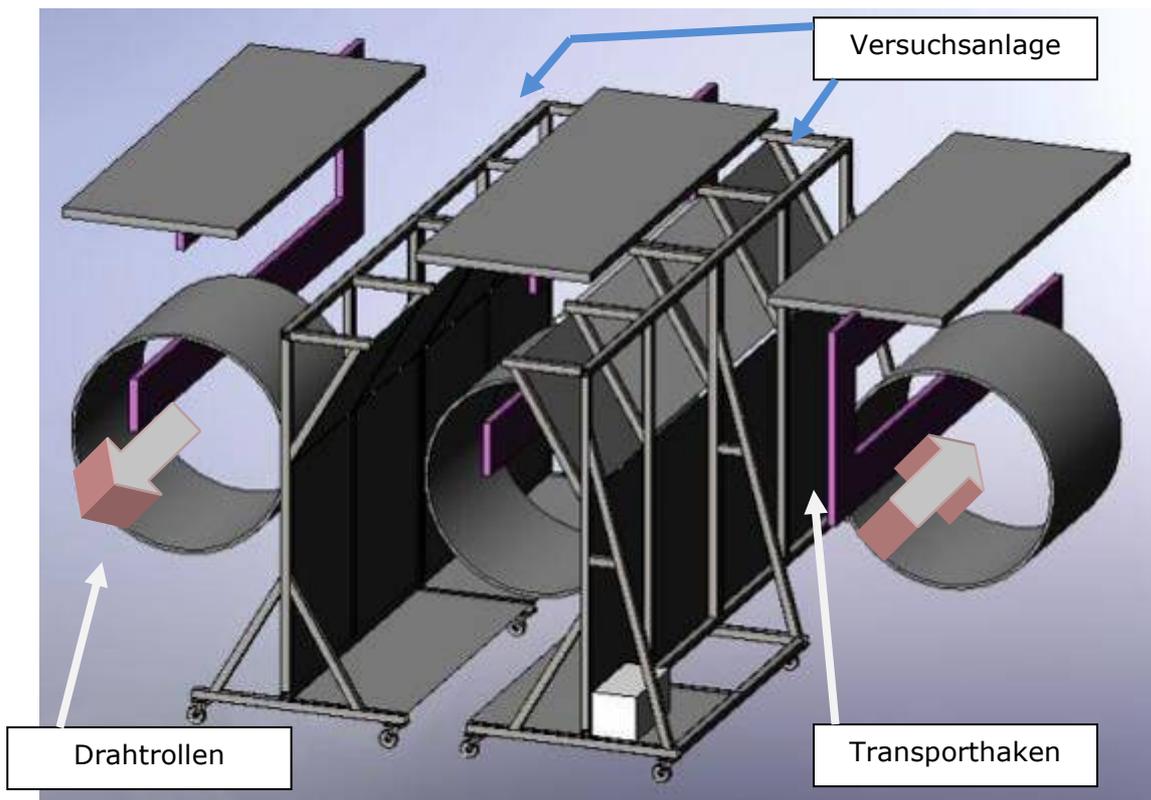


Abbildung 1: Zusammenbauzeichnung der Versuchsanlage

2.1.2 Versuchsdurchführung

Für das Versuchsprotokoll wurden bei der Versuchsdurchführung hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Messergebnisse folgende Produktionsdaten dokumentiert: Drahtdurchmesser, Bundgewicht, Stahlmarke, Ident-Nummer, Legetemperatur am Windungsleger und Kühlprogrammnummer. Weiters wurden der Beginn und das Ende der Messung, der Wasserdurchfluss und ev. auftretende Besonderheiten dokumentiert.

Im ersten Schritt wurden Drahtbunde aus der Hakenbahn ausgeschleust und in der Versuchsanlage über eine halbe Stunde gemessen.

In Abbildung 2 wird der Leistungsverlauf im Rahmen der Messung am ersten ausgeschleusten Drahtbund dargestellt.

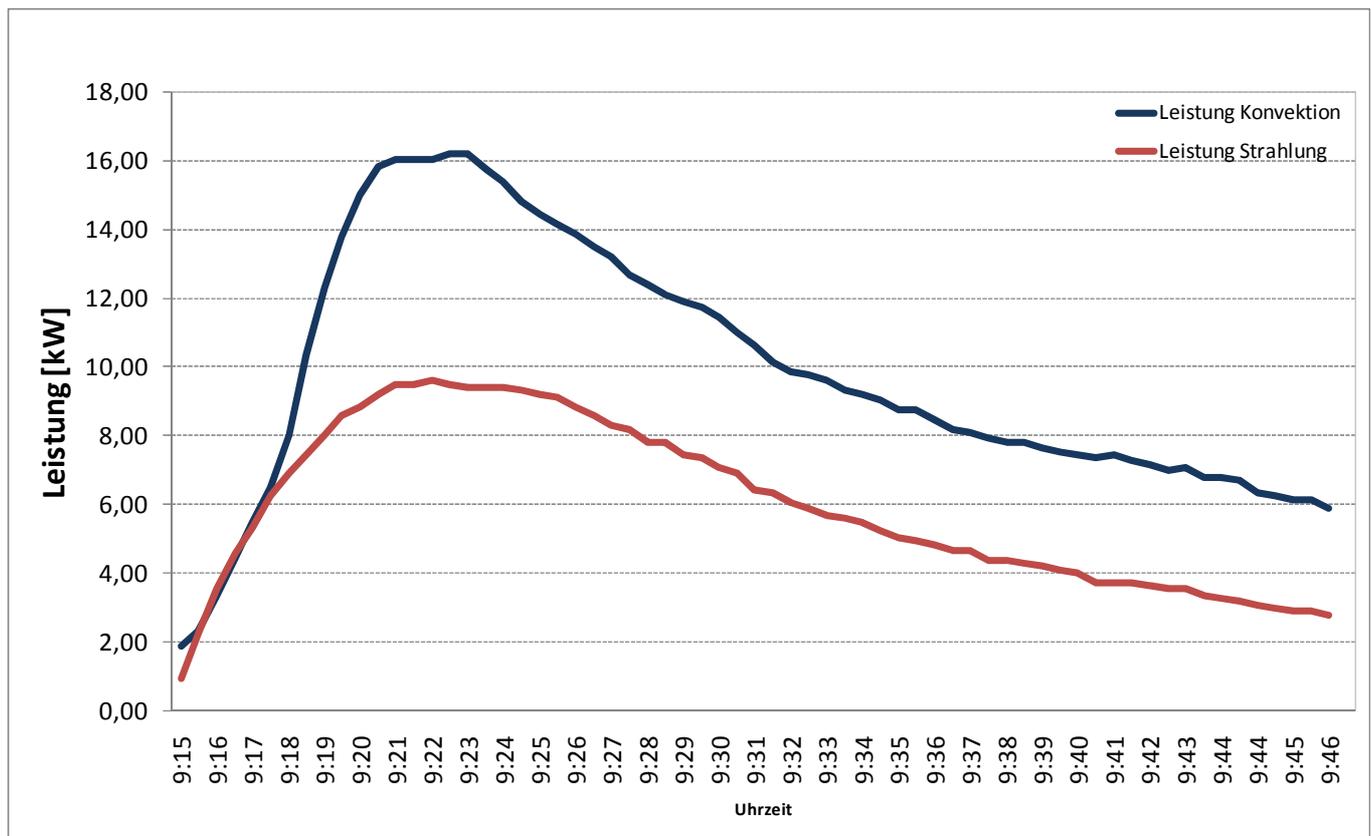


Abbildung 2: Leistungsverlauf – Drahtbund 1

Im nächsten Schritt wurde die Versuchsanlage in den laufenden Abkühlprozess an einem ausgewählten Punkt an der Hakenbahn integriert. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die rückgewinnbare Leistung in der Versuchsanlage bei einem ausgeschleusten Drahtbund erwartungsgemäß höher ist als im laufenden Produktionsprozess. Vergleicht man diese mit einer vereinfachten Strahlungsaustauschrechnung (errechnete Leistungswerte in $[W/m^2]$) bei einer Bundtemperatur von $400\text{ }^{\circ}\text{C}$, ergibt sich folgendes:

- errechneter Wert: $7,22\text{ kW/m}^2$ Kollektorfläche
- gemessene Maximalwerte an den ausgeschleusten Drahtbunden: $9,59\text{ kW/m}^2$; $6,52\text{ kW/m}^2$; $13,13\text{ kW/m}^2$
- gemessene Maximalwerte mit der Versuchsanlage in der laufenden Produktion: zw. $4,40$ und $7,17\text{ kW/m}^2$

Die Leistung schwankt stark und hängt im Wesentlichen von der zeitgleichen Anzahl der Drahtbunde in der Hakenbahn ab.

Die Versuchsanlage wurde über einen Zeitraum von vier Wochen im Produktionsfluss mit und ohne Reflexionswand getestet (vgl. Abbildung 3).



Abbildung 3: Versuchsanlage im Produktionsfluss mit Reflexionswand

Standort der Versuchsanlage

Als Standort für die Versuchsanlage wurde ein Haltepunkt der Drahtbunde gewählt, sodass die Drahtbunde bei vollem Strang immer vor der Versuchsanlage halten. Ist die gesamte Hakenbahn mit Bundnen voll, verweilen die Drahtbunde ca. 18 Sekunden vor der Anlage. Das Zeitintervall zwischen dem Weitertransport des Drahtbundes bis zum nächsten Haltepunkt eines Drahtbundes vor der Versuchsanlage beträgt ca. 13 Sekunden. Bei geringeren Produktionsmengen halten die Drahtbunde nicht, sondern werden ohne Haltepunkt weiter transportiert.

Datenaufzeichnung:

- Vorlauf- und Rücklauf-temperatur von Konvektion und Strahlung
- Diskontinuierliche Messung des Wasserdurchflusses für den Strahlungs- und Konvektionsanteil. Die Durchflussmenge wurde auf 0,222 l/s eingestellt.

Datenauswertung:

- Auf Basis der Vorlauf- und Rücklauf-temperaturen und der Durchflussmenge wurde die Leistung [kW] berechnet. Zur weiteren Auswertung der Versuchsdaten wurde die Leistung in kW/m² Kollektorfläche berechnet.

Auf Basis der Leistungen [kW/m²] wurden Mittelwerte für Strahlung und Konvektion über den Produktionstag ermittelt. Zusätzlich wurde ein Messfeld an der Betonwand installiert. Es wurde an den Versuchstagen der Temperaturverlauf an der Betonwand unter normalen Betriebsbedingungen und die Leistungen für Strahlung und Konvektion zeitgleich gemessen.

In Abbildung 4 werden der Leistungsverlauf von Strahlung und Konvektion am Versuchstag, die entsprechenden Mittelwerte über einen Produktionstag und die zum Zeitpunkt der Messung produzierten Drahtdimensionen dargestellt.

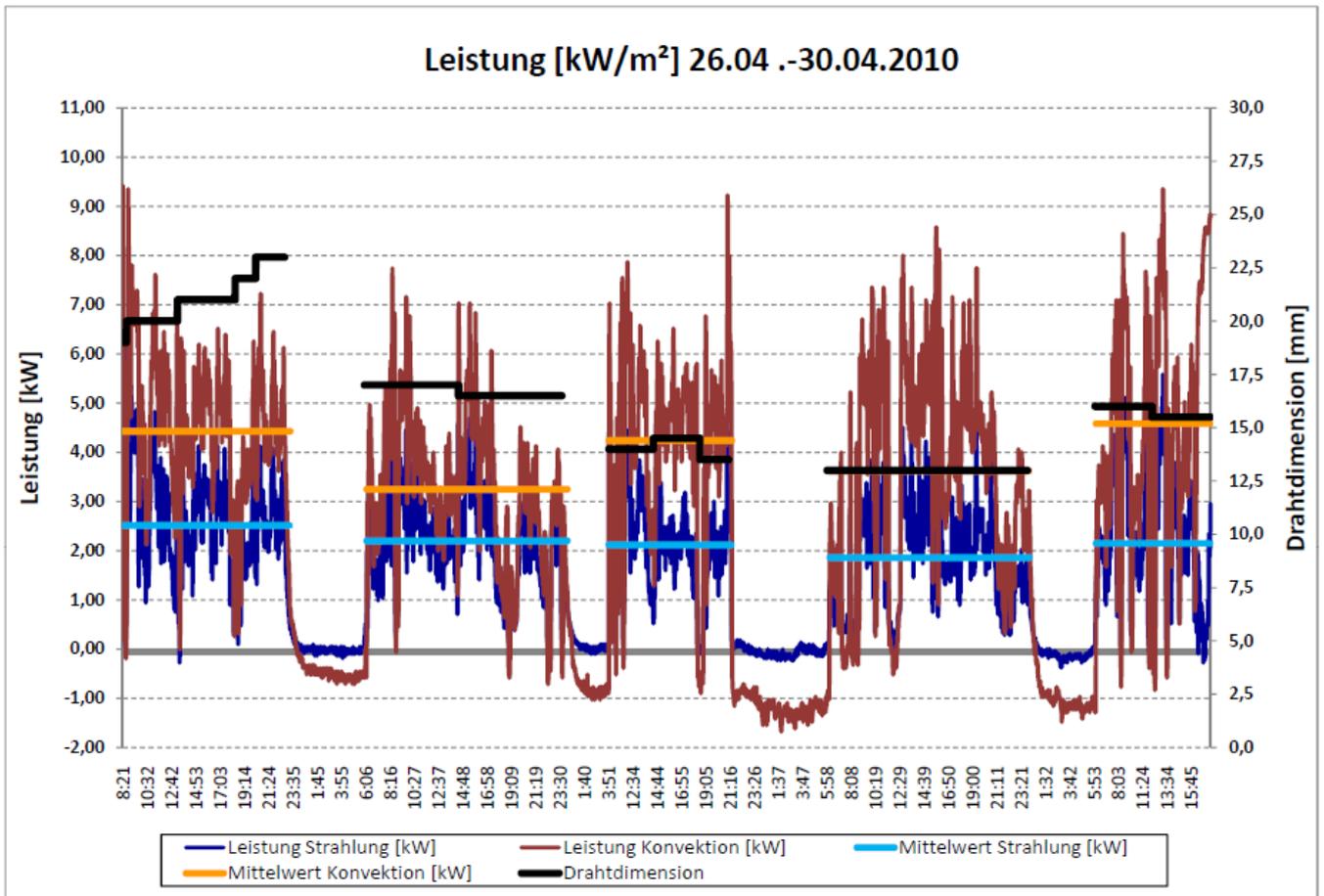


Abbildung 4: Versuchsergebnisse von 26.-30.04.2010

In Abbildung 5 wird der Temperaturverlauf an der Betonwand seitlich der Hakenbahn von allen Messfeldern über die Gesamtlänge der Bahn dargestellt.

Messfeld 1-4 (26.04.2010 06:00 - 30.04.2010 22:00)

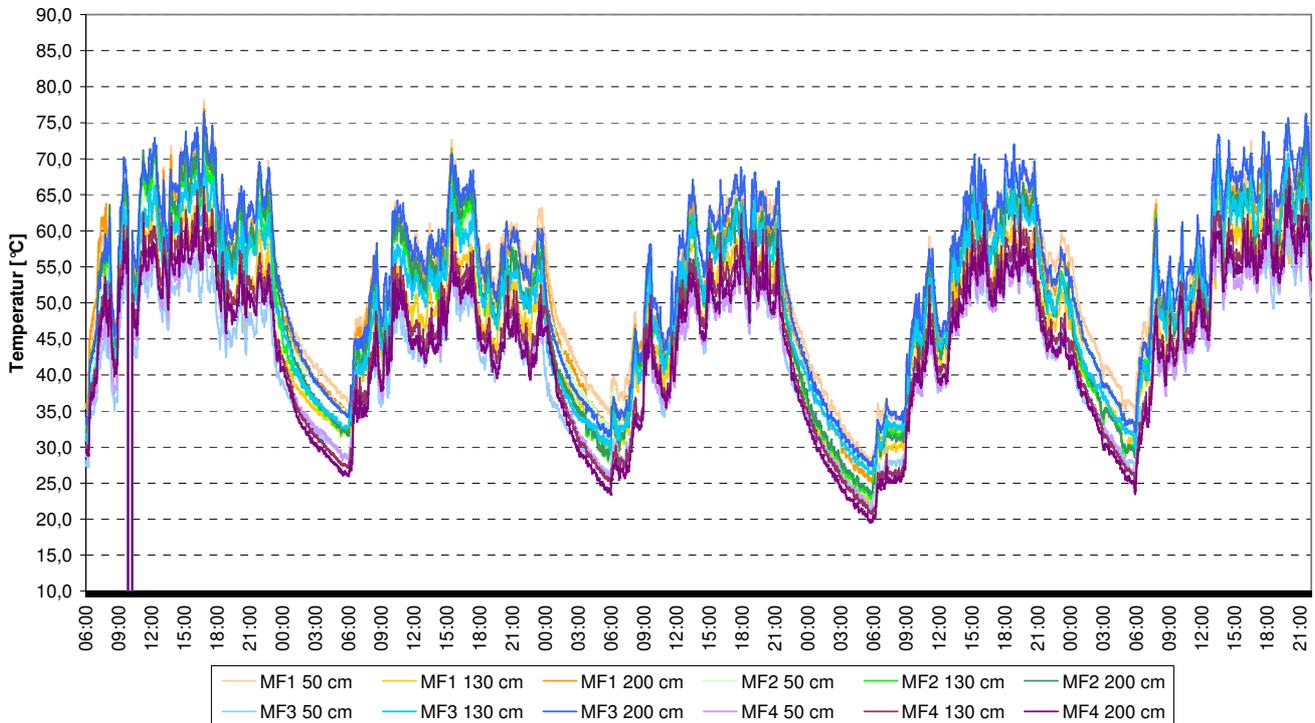


Abbildung 5: Temperaturprofil Betonwand – Übersicht aller Messfelder

Die niedrigste Temperatur liegt bei 19,5 °C (Messfeld 4 in einer Höhe von 200 cm). Die höchste gemessene Temperatur beträgt 78,1 °C und wurde am Messfeld 1 in der Höhe von 50 cm gemessen.

2.1.3 Wärmerückgewinnungspotenzial

In der nachfolgenden Abbildung werden das Wärmerückgewinnungspotenzial des Strahlungsanteils für eine installierte Wärmetauscherfläche von 112 m², der Mittelwert und die zum Zeitpunkt der Messung produzierten Drahtdimensionen dargestellt.

Für die Ermittlung des Wärmerückgewinnungspotenzials wurde nur der Strahlungsanteil berücksichtigt. Dieses basiert auf den Leistungen [kW/m²] und ist als Hochrechnung auf Basis der Versuchsergebnisse zu sehen.

Es werden insgesamt 20 Einzelmodule mit jeweils 5,6 m² Wärmetauscherfläche installiert, wobei für 10 Module nur die halbe Leistung und für 10 Module ein Verlustabschlag von 5 % in der Berechnung berücksichtigt werden.

In Abbildung 6 werden das Wärmerückgewinnungspotenzial, basierend auf den Versuchsergebnissen, die Mittelwerte für die Leistung [kW] über einen Produktionstag und die Drahtdimensionen dargestellt.

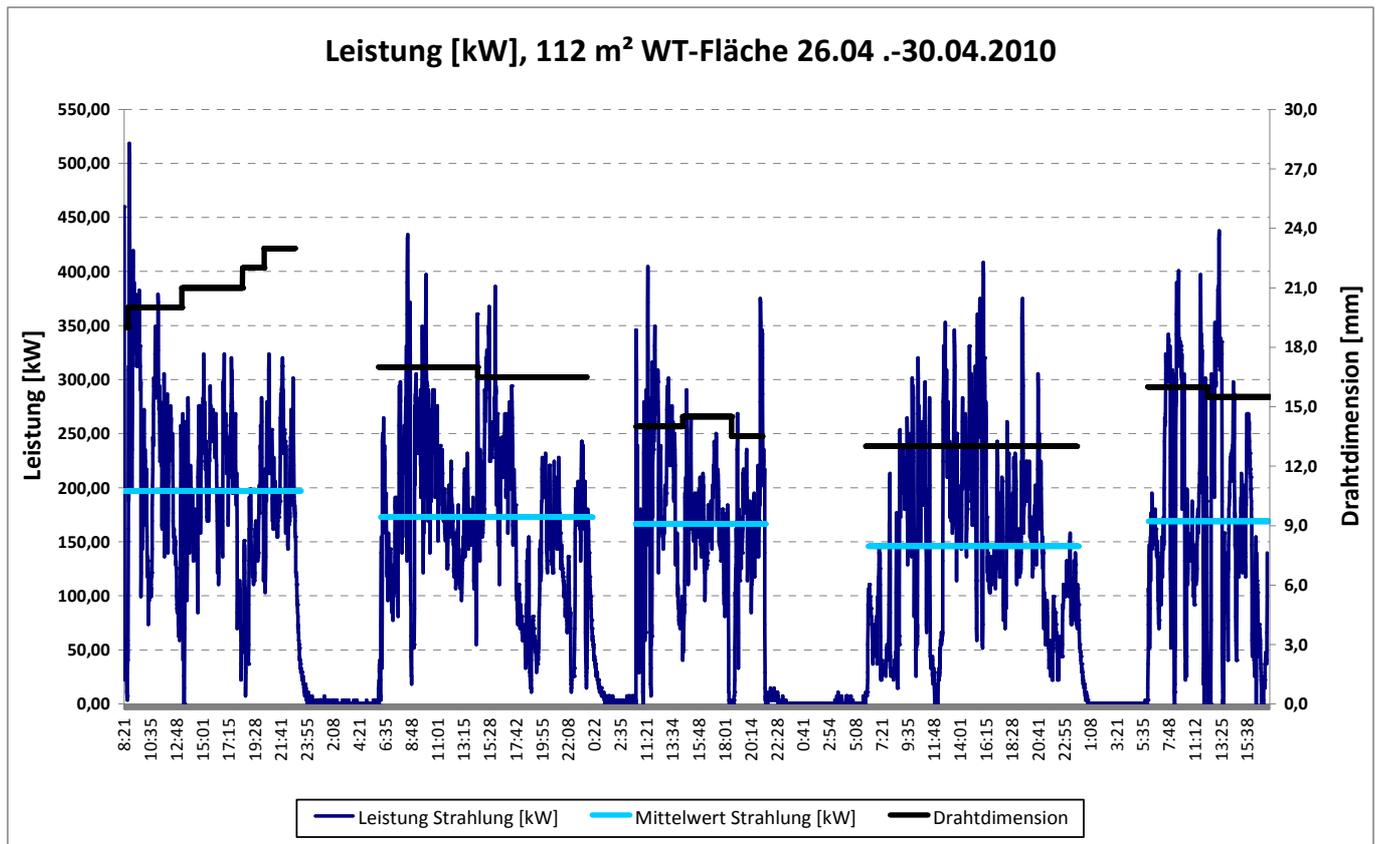


Abbildung 6: Wärmerückgewinnungspotenzial von 26.-30.04.2010

2.1.4 Wärmerückgewinnungskonzept

Das Konzept umfasst die Beschreibung und Kalkulation der Anlage in zwei Ausprägungsvarianten. Variante 1 (vgl. Abbildung 7) beschreibt dabei eine Lösung mit einer Regelbarkeit jedes einzelnen der Teilfelder unabhängig durch die SPS, während Variante 2 (vgl. Abbildung 8) die Lösung mit einer Regelung des Durchflusses je Bereich beschreibt. Beide Varianten werden im Folgenden mit den jeweiligen Vor- und Nachteilen sowie der Kostenbetrachtung erläutert.

Variante Durchflussregelung und -überwachung für jedes Feld

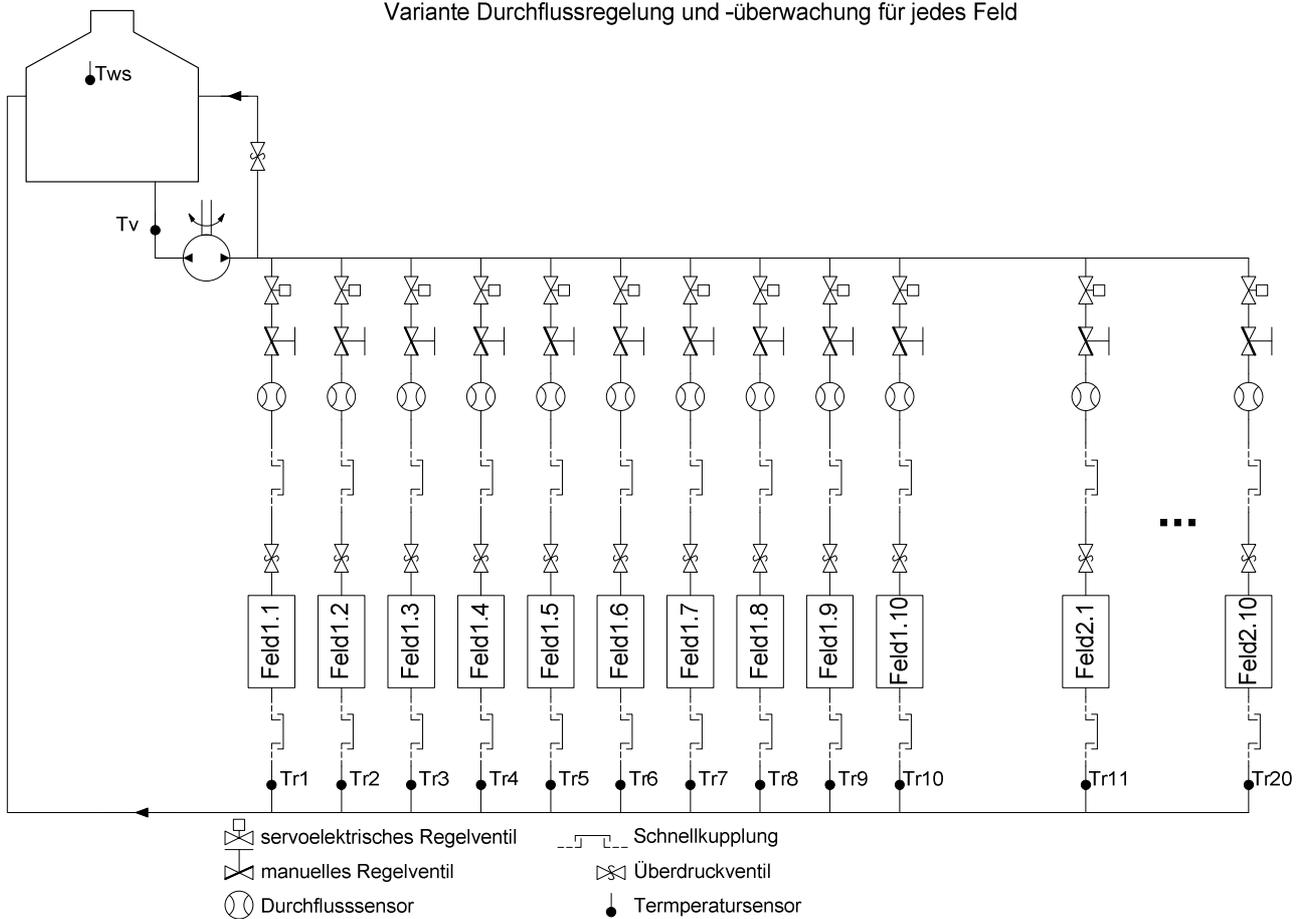


Abbildung 7: Schema Gesamtanlage Variante 1

Bei Variante 1 (vgl. Abbildung 7) wird jedes der in Summe 20 Felder zur Wärmerückgewinnung über ein eigenes servoelektrisches Regelventil angesteuert bzw. der Durchfluss geregelt. Über diese Durchflussregelung kann die Rücklauf­temperatur als Funktion der Vorlauf­temperatur geregelt und dadurch das gewünschte Temperaturniveau, auch bei wechselnden Bedingungen, zur Wärmerückgewinnung gehalten werden. Die Versorgung des gesamten Systems wird über eine drehzahlregelbare Wasserpumpe realisiert. Über die Drehzahlregelung wird auch die Fördermenge der Pumpe geregelt. Die Fördermenge setzt sich aus den einzelnen Teilströmen (ermittelt über Durchflusssensoren) der jeweiligen Felder zusammen. So wird gewährleistet, dass die Pumpe immer nur jenen Volumenstrom fördert, der auch tatsächlich für die Wärmerückgewinnung benötigt wird.

Neben der automatischen Regelung des Durchflusses kann dieser für jedes Feld auch manuell geregelt werden. Mit diesen manuellen Ventilen können einzelne Felder gänzlich geschlossen, d.h. der Durchfluss auf null reduziert werden. Über Schnellkupplungen kann jedes Feld einfach von der zentralen Zu- und Rückleitung entkoppelt werden. Dadurch wird gewährleistet, dass kein Wasser austreten kann. Sollte ein Feld entkoppelt werden und trotzdem im Bereich des Kühlstranges verbleiben, so würde das darin befindliche Wasser unkontrolliert heißer werden. Um eine Beschädigung der einzelnen Felder bzw. die Gefahr des Berstens der Rohre oder Radiatoren

aufgrund des Überdruckes zu vermeiden, werden auf jedem Feld Überdruckventile angebracht. Da die Pumpe nicht auf null Fördermenge regeln kann, sondern immer eine minimale Fördermenge liefert, wird für den Fall, dass nicht die gesamte Fördermenge verbraucht wird, mit einem Überdruckventil eine Bypassleitung geöffnet und so die überschüssige Fördermenge direkt in den Wasserspeicher geleitet.

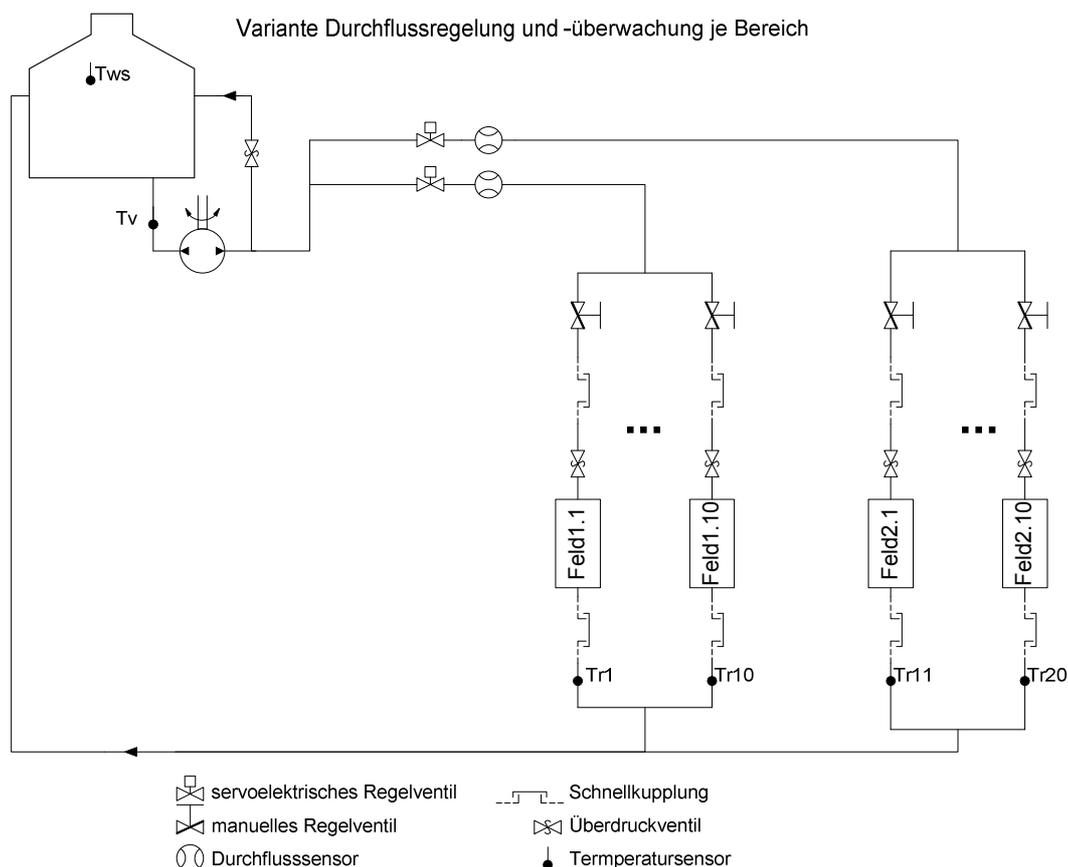


Abbildung 8: Schema Gesamtanlage Variante 2

Bei Variante 2 (siehe Abbildung 8) werden die Bereiche 1 und 2 über ein servoelektrisches Regelventil angesteuert und der tatsächliche Durchfluss über jeweils einen Durchflusssensor erfasst. Der Durchfluss für jedes einzelne Feld kann dann gesondert nur über das jeweils vorhandene manuelle Ventil gesteuert werden. Die restliche Steuerung der Anlage erfolgt analog zu Variante 1. Diese Variante ist im Vergleich zu Variante 1 wesentlich billiger, bietet jedoch eine deutlich geringere Regelbarkeit.

Bei beiden Varianten kann bezüglich Frostschutz im Winter entweder das System als geschlossener Kreislauf betrieben und demzufolge das Wasser mit Frostschutz versetzt werden oder, bei Realisierung eines offenen Kreislaufes, ein Mindestdurchfluss bei entsprechend temperiertem Vorlauf das System vor Frost schützen. Sollten einzelne Felder bei Frostgefahr gänzlich von der Anlage entkoppelt oder sogar die gesamte Anlage außer Betrieb genommen werden, so müssten sowohl die

einzelnen Felder als auch die Vor- und Rückläufe entleert werden, was über die manuellen Ventile jederzeit möglich ist.

Steuerungs- und Regelungstechnik

Für die Nutzung der rückgewonnenen Wärmeenergie wird ein möglichst hohes Temperaturniveau des Wassers benötigt. Die Anlage wird daher so konzipiert, dass die Temperatur des Rücklaufes in Abhängigkeit von der Temperatur des Vorlaufes geregelt oder diese auf ein bestimmtes Niveau eingestellt werden kann. Dazu muss in weiterer Folge der Durchfluss in Abhängigkeit von der Temperatur geregelt werden. Der tatsächliche Durchfluss wird über Durchflusssensoren ermittelt und die Stellung der Durchflussregelventile gegebenenfalls angepasst.

Die Fördermenge der Pumpe wird über die Stellung der einzelnen Durchflussventile ermittelt, um zu gewährleisten, dass die Pumpe nicht mit voller Leistung gegen die Ventile arbeitet. Dazu wird die Drehzahl der Pumpe über einen Frequenzumrichter gesteuert und so die Fördermenge eingestellt.

Zusätzlich zu den durch die SPS automatisch betätigten Ventilen wird noch der Einbau von Rückschlagventilen und manuellen Absperrventilen geplant, um die Anlage beispielsweise manuell außer Betrieb nehmen und einzelne Felder entleeren und/oder demontieren zu können.

Aus der Kombination der Rückflusstemperaturen der jeweiligen Felder und den Werten der Durchflusssensoren werden die Eingangsparameter für das SPS-Programm ermittelt und die entsprechenden Stellgrößen an die Pumpe bzw. die servoelektrischen Regelventile übertragen.

Steuerung

Für die Steuerung der oben beschriebenen Gesamtanlage ist eine programmierbare Steuerung notwendig, welche vom IFT dimensioniert wurde.

Die Steuerung muss folgende Komponenten beinhalten:

- Bedieneinheit (zur Visualisierung und Bedienung)
- Steuereinheit (hier läuft das tatsächliche Programm)
- E/A Baugruppen (zur Ansteuerung der Aktuatoren und als Eingänge für Sensoren)
- Netzteil

Pumpe

Die Messergebnisse der Versuchsanlage wurden mit einem Durchfluss von ca. 0,222 l/s (entspricht 0,8 m³/h) ermittelt. Die Fläche zur Rückgewinnung der Strahlungswärme bei der Versuchsanlage betrug 2 m², wodurch sich für die Gesamtanlage von 20 Elementen mit jeweils ca. 4 m² Fläche zur Rückgewinnung der Strahlungswärme ein benötigter Volumenstrom von 32 m³/h ergibt. Um entsprechende Reserven zur Verfügung zu haben, wird die Pumpe auf ein Fördervolumen von 40 m³/h ausgelegt.

Mittels Regelung der Pumpendrehzahl über einen Frequenzumrichter kann die Fördermenge der Pumpe auf ca. 10 m³/h reduziert werden.

Durchflussregelventil

Das Durchflussregelventil ist notwendig, um den Volumenstrom der einzelnen Felder anpassen zu können. Über ein Stellglied und einen Servomotor werden die Signale der SPS in eine Stellung des Durchflussventils umgelegt.

Messtechnik

Zur Überwachung und Steuerung der Anlage sind verschiedene Sensoren notwendig, welche die Eingangsdaten für die SPS darstellen. Die Temperatur der verschiedenen Anlagenteile wird über Thermoelemente erfasst, welche bereits in der Versuchsanlage im Einsatz waren. Zur Datenübertragung vom Ort der Messung an die SPS können die Sensoren direkt verkabelt werden oder es kann bspw. ein WLAN-Modul zum Einsatz kommen. Als Durchflussmessgerät wird ein so genannter induktiver Wasserzähler verwendet, der direkt in die Rohrleitung verschraubt wird.

2.1.5 Wirtschaftlichkeitsberechnung

In Abbildung 9 wird das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung dargestellt. In der Berechnung wurden die Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten und gutgeschriebenen Wärmekosten berücksichtigt. Weiters wurden Varianten mit Teuerung, mögliche Kosten für CO₂-Zertifikate und eine Investitionsförderung berechnet.

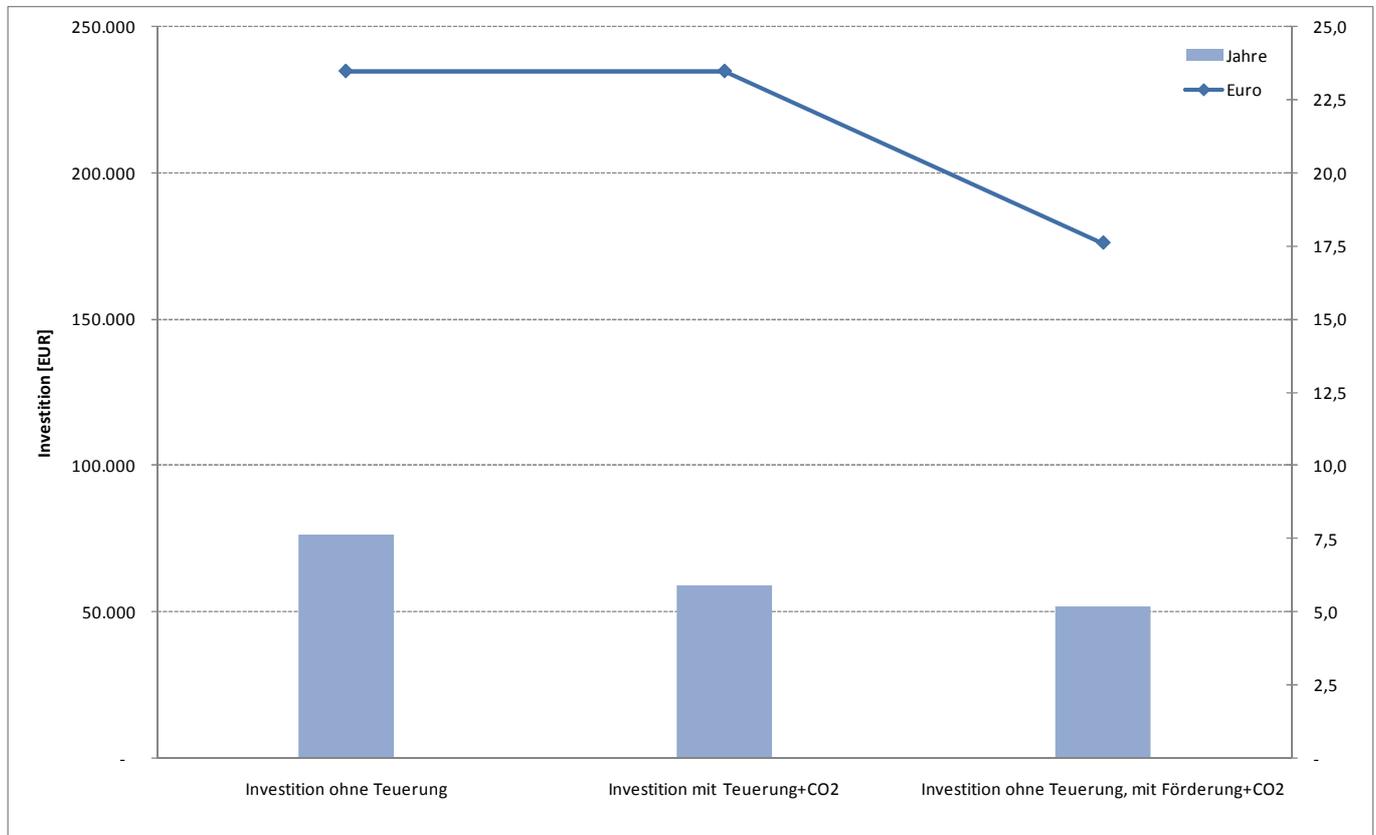


Abbildung 9: Amortisationszeit – voestalpine Austria Draht GmbH

2.2 voestalpine Tubulars GmbH & Co KG

2.2.1 Versuchsanlage

Eine grundlegend andere Versuchsanlage wurde unter dem Hubrechenkühlbett, im Nahtlosrohrwalzwerk der voestalpine Tubulars GmbH & Co KG, installiert. Bei diesem Versuchsaufbau war es äußerst wichtig zu gewährleisten, dass der Abkühlvorgang nicht negativ beeinflusst wird. Die Rohre, welche eine Länge von bis zu 90 m aufweisen können, kommen am Ende des Walzprozesses mit einer Temperatur von ca. 850 °C auf das Kühlbett und werden in weiterer Folge während des Kühlprozesses über einen Hubrechen transportiert. Unter diesem Kühlbett wird Kühlluft eingeblasen. Diese Luft strömt durch die Rohre und wird über Ventilatoren an der Hallendecke an die Umgebung abgegeben. Die Taktzeit der Weitergabe ist auf die Produktionszeit abgestimmt. Nachdem die Rohre über die gesamte Kühlbettbreite transportiert wurden, ist der Abkühlprozess weitgehend abgeschlossen.

Im Vergleich zur Versuchsanlage bei der voestalpine Austria Draht GmbH ist es nicht möglich einzelne Rohre auszuschleusen und zu testen. Daher wurde eine Konstruktion entwickelt, die direkt unter dem Kühlbett positioniert werden kann. Die Anlage wurde so dimensioniert, dass diese zwischen den Stehern des Kühlbettes Platz findet und gleichzeitig die Mechanik des Hubrechens nicht stört. Aufgrund der örtlichen Gegebenheiten musste die Endmontage vor Ort erfolgen.

Da sich die Versuchsanlage zur Wärmerückgewinnung unter dem Kühlbett der Nahtlosrohre befindet, kann nur der Strahlungsanteil genutzt werden. Um dies möglichst effizient gewährleisten zu können, muss die projizierte Fläche, die für den Wärmetauscher zur Verfügung steht, so groß wie möglich sein. Daher wurde ein Rohrsystem mit seitlichen Flossen verwendet, wobei diese schräg angestellt wurden und daher nicht verbunden sind.

Auf diese Weise wird einerseits die angestrahlte Fläche maximiert und andererseits gewährleistet, dass der, sich von den Rohren lösende, Zunder durch die Konstruktion fallen kann. Diese Flossenrohrwand wurde auf einer geschweißten Vorrichtung aus Formrohren aufgebaut. Mit dieser Unterkonstruktion können die Flossenrohre sowohl in der Höhe wie auch im Anstellwinkel variiert werden.

Gemessen werden bei dieser Anlage der Vorlauf, der Rücklauf, die Umgebungstemperatur und der Durchfluss. Dazu werden Mantelthermoelemente eingesetzt und mittels eines Eingangsmoduls für die weitere Verwendung in einem PC aufbereitet.

Sämtliche Messdaten der Thermoelemente und des Durchflussmessers werden von einem LabView-Programm aufgezeichnet und in einer Textdatei gespeichert. Das Wasser wird direkt vom vorhandenen Netz zur Verfügung gestellt und anschließend während der Dauer der Versuche in das Abwassersystem zurückgeführt.

2.2.2 Versuchsdurchführung

Durch die fixe Installation der Versuchsanlage unter dem Kühlbett kann eine Dauermessung durchgeführt werden (vgl. Abbildung 10).



Abbildung 10: Installierte Versuchsanlage unter dem Hubrechenkühlbett im Nahtlosrohrwalzwerk

Von den Mitarbeitern der voestalpine Tubulars GmbH & Co KG wurde der Messaufbau überwacht und ggf. auftretende Probleme, wie z.B. Verschmutzungsgrad der Versuchsanlage, dokumentiert. Nach der ersten Dauermessung von 8 Tagen lagen erste Auswertungen über das Wärmerückgewinnungspotenzial vor. Eine wesentliche Grundlage für die Aussagekraft der Messergebnisse stellt eine Auswertung der Kühlbettbelegung und damit verbunden des Produktionsmixes dar. Hinsichtlich der Auswertung wurde für jeden Versuchstag eine Auswertung der Leistung [kW] durchgeführt und die dazugehörige Kühlbettbelegung (Einfach- oder Doppelbelegung, Rohrdurchmesser, Wandstärke, Rohrlänge) ausgewertet.

Die Versuche wurden an 2 Stellen des Kühlbetts (Messfeld 1: Abstand am Einlauf, Messfeld 2: Abstand zum Einlauf 3 m) durchgeführt.

In Abbildung 11 wird exemplarisch die für eine Woche ermittelte Leistung pro m² am 1. Messfeld dargestellt.

Neue Energien 2020 - 1. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes - managed by Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft

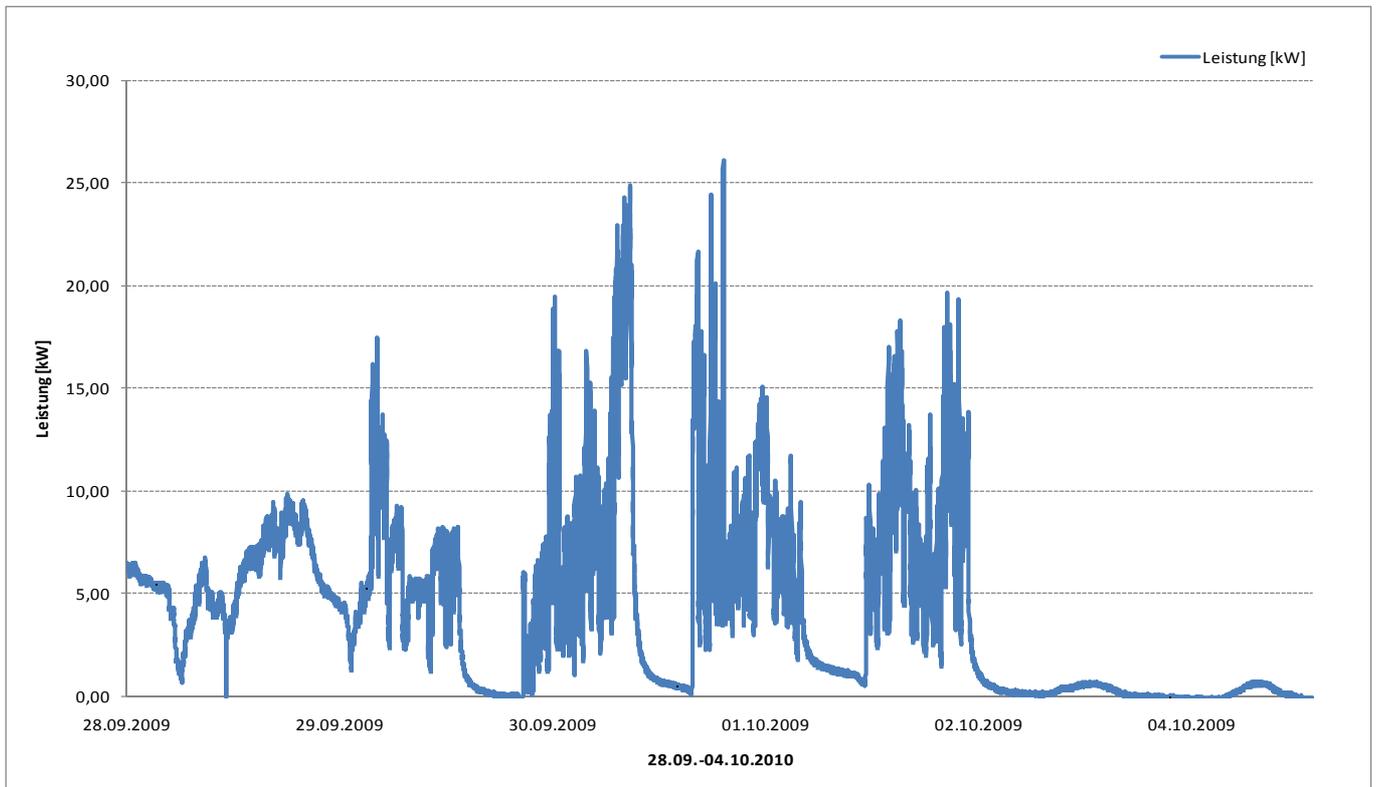


Abbildung 11: Gemessene Leistung [kW] pro m² am 1. Messfeld

In Abbildung 12 wird exemplarisch die für eine Woche ermittelte Leistung pro m² am 2. Messfeld dargestellt.

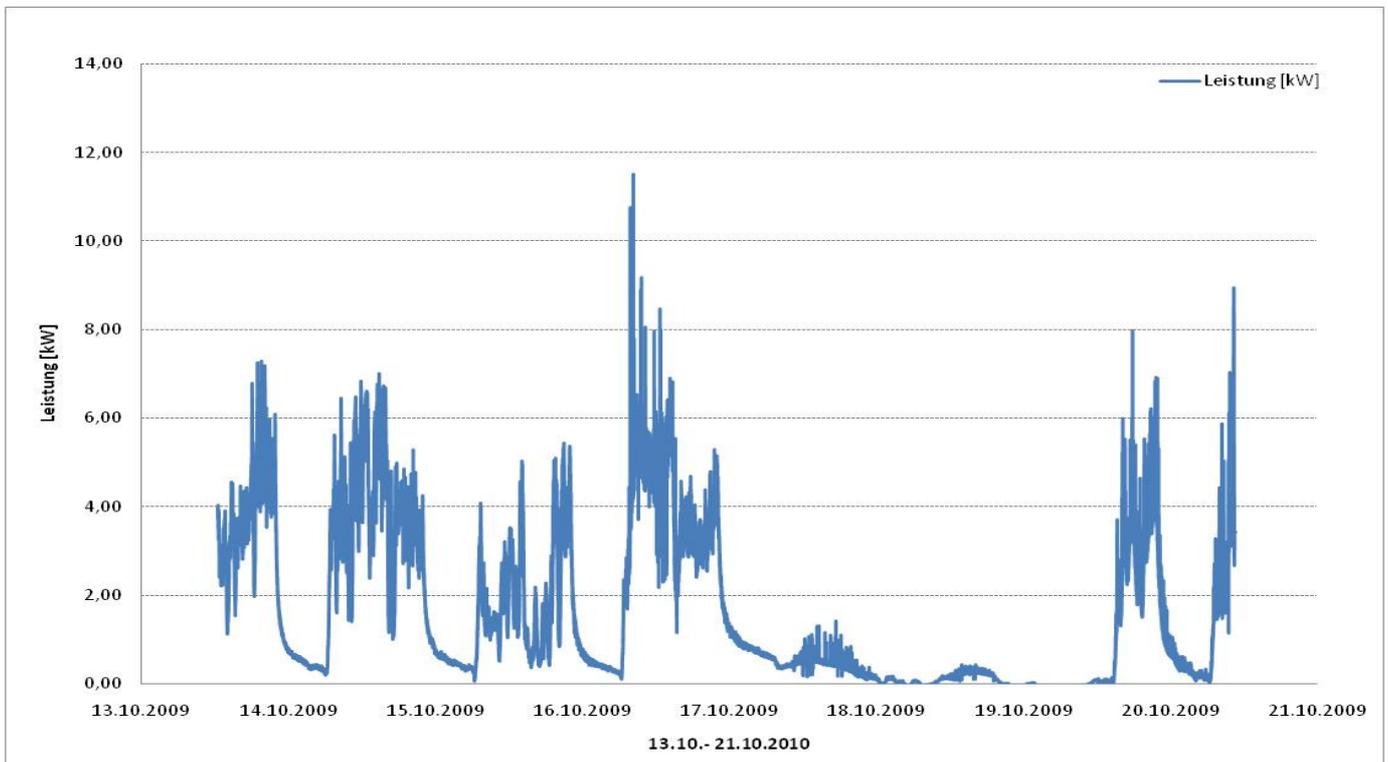


Abbildung 12: Gemessene Leistung [kW] pro m² am 2. Messfeld

2.2.3 Wärmerückgewinnungspotenzial

Die Aufgabenstellung für die Durchführung von Simulationsrechnungen im Hinblick auf das rückgewinnbare Wärmepotenzial war es, ein Konzept zu entwickeln, wie die Strahlungswärme am Kühlbett für die Versorgung verschiedener Wärmesenken nutzbar gemacht werden kann.

Als Wärmesenken für die am Kühlbett rückgewonnene Wärme werden folgende Leistungen und Betriebszeiten definiert:

- Hallenheizung: Erdgasverbrauch 35 m³/h
- Korbwaschanlagen
- Gestängeheizung

In Tabelle 1 werden der Erdgasverbrauch in den einzelnen Bereichen und die daraus resultierende Leistung dargestellt.

Tabelle 1: Erdgasverbrauch pro Jahr

Verbraucher	Erdgasverbrauch [Nm ³ /a]	kWh	Leistung [kW]
Hallenheizung	46.930	464.605	350
Korbwaschanlagen	26.880	266.112	140
Gestängeheizung	41.018	406.075	105
Summe	114.828	1.136.792	595

Rahmenbedingungen für die Simulationsrechnung

Auf Basis der erhobenen Daten für den Zeitraum vom 15.09. bis 02.10.2009 wurden für die Installation der Wärmerückgewinnung im ersten Schritt der Simulation folgende Annahmen getroffen:

- **Fläche: 180 m²** für die Berechnung der verfügbaren Wärmeleistung. Die Wärmerückgewinnung wird in 3 Sektoren (30 m x 3 m) installiert, da die Rohrlängen auch bei einer Doppelbelegung¹ stark variieren (vgl. schematische Darstellung in Abbildung 13), hochgerechnet über die Fläche aus den Messdaten.

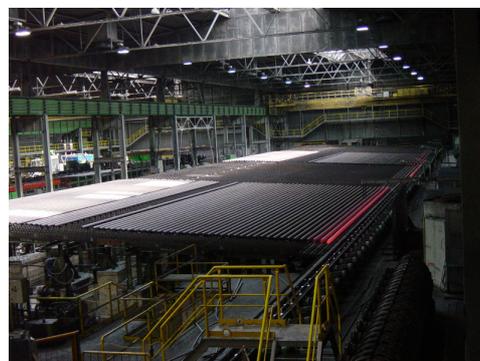
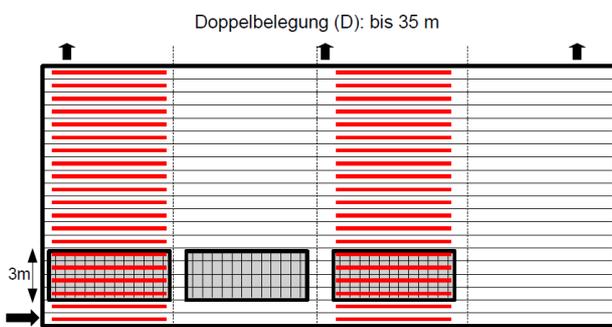


Abbildung 13: Schematische Darstellung und Foto einer Doppelbelegung

¹ Die Doppelbelegung (D) wird bei Rohren bis 35 m Länge durchgeführt

- **Benötigte Wärmeleistung:** konstant 600 kW

Die Wärmeleistung setzt sich aus 350 kW für die Hallenheizung, 105 kW für die Korbwaschanlagen und 105 kW für die Gestängeheizungen zusammen. Die Leistung für die Korbwaschanlagen und die Gestängeheizung wurde, ausgehend von der Nennleistung der derzeit betriebenen Heizungskessel, ermittelt.

- **Speichervolumen:** 50 m³
- **Vorlauf/Rücklauftemperatur:** 40 °C/70 °C

Ergebnisse der Simulation

Mit den zuvor beschriebenen Rahmenbedingungen und basierend auf den im Messzeitraum erfassten Daten werden in den nachfolgenden Abbildungen die verfügbare Wärmeleistung und die Speicherleistung im entsprechenden Zeitraum dargestellt.

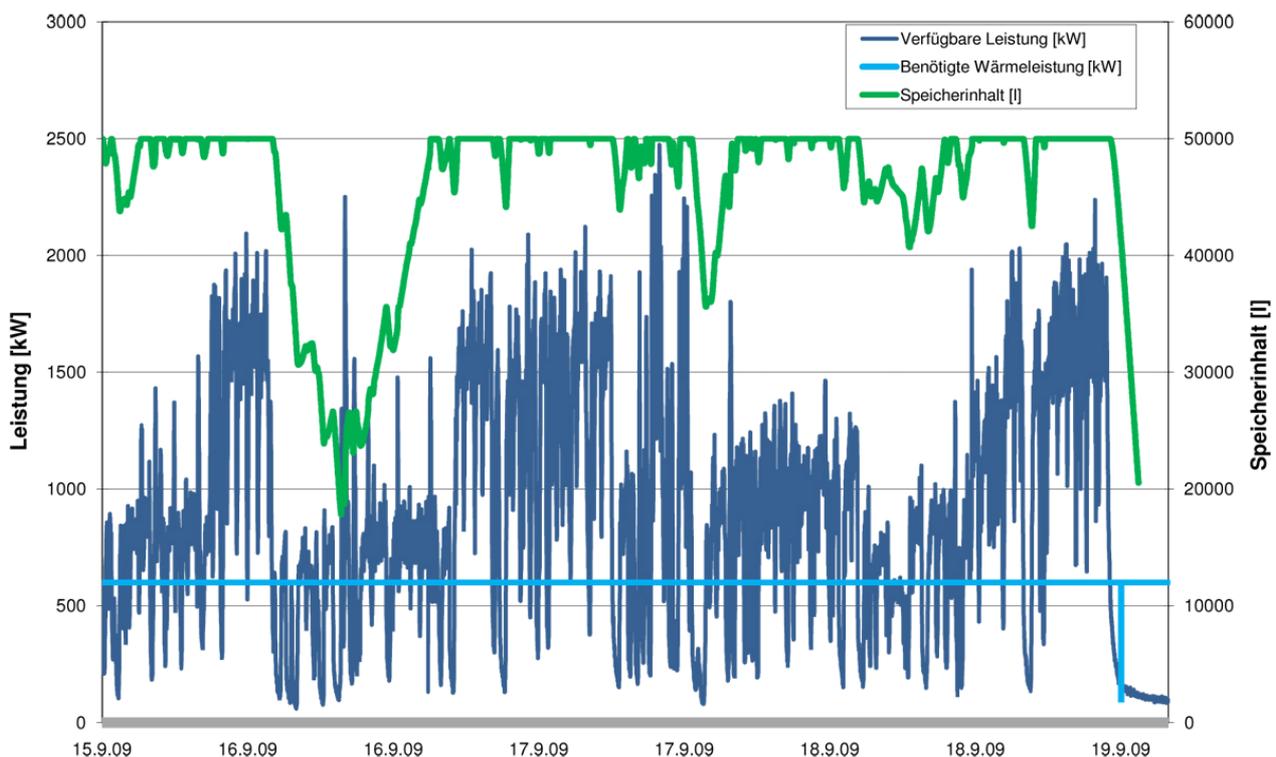


Abbildung 14: Verfügbare Wärme- und Speicherleistung 15.-19.09.2009²

In Abbildung 14 ist das Speichervolumen von 50 m³ ausreichend, um Produktionsstillstände in der Produktion zu überbrücken. In den anderen Zeiträumen reicht das Speichervolumen nicht aus, um Produktionsstillstände von bis zu 8 Std. zu überbrücken, das gilt auch für das Wochenende. Je nach Produktionsprogramm würde auch eine höhere Wärmemenge zur Verfügung stehen. Eine Vergrößerung des Speichervolumens würde erheblich höhere Investitionskosten bedeuten.

² Kollektorfläche: 180 m² (Annahme 100 % Abdeckung), Speichervolumen 50 m³, reale Wärmeleistung [kW/m²] aus den Versuchsdaten (1. Messfeld), konstante Leistung 600 kW

Da ein System sowohl für die Hallenheizung als auch für die Korbwaschanlage und Gestängeheizung besteht, sollte in der praktischen Umsetzung dieses Systems für Produktionsstillstände, für die das Speichervolumen als Überbrückung nicht ausreicht, betrieben werden. Daher ist die Anbindung an die Regelung vorzusehen.

Im zweiten Schritt der Simulation wurde das reale Produktionsprogramm berücksichtigt. Es wurde für den Zeitraum von einer Woche die real abgedeckte Fläche am Kühlbett, welche von der Belegungsart und der Rohrlängen abhängt, ermittelt.

In Abbildung 15 wird die verfügbare Wärmeleistung auf Basis der real abgedeckten Kühlbettfläche und der Bedingung der konstant benötigten Wärmemenge dargestellt. Es wird deutlich, dass mit diesem Produktionsprogramm die geforderte Wärmeleistung durch die Rückgewinnung teilweise (zeitweise) erreicht wird, jedoch keine relevante Speicherbeladung gegeben ist.

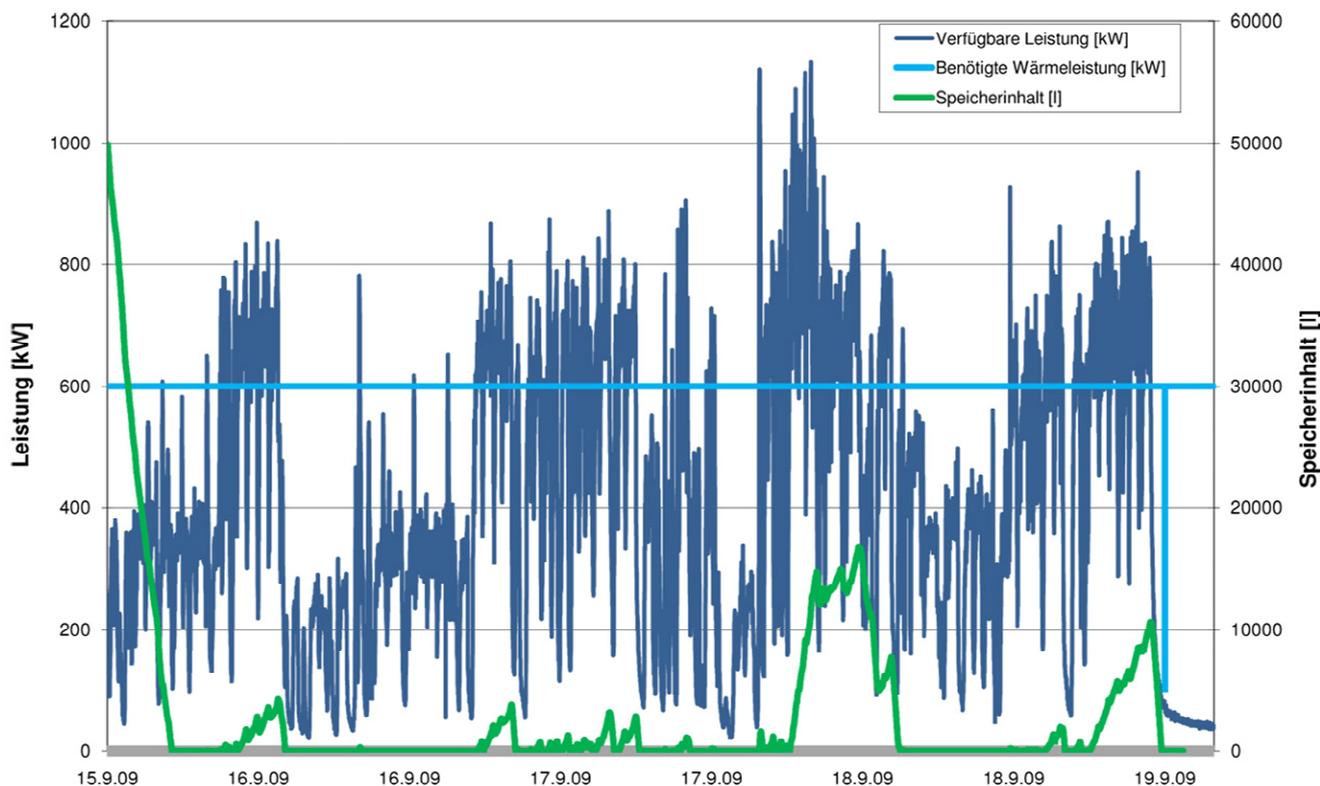


Abbildung 15: Verfügbare Wärme- und Speicherleistung 15.-19.09.2009³

In Abbildung 16 wurde die konstant benötigte Wärmemenge auf eine Leistung von 350 kW reduziert. Eine Beladung des Speichers (50 m³) findet statt und die Leistung von 350 kW kann konstant zur Verfügung gestellt werden.

³ Kollektorfläche: tatsächliche Abdeckung durch Rohre, Speichervolumen 50 m³, reale Wärmeleistung [kW/m²] aus den Versuchsdaten (1. Messfeld), konstante Leistung 600 kW

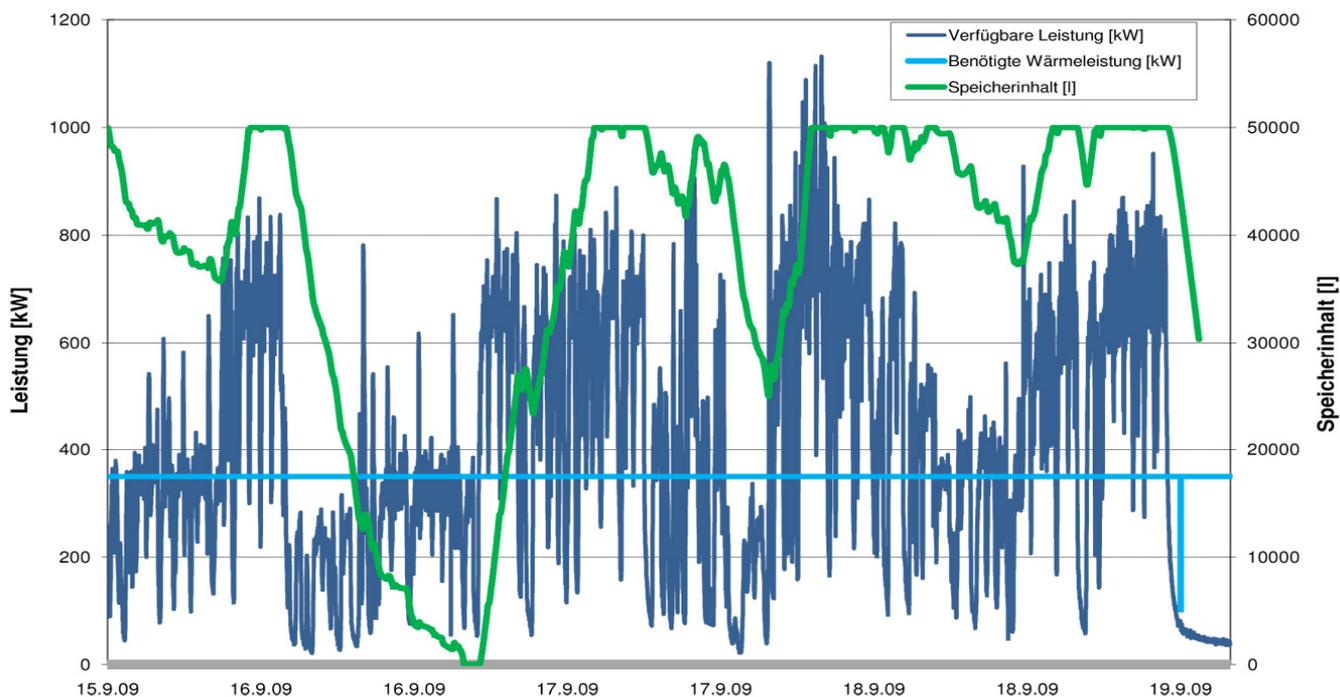


Abbildung 16: Verfügbare Wärme- und Speicherleistung 15.-19.09.2009⁴

In Abbildung 17 wurden ebenfalls die konstant benötigte Leistung sowie das Speichervolumen auf 25 m³ reduziert. Es wird deutlich, dass mit dem geringeren Speichervolumen die konstante Leistung von 350 kW nicht zur Verfügung gestellt werden kann.

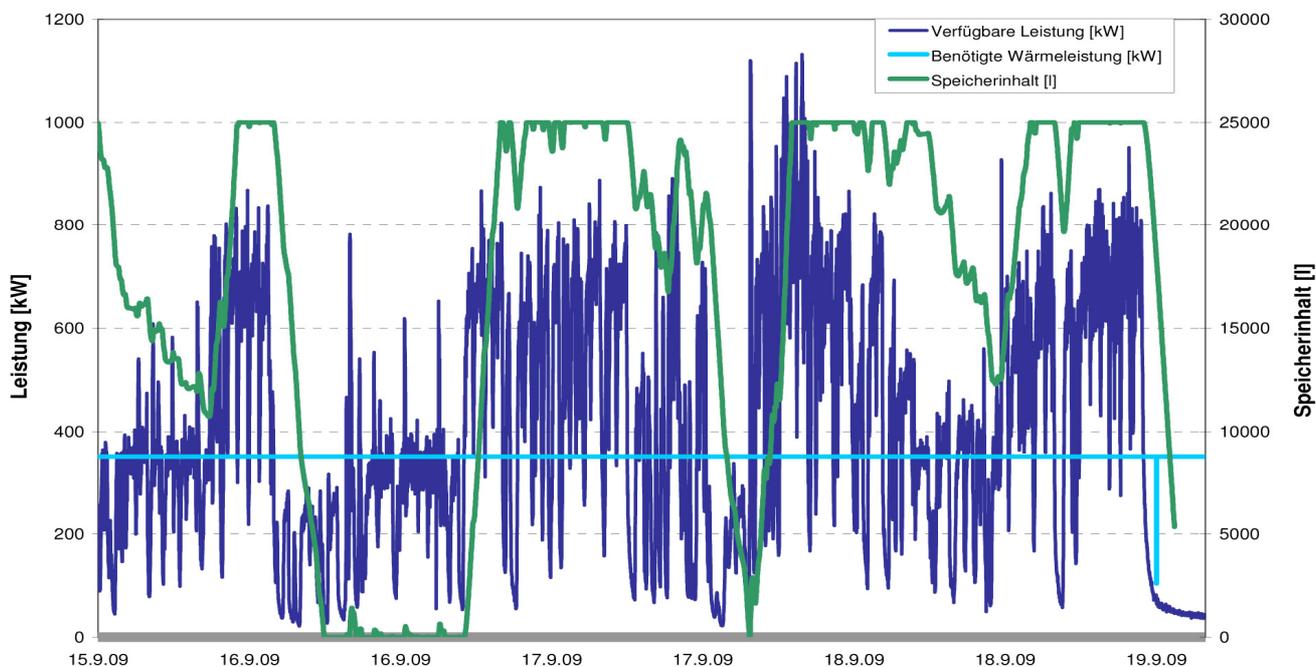


Abbildung 17: Verfügbare Wärme- und Speicherleistung 15.-19.09.2009⁵

⁴ Kollektorfläche: tatsächliche Abdeckung durch Rohre, Speichervolumen 50 m³, reale Wärmeleistung [kW/m²] aus den Versuchsdaten (1. Messfeld), konstante Leistung 350 kW

In Abbildung 18 wird die Simulation mit den ermittelten Wärmeleistungen aus dem zweiten Messfeld wiederholt. Dabei wird eine konstant benötigte Wärmeleistung von 150 kW angenommen.

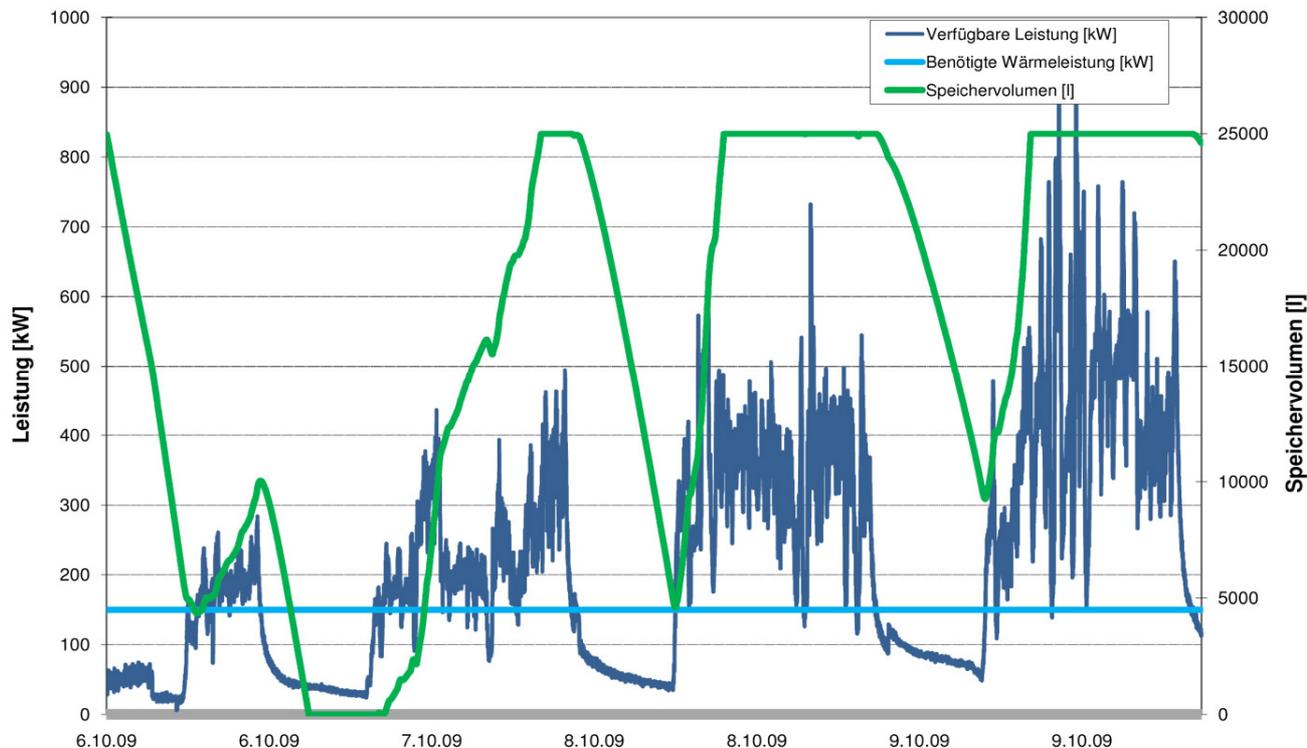


Abbildung 18: Verfügbare Wärme- und Speicherleistung 06.-09.10.2009⁶

Mit diesem Produktionsprogramm, den ermittelten Leistungen und einer konstant benötigten Leistung von 150 kW wird der Speicher beladen. Die definierte Wärmemenge konnte bis auf den 07.10.2010 zur Verfügung gestellt werden.

Da die Messergebnisse von beiden Messfeldern nicht zeitgleich ermittelt wurden, kann noch keine Aussage getroffen werden, ob eine benötigte Leistung von 600 kW konstant zur Verfügung steht. Bei den getrennten Betrachtungen wurde jeweils ein Speicher mit 25 m³ berücksichtigt.

⁵ Kollektorfläche: tatsächliche Abdeckung durch Rohre, Speichervolumen 25 m³, reale Wärmeleistung [kW/m²] aus den Versuchsdaten (1. Messfeld), konstante Leistung 350 kW

⁶ Kollektorfläche: tatsächliche Abdeckung durch Rohre, Speichervolumen 25 m³, reale Wärmeleistung [kW/m²] aus den Versuchsdaten (2. Messfeld), konstante Leistung 150 kW

2.2.4 Wärmerückgewinnungskonzept

Das gegenständliche Konzept umfasst eine Anlage mit folgenden Bereichen (siehe Abbildung 19):

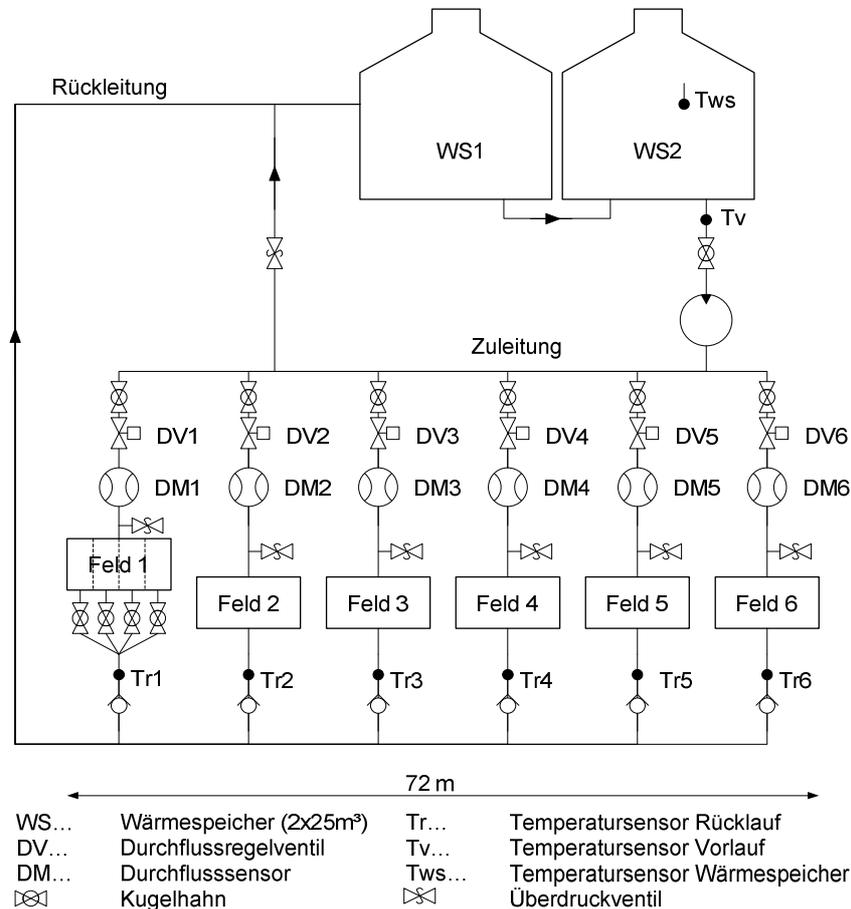


Abbildung 19: Schema Gesamtanlage

Die sechs Felder zur Wärmerückgewinnung werden jeweils getrennt über ein Durchflussregelventil mit Wasser versorgt. Dazu wird der von der Pumpe gespeiste Vorlauf, dessen Temperatur mit einem Thermoelement erfasst wird, auf sechs Teilströme aufgeteilt und zu den Durchflussregelventilen geleitet. Ein nachgelagerter Durchflusssensor misst den Wasserdurchfluss, welcher durch die einzelnen Felder strömt und durch die aufgenommene Strahlung erwärmt wird. Die Temperatur des Rücklaufes wird durch Temperatursensoren erfasst und an die Steuerung gemeldet. Anschließend werden die sechs Teilströme wieder zu einem gemeinsamen Rücklauf zusammengefasst und in den Wärmespeicher geleitet. Die Temperatur des Wärmespeichers wird ebenfalls mittels eines Temperatursensors erfasst. Über eine mittels Überdruckventil geöffnete Bypassleitung wird ein zu großer Volumenstrom der Pumpe direkt in den Wärmespeicher zurück geleitet.

Die Felder bestehen aus Einzelementen aus Flossenrohren. Um die Anlage möglichst autark betreiben zu können und eine Montage bzw. allfällige Reparatur zu erleichtern, werden die Einzelemente auf einen eigenen Formrohrrahmen montiert und über Hochtemperaturschläuche

verbunden, um die Flexibilität für etwaiges Längenwachstum aufgrund von Temperaturunterschieden zu gewährleisten.

Aufgrund der geometrischen Gegebenheiten des Kühlbettes kann die gewünschte Fläche von 396 m² nicht erreicht werden. Die realisierbare Fläche für die Wärmerückgewinnung beträgt 284 m². Das Wasser im Wärmerückgewinnungskreislauf kann bspw. mit einem Frostschutz versehen werden, um eine Frostgefahr im Winter auszuschließen.

Steuerung

Für die Steuerung der oben beschriebenen Gesamtanlage ist eine programmierbare Steuerung notwendig, welche vom IFT dimensioniert wurde.

Die Steuerung muss folgende Komponenten beinhalten:

- Bedieneinheit (zur Visualisierung und Bedienung)
- Steuereinheit (hier läuft das tatsächliche Programm)
- E/A Baugruppen (zur Ansteuerung der Aktuatoren und als Eingänge für Sensoren)
- Netzteil

Pumpe

Die Messergebnisse der Versuchsanlage wurden mit einem Durchfluss von ca. 0,05 bis 0,25 l/sec (entspr. 0,18 bis 0,9 m³/h) ermittelt. Die Größe der Versuchsanlage betrug 2 m² wodurch sich für die Gesamtanlage von 284 m² ein benötigter Volumenstrom von 127,8 m³/h ergibt. Um entsprechende Reserven zur Verfügung zu haben, wird die Pumpe auf ein Fördervolumen von 150 m³/h ausgelegt.

Mittels Regelung der Pumpendrehzahl über einen Frequenzumrichter kann die Fördermenge der Pumpe auf ca. 25 m³/h reduziert werden.

Durchflussregelventil

Das Durchflussregelventil ist notwendig, um den Volumenstrom der einzelnen Felder anpassen zu können. Über ein Stellglied und einen Servomotor werden die Signale der SPS in eine Stellung des Durchflussventils umgelegt.

Messtechnik

Zur Überwachung und Steuerung der Anlage sind verschiedene Sensoren notwendig, welche die Eingangsdaten für das SPS-Programm darstellen.

Die Temperatur der verschiedenen Anlagenteile wird über Thermoelemente erfasst, welche bereits in der Versuchsanlage im Einsatz waren und zur Datenübertragung vom Ort der Messung an die SPS zum Einsatz kommen.

Als Durchflussmessgerät wird ein so genannter Ultraschalldurchflusssensor verwendet, der von außen auf die Rohrleitungen angebracht wird und mittels der Laufzeitdifferenz der Ultraschallsignale

die mittlere Strömungsgeschwindigkeit misst. Über den Innendurchmesser des Rohres kann dann auf die Durchflussmenge rückgerechnet werden.

2.2.5 Konzept Wärmeverteilung

In Abbildung 20 wird das Schema für die Verteilung der vom Kühlbett rückgewonnenen Wärme zur Versorgung der definierten Hallenteile, der Korbwaschanlagen und der Gestängeheizung dargestellt.

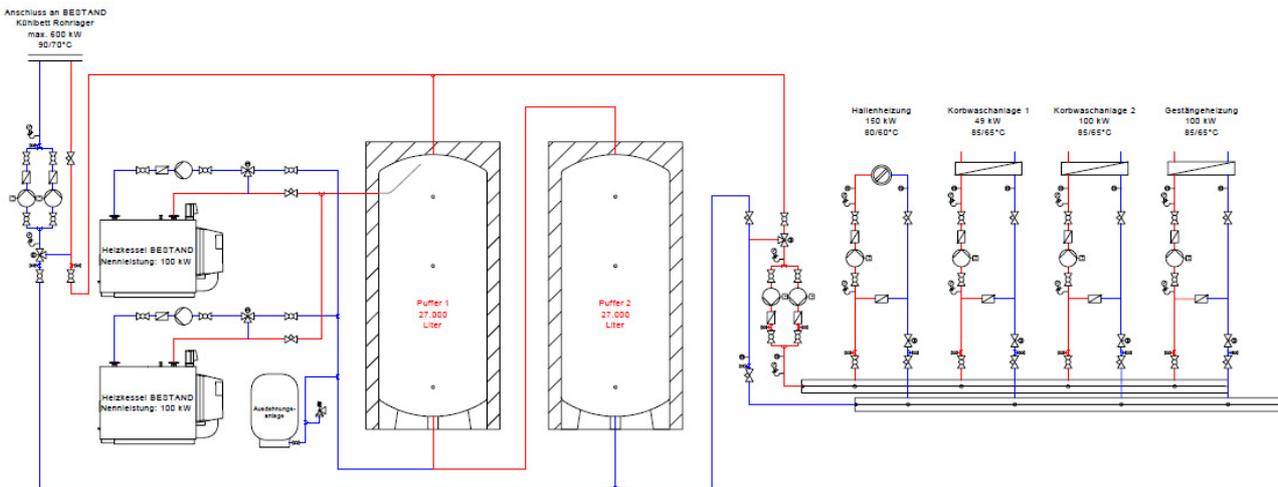


Abbildung 20: Schema Wärmeverteilung

Wärmespeicher

Da die konstant benötigte Leistung von der Wärmerückgewinnung am Kühlbett nicht ständig zur Verfügung steht, wird die Energie in zwei Pufferspeichern mit 2 mal ca. 27.000 l Inhalt gespeichert und bei Bedarf an die Wärmeverbraucher abgegeben. Die beiden Speicher werden in Serie geschaltet und zwischen den Stahlstützen im Bereich des Kühlbettes aufgestellt.

Nachheizung

Die beiden bestehenden Gaskessel mit je 100 kW Nennleistung werden demontiert und in der Nähe der Pufferspeicher wieder aufgestellt. Über diese beiden Kessel erfolgt gegebenenfalls die Nachheizung bzw. die Aufladung des ersten Pufferspeichers.

Wenn die Leistung der Wärmerückgewinnung nicht für die Versorgung der Anlagen ausreicht bzw. die Temperatur im ersten Pufferspeicher unter den Grenzwert sinkt, wird die Nachheizung aktiviert.

Wärmeverteilung

Aus den beiden Pufferspeichern wird die Wärme über einen Hauptpumpenkreis mit Reservepumpe entnommen. Die Wärmeverteilung erfolgt mittels Verteilungen direkt in der Halle.

Folgende Heizkreise kommen zur Ausführung:

- Hallenheizung (Deckenstrahlplatten oder Luftheizapparate)
- Korbwaschanlage 1
- Korbwaschanlage 2
- Gestängeheizung

Die Installation der Heizkreise erfolgt unmittelbar vor den zu versorgenden Anlagen.

Steuerung und Regelung

Die Regelung der Heizungsanlage erfolgt über eine Erweiterung der bestehenden Anlage.

Wärmebedarf für die Hallenheizung

Die Hallenabmessungen sind: Länge ca. 120 m, Breite ca. 12 m, Höhe ca. 7 m.

Zur Überprüfung des Wärmebedarfs wurde eine Wärmebedarfsberechnung für den zu beheizenden Hallenteil durchgeführt. Ergebnis: Unter diesen Rahmenbedingungen liegt die Heizlast für diesen Hallenteil bei 153 kW.

Wärmeabgabesystem

Variante 1: Deckenstrahlplatten

Die Halle wird über Deckenstrahlplatten (DSP) beheizt. Die DSP werden in zwei Bahnen über die gesamte Länge der Halle geplant. Die Montage erfolgt über den Kranschiene mit Befestigung am Dach bzw. den Stahlträgern.

Variante 2: Luftheizapparate

Die Halle wird über ca. 12 Luftheizapparate (LHA) beheizt. Die LHA werden über die Halle verteilt an der Wand montiert. Die Steuerung erfolgt über Zonenventile und ca. 5 Raumthermostate.

Die Korbwaschanlagen 1 und 2 und die Gestängeheizung werden über je einen eigenen geregelten Heizkreis mit Wärme versorgt. Es wird angenommen, dass die Wärmtauscher bestehen bleiben.

2.2.6 Wirtschaftlichkeitsberechnung

In Abbildung 21 wird das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung dargestellt. In der Berechnung wurden die Investitionskosten, Betriebs- und Instandhaltungskosten und gutgeschriebenen Wärmekosten berücksichtigt. Weiters wurden Varianten mit Teuerung, mögliche Kosten für CO₂-Zertifikate und eine Investitionsförderung berechnet.

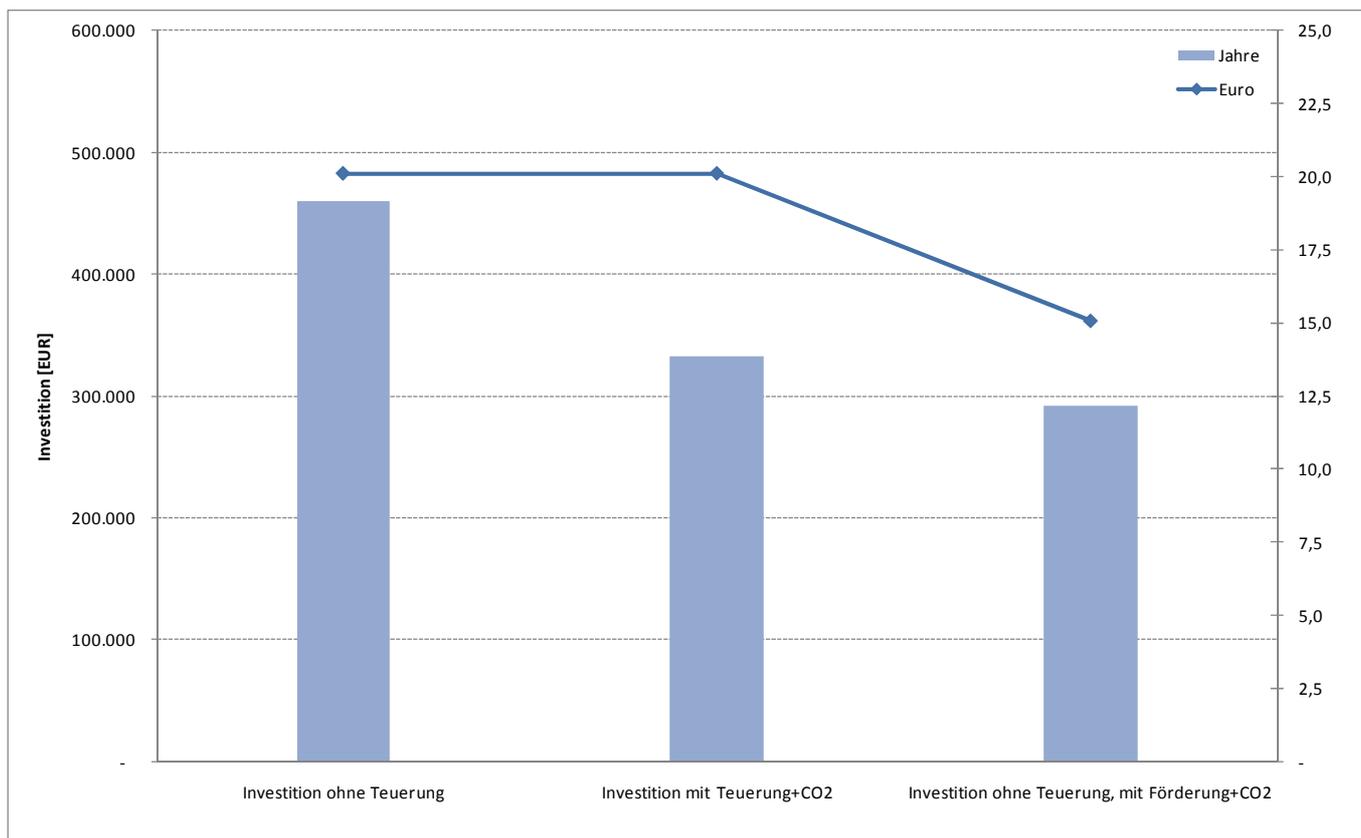


Abbildung 21: Amortisationszeit – voestalpine Tubulars GmbH & Co KG

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Mit der Durchführung der Versuche wurde deutlich, dass die theoretische Ermittlung des Wärmerückgewinnungspotenzials von Strahlung einen deutlichen Unterschied zu den tatsächlich ermittelten Werten aufweist.

Nimmt man eine Bundtemperatur von beispielsweise 450 °C an, so müsste lt. Rechnung eine Leistung von ca. 9,7 kW/m² zur Verfügung stehen. Real konnte eine mittlere Leistung von ca. 2 kW/m² zurück gewonnen werden. Diese Differenz kann vor allem auf die produktionsspezifischen Rahmenbedingungen, wie z.B. Mindestabstand zwischen Wärmerückgewinnungsanlage und Drahtbund, diskontinuierlicher Betrieb (nicht immer kommen Bunde vor der Wärmerückgewinnungsanlage zum Stillstand) und die Kühlung durch die sich ausbildende Konvektionsströmung in der Halle zurückgeführt werden.

Diese Problematik ist auch für die Wärmerückgewinnung am Hubrechenkühlbett relevant, weil auch hier aufgrund vorhandener konstruktiver Restriktionen die Wärmerückgewinnungsfläche deutlich reduziert wurde.

Aus diesem Grund wird deutlich, dass der zukünftige Fokus darauf liegen soll, Anlagen wie die Hakenbahn oder das Hubrechenkühlbett bereits mit einer inkludierten Wärmerückgewinnung zu entwickeln.

Mögliche Zielbereiche für die Rückgewinnung von Strahlungswärme (an Hakenbahn und Kühlbetten) sind in erster Linie in Unternehmen der stahlverarbeitenden Industrie und in der Zementindustrie (Entstehung von Strahlungswärme bei den Klinkerkühlern) aber auch in anderen Branchen zu sehen. Beispielsweise gab es bereits im Projektverlauf eine konkrete Anfrage aus der Glasindustrie. Aus derzeitiger Sicht kann davon ausgegangen werden, dass die Erkenntnisse aus RADREC für weitere Unternehmen der stahlverarbeitenden Industrie, sowohl in Österreich als auch international interessant sein könnten. Für andere wärmeintensive Unternehmen kann ein solches Projekt ein Anstoß für einen Umdenkprozess sein, um bisher ungenutzte Abwärmeströme nutzbar zu machen und dem Prozess zurück zu führen oder einer anderen Nutzung, beispielsweise in Form von Fernwärme, zuzuführen. Am Beispiel der voestalpine Tubulars GmbH & Co KG würde eine ganzjährige Nutzungsmöglichkeit der Abwärme die Amortisationszeit deutlich reduzieren und interessanter für die Umsetzung machen.

Mit den Ergebnissen von RADREC wird die Notwendigkeit deutlich, in Zukunft bei der Planung neuer Anlagen eine Wärmerückgewinnung einzubeziehen.

Weiters wäre es wichtig, die vorgeschlagenen Konstruktionen deutlich zu vereinfachen, besonders bezüglich der Regeltechnik und der Armaturen, dabei einen hohen sicherheitstechnischen Standard zu erhalten und die Anlagen einfacher und kostengünstiger zu machen, da bei den beschriebenen Wärmerückgewinnungsanlagen ein wesentlicher Teil der Kosten auf die Regeltechnik entfallen.

Neue Energien 2020 - 1. Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – managed by Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden die Amortisationszeiten für die Wärmerückgewinnungsanlagen berechnet. Die deutlich längeren Amortisationszeiten bei der voestalpine Tubulars GmbH & Co KG im Vergleich zu den Amortisationszeiten bei der voestalpine Austria Draht GmbH lassen sich folgendermaßen begründen:

- voestalpine Tubulars GmbH & Co KG: Die Wärme wird mehrheitlich zur Hallenheizung verwendet, wodurch sich geringe Betriebstunden für die Wärmerückgewinnungsanlage ergeben.
- voestalpine Austria Draht GmbH: Die rückgewonnene Wärme kann direkt in ein bestehendes Wärmewassernetz eingespeist und die rückgewonnene Wärme kann ganzjährig genutzt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen einen wesentlichen Einfluss auf die Amortisationszeit haben. Denn könnte die rückgewonnene Wärme bei der voestalpine Tubulars GmbH & Co KG ganzjährig genutzt und damit eine Erdgaseinsparung erzielt werden, würde sich die Anlage in eine aus wirtschaftlicher Sicht interessante Amortisationszeit bewegen.

4 Ausblick und Empfehlungen

Weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten, ausgehend von den Ergebnissen von RADREC, sind vor allem in einer Produktentwicklung zu sehen und richten sich hauptsächlich an Anlagenbauer.

Ziel muss es sein, eine kompakte Gesamtanlage mit bereits integrierter Wärmerückgewinnung zu entwickeln, denn mit der nachträglichen Installation einer Wärmerückgewinnung ergeben sich aufgrund der gewachsenen betrieblichen Strukturen eine Reihe von Einschränkungen, die eine einfache und effiziente Wärmerückgewinnung behindern und eine maximale Ausnutzung des Wärmerückgewinnungspotenzials kann nicht ausgeschöpft werden. Am Beispiel der Wärmerückgewinnung am Hubrechenkühlbett hat sich gezeigt, dass eine für das Unternehmen praktikable Wärmerückgewinnung nur unter dem Kühlbett installiert werden kann und in diesem Bereich die Wärmerückgewinnungsfläche aufgrund der Kühlbettunterkonstruktion reduziert wird.

Forschungs- und Entwicklungsarbeiten müssten eine maximale Wärmerückgewinnung, die Produktionssicherheit sowie eine Reduktion des eingesetzten Stroms für die Kühlung der Rohre am Kühlbett berücksichtigen.

5 Literaturverzeichnis

- Aichinger H. M., Steffen R.: Maßnahmen zur CO₂-Minderung bei der Stahlerzeugung, Chemie Ingenieur Technik 2006, 78, Nr. 4, Seite 397 ff
- Aichinger H. M.: CO₂-Monitoring-Fortschrittsbericht der Stahlindustrie in Deutschland für die Berichtsjahre 2000 bis 2003, Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf, August 2005
- Ball J., Clemens J., Ehl R., Kuhn H., Oswald St., Roth G.: Prozeßverkürzung durch Einsparung von Wärmebehandlungen bei der Herstellung von Draht und Stab, Stahl und Eisen 117 (1997), Nr. 4, Seite 59 ff
- BINE Informationsdienst, Wärmerückgewinnung bei Hochtemperatur- Prozessen, Projektinfo 03/04
- Bisio G., Poggi S.: Efficient energy use in the steel industry with particular reference to Italy, Seiten 64-69
- Europäische Patentanmeldung „Kühlverfahren für Walzgut und hiermit korrespondierendes Kühlbett“, Patentblatt 2000/43, Anmeldenummer: 00107140.6, Anmeldetag: 10.04.2000, Erfinder: Rolf Stodt, Kaarst, Anmelder: SMS Schloemann-Siemag AG, Düsseldorf
- Hammer E. E.: Wärmerückgewinnung und Energieeinsparung durch Heißkühlung an Öfen- der Eisen- und Stahlindustrie, Neue Hütte - 35.Jahrgang - Heft 11 - November 1990
- Hayashi D., Krey M.: Assessment of clean development mechanism potential of large-scale energy efficiency measures in heavy industries, ELSEVIER, Energy 32 (2007), 1917-1931, Mai 2006
- Held B., Nyland H., Reinitzhuber F.: Betriebliche Erfahrungen in Abgaswärmenutzung in Eisenhüttenwerken für Fernheizzwecke, Stahl und Eisen 105 (1985) Nr. 22
- Kainer U., Breymayer W.: Forschungsbericht T 82-135, Technologische Forschung und Entwicklung, Nichtnukleare Energietechnik, Abwärme eines Hüttenwerkes, KA-Planungsgesellschaft mbH, Heidelberg, August 1982
- Kawalla R., Lehnert W.: Prozeß-, Anlagen- und Produktentwicklung beim Walzen von Stabstahl und Draht, Metalurgija 41 (2002) 3, 171 - 182
- Klammer H.: Neue Entwicklung eines Brammenkühlkessels zur Nutzung der fühlbaren Gutwärme, Stahl und Eisen 98 (1978), Nr. 23, Seite 1244 ff
- Krimmling J., Nitz K.-H., Preuß A.: Abwärmenutzung in einem Stahlwerk, TAB 11/97, Seiten 49-52
- Legmann H.: Recovery of industrial heat in the cement industry, Abstract, By Means of the ORC Process, Ormat Industries Ltd. 2002
- Lüngen H. B.: Technische Entwicklungen in der Stahlindustrie verringern CO₂- Emissionen, Stahlinstitut VDEh
- Nolzen H.-M.: Möglichkeiten der Energie-Rückgewinnung in der Hüttenindustrie, insbesondere bei der Walzstahlerzeugung, Stahl und Eisen 104/ 1984), Nr. 14, Seite 671 ff
- Offenlegungsschrift DE 30 19 714 A1, Vorrichtung zur Rückgewinnung von Wärme aus heißen Stahlbrammen, Erfinder: Ing. Wilhelm Schwerdt, Duisburg, Anmelder: Mannesmann AG, Düsseldorf, Offenlegungstag: 10.12.1981

- Pöttken H.-G., Strohschein H.: Forschungsbericht T 82-151, Technologische Forschung und Entwicklung, Nichtnukleare Energietechnik, Ausnutzung industrieller Abwärme am Beispiel eines integrierten Hüttenwerkes zur volkswirtschaftlichen Einsparung von Primärenergie und zur Entlastung der Umwelt, Band 1, Krupp Stahl Aktiengesellschaft, Hauptbereich Energiewirtschaft, Bochum, August 1982
- Pöttken H.-G., Strohschein H.: Forschungsbericht T 82-151, Technologische Forschung und Entwicklung, Nichtnukleare Energietechnik, Ausnutzung industrieller Abwärme am Beispiel eines integrierten Hüttenwerkes zur volkswirtschaftlichen Einsparung von Primärenergie und zur Entlastung der Umwelt, Band 2, Krupp Stahl Aktiengesellschaft, Hauptbereich Energiewirtschaft, Bochum, August 1982
- Rentz O., Hähre S., Rainer J., Geldermann J., Krippner M., Schultmann F.: Exemplarische Untersuchung zum Stand der praktischen Umsetzung des integrierten Umweltschutzes in der Metallindustrie und Entwicklung von generellen Anforderungen, DFIU Karlsruhe, Dezember 1999
- Rentz O., Jochum R., Schultmann F.: Report on Best Available Techniques (BAT) in the German Ferrous Metals Processing Industry, DFIU Karlsruhe, March 1999
- Sammer G., Szednyj I.: Evaluierung der EU BAT Dokumente, Eisenmetallverarbeitung, Umweltbundesamt BE-212, Wien, Juli 2002
- Shibuya T., Kubo H., Yanaka H., Kurihara H.: A System for the Recovery of Waste Heat from the Sinter Plant, originally published in Nippon Kokan Technical Report, 1980, No. 84, 25, in Japanese, english version received August 12, 1980
- Starck A., Mühlbacher A., Kramer C. (Hrsg.) (2003): Praxishandbuch Thermoprozesstechnik, Band II: Prozesse, Komponenten, Sicherheit, Vulkan-Verlag Essen, 2003
- Sucker D.: Entwicklungen zur Effizienzsteigerung in der Stahlindustrie, Stahl und Eisen 120 (2000), Nr. 1, Seite 29-37
- Ussar M. B.: Nutzungsmöglichkeiten der industriellen Abwärme am Beispiel eines Hüttenwerkes, Montanuniversität Leoben, 30 - 51
- Worrell E., Bode J., de Beer J.: Analysing Research and Technology Development Strategies – The ATLAS-Project, Energy Efficient Technologies in Industry, January 1997

6 Anhang

6.1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenbauzeichnung der Versuchsanlage.....	5
Abbildung 2: Leistungsverlauf – Drahtbund 1.....	6
Abbildung 3: Versuchsanlage im Produktionsfluss mit Reflexionswand.....	7
Abbildung 4: Versuchsergebnisse von 26.-30.04.2010	8
Abbildung 5: Temperaturprofil Betonwand – Übersicht aller Messfelder	9
Abbildung 6: Wärmerückgewinnungspotenzial von 26.-30.04.2010.....	10
Abbildung 7: Schema Gesamtanlage Variante 1	11
Abbildung 8: Schema Gesamtanlage Variante 2	12
Abbildung 9: Amortisationszeit – voestalpine Austria Draht GmbH	14
Abbildung 10: Installierte Versuchsanlage unter dem Hubrechenkühlbett im Nahtlosrohrwalzwerk.	16
Abbildung 11: Gemessene Leistung [kW] pro m ² am 1. Messfeld	17
Abbildung 12: Gemessene Leistung [kW] pro m ² am 2. Messfeld	17
Abbildung 13: Schematische Darstellung und Foto einer Doppelbelegung	18
Abbildung 14: Verfügbare Wärme- und Speicherleistung 15.-19.09.2009	19
Abbildung 15: Verfügbare Wärme- und Speicherleistung 15.-19.09.2009	20
Abbildung 16: Verfügbare Wärme- und Speicherleistung 15.-19.09.2009	21
Abbildung 17: Verfügbare Wärme- und Speicherleistung 15.-19.09.2009	21
Abbildung 18: Verfügbare Wärme- und Speicherleistung 06.-09.10.2009	22
Abbildung 19: Schema Gesamtanlage	23
Abbildung 20: Schema Wärmeverteilung	25
Abbildung 21: Amortisationszeit – voestalpine Tubulars GmbH & Co KG	27