

Entwicklung von Verfahren zur modularen Energierückgewinnung aus metallurgischen Prozessen (E-Rück), EN/3018

Gefördert im Programm:

**Rationale Energieverwendung, regenerative Energien und Energiesparen, progress.nrw – Ziel 2
Programm 2007-2013, Phase IV**

Kooperationspartner:

- SMS Siemag, Düsseldorf
- Numrax GmbH, Mülheim an der Ruhr
- Universität Duisburg-Essen, Campus Duisburg

Ziel2.NRW
Regionale Wettbewerbsfähigkeit und Beschäftigung

**SMS
SIEMAG**
SMS group

UNIVERSITÄT
DUISBURG
ESSEN
Offen im Denken

numrax

Projektziele

Durch die Energiewende und die daraus resultierenden Impulse neue Quellen zur Stromerzeugung zu erschließen gewinnt die Nutzung von Abfallwärme zunehmend an Bedeutung. Prozesse der Stahlerzeugung und -umformung sind bereits bei 700-1000°C abgeschlossen, wie in Abbildung 1 exemplarisch dargestellt. Die Restwärme der Produkte wird ungenutzt in die Umwelt entlassen und ist somit eine brachliegende Ressource mit einem hohen exergetischen Potential. Schon eine teilweise Umwandlung in elektrische Energie führte zu einer erheblichen Vermeidung äquivalenter Stromerzeugung aus primären Energieträgern. Das ökonomische Potenzial lässt daher einen großen Markt für entsprechende Strahlungswärmewandler erwarten.

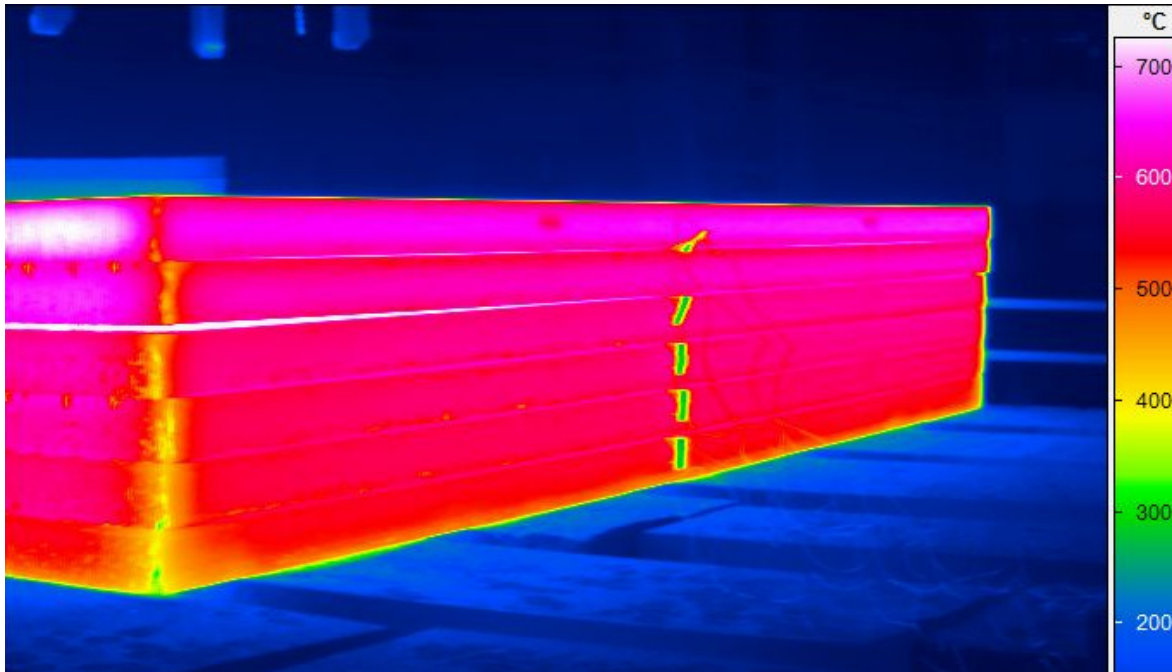


Abbildung 1 Wärmebild eines Stapels von Stahlbrammen

Ziel des Projektes war die Entwicklung eines Verfahrens zur modularen Energierückgewinnung aus metallurgischen Prozessen, sowie die Entwicklung geeigneter Simulationswerkzeuge zur Auslegung und Planung entsprechender Anlagen in realen Werksumgebungen.

Bei den hohen Prozesstemperaturen ist der Wärmeübergang durch Strahlung dominiert. Die Abfallwärme wird daher durch geeignete Kollektorflächen eingesammelt und könnte bevorzugt mittels thermoelektrischer Generatoren (TEG) in elektrischen Strom umgewandelt werden. Das Verfahren zur Energierückgewinnung erlaubt einen modularen Aufbau um den etablierten Produktionsprozess mit einem vorgeschriebenem Materialfluss und Abkühlgeschwindigkeiten nicht negativ zu beeinflussen. Die Entwicklung und Auslegung solcher Anlagen erfordert daher ausgereifte Simulationsmethoden die den Gesamtprozess möglichst vollständig und genau abbilden. Die entsprechenden Simulationsverfahren stützen sich auf experimentell fundierte Modelle und sind ausführlich validiert.

Aufgrund der erheblichen Projektrisiken wurde großer Wert darauf gelegt, dass die Projektergebnisse einen Dual-Use Charakter aufweisen. Die im Projekt entwickelten Modelle und Software eignen sich zur Planung von Anlagen zur Wärmerückgewinnung, werden aber auch in der Prozessplanung eingesetzt. Sie können sogar in einer echtzeit-Prozesssimulation eingesetzt werden. Die entwickelte Kolleorttechnologie erlaubt, selbst wenn die Entwicklung von Energieumwandlungstechnologien nicht mitziehen kann, die ‚geerntete‘ Wärme anderweitig zu nutzen.

Ergebnisse

Standorte

Es hat sich gezeigt, dass die aggressive Umwelt eines Stahlwerks und die damit einhergehende Verschmutzungsproblematik eine ernsthafte Einschränkung in der Auswahl möglicher Stellorte darstellen. Insbesondere Prozessabschnitte mit potentiell höchster Exergieausbeute sind auch die Orte mit höchster Belastung und kürzesten Verweilzeiten der Werkstücke. Unter Berücksichtigung der Umwelteinflüsse und metallurgischer Zwänge wurden die Brammenlager als optimale Orte zum Betrieb von Strahlungswärme Kollektoren identifiziert.

Kollektortechnologie

Die Strahlungseigenschaften der Kollektoroberfläche sind entscheidend für die Funktion und Effizienz der Kollektormodule. Die Emissivität unterschiedlich behandelter Oberflächen wurde daher zunächst unter Laborbedingungen bestimmt. Der experimentelle Aufbau wurde so gestaltet, dass gleichzeitig eine Winkelabhängigkeit der Emissivität bestimmt werden konnte (Abbildung 2), da letztere die Positionierung der Kollektormodule relativ zum Strahler bestimmt bzw. einschränkt.

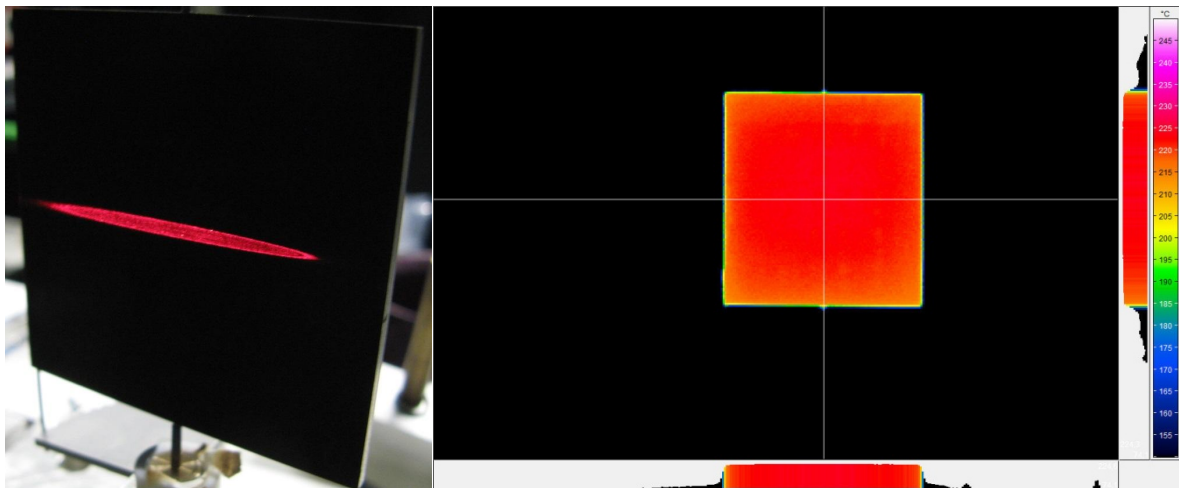


Abbildung 2 Pilotlaserstrahl des Pyrometers bei 85° (linkes Teilbild) und die Temperaturverteilung in der Probe (rechtes Teilbild)

Den größten Einfluss auf die Emissivität haben erwartungsgemäß die Verschmutzungen durch Staub. Schon eine Staubschicht von nur 150 μm reduziert die Emissivität um ca. 28 %, die doppelte Staubschicht von 300 μm führt zu einem dramatischen Einbruch der Emissivität um 62 %. Derzeit wird untersucht, welchen Einfluss dieser Einbruch der Emissivität auf die gesamte Kollektorleistung haben wird und ob zusätzliche Maßnahmen getroffen werden müssen. Obwohl dieser Effekt erwartet wurde und aus der Praxis des Nanopartikel-Synthesereaktors auch bekannt ist, wurde sein Ausmaß stark unterschätzt. Die Ergebnisse aus den Messungen werden daher auch über das eigentliche Projekt hinaus Verwendung finden.

Die Optimierung der Konvertermodule erfolgt mit Hilfe des Effektes der Wärmespreizung, um die erreichbare elektrische Leistung pro Nennfläche zu optimieren.

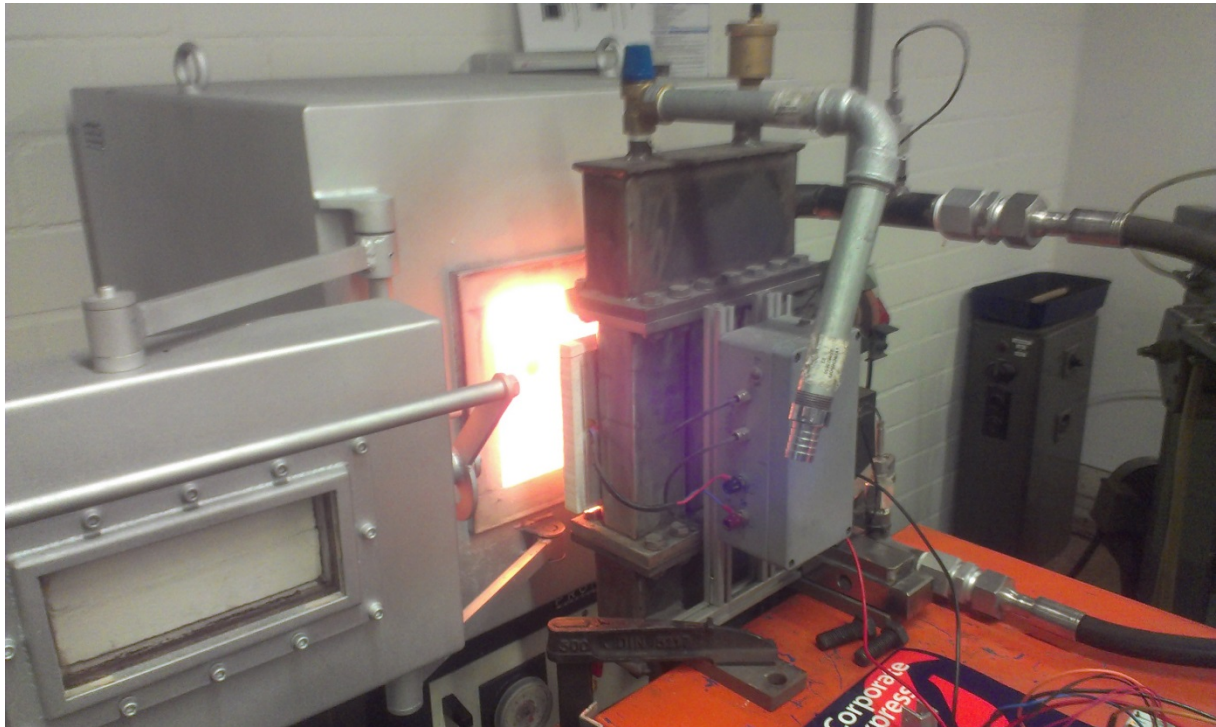


Abbildung 3 Laborversuch mit einem Kollektorprototyp

Simulationssoftware

Das Arbeitspaket umfasst die Entwicklung und Implementierung von numerischen Methoden zur Simulation der Strahler-Konvertermodul Konfigurationen in einem iterativen Konstruktions- und Auslegungsprozess. Die Problemstellung erfordert die Modellierung des Wärmetransportes durch Strahlung, Konvektion und Wärmeleitung mit einer gegebenenfalls instationären Geometrie, wie sie in einer Produktionsumgebung erwartet wird. Die Ergebnisse der Entwicklung werden in das geschlossene Simulationswerkzeug ThermoSim integriert, das die logistische Planung der Stahlproduktion von der Stranggussanlage bis zum Brammenlager ermöglicht (Abbildung 4).

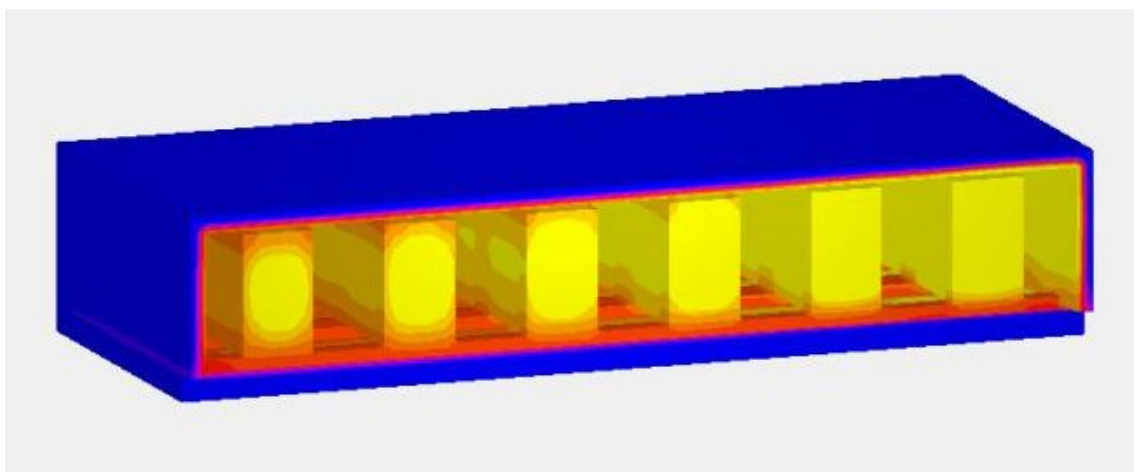


Abbildung 4 Abkühlung von Brammen unterschiedlicher Historien unter einer aktiv gekühlten Kollektorhaube

Die zeitkritischen Modelle (sowie die entsprechenden Lösungsverfahren) wurden für den Einsatz auf GPU basierten Recheneinheiten entworfen/portiert. Die GPU-Version der Software zeigte dabei ein ideales Skalierungsverhalten auf Parallel-Clustern, getestet mit bis zu 18 Knoten (Abbildung 5).

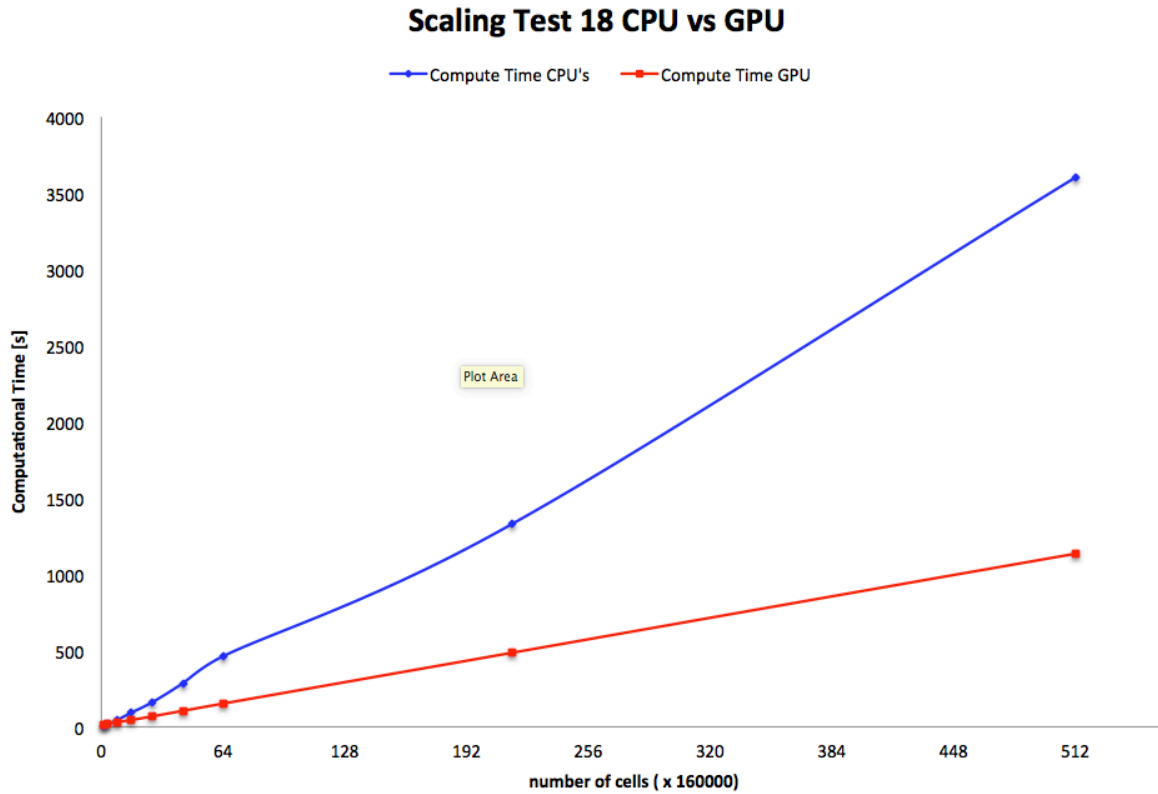


Abbildung 5 Skalierungsverhalten einer Abkühlsimulation

Die Laufzeit dieser Simulationen beläuft sich auf einen Bruchteil der realen Prozesszeit, was das Werkzeug tauglich für Prozessbegleitende Simulationen macht und eine weitere Verwertungsperspektive eröffnet. Gekoppelt mit CFD (computational fluid dynamics) Simulationen wurden unterschiedliche Stellszenarien untersucht (Abbildung 6).

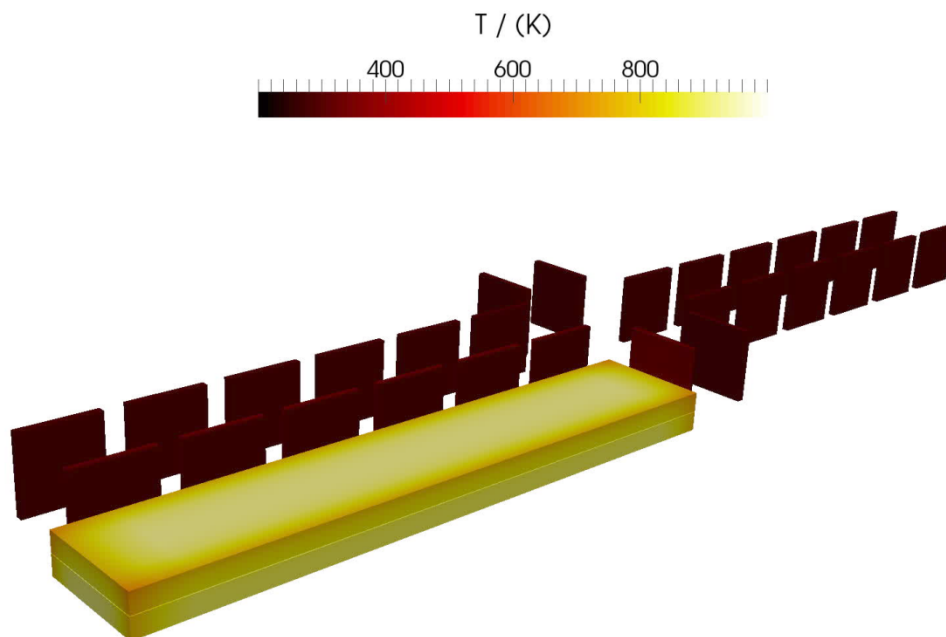


Abbildung 6 Beispiel für die Aufstellung leichter, mobiler Kollektropanele in einem Brammenlager

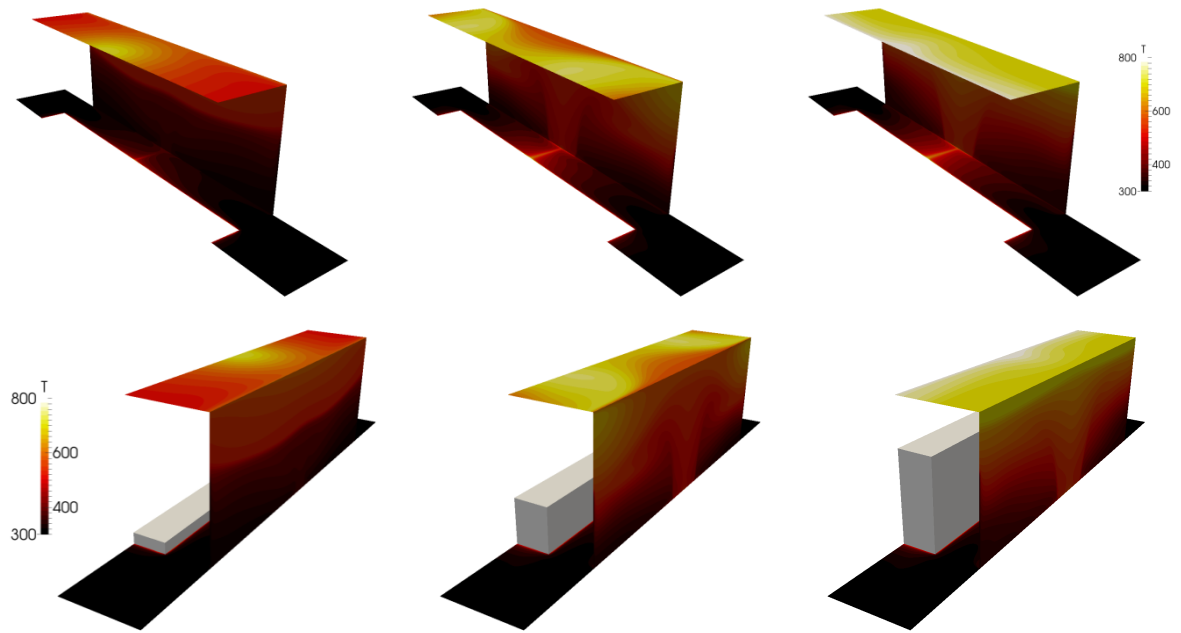


Abbildung 7 Simulierte Temperaturverteilung auf der Kollektor-Innenfläche bei einer, vier und achte Brammen im Stapel (von links nach rechts)