

ENERGIEEFFIZIENZPOTENZIAL IN DER PLANUNG AM BEISPIEL DER GIEßEREI-INDUSTRIE

Studie im Auftrag des Sächsischen
Staatsministeriums für Umwelt und
Landwirtschaft

ABSCHLUSSBERICHT

Energieeffizienzpotenzial in der Planung am Beispiel der Gießerei-Industrie

Prof. Dr.-Ing. Matthias Putz

**Dipl. Wirt.-Ing. Michael Cherkaskyy, Dipl. Betr. (FH) Annegret Esche, Dipl. Math. Christin Fanghänel,
Dr. -Ing. Andreas Schlegel**

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
in Chemnitz, Dresden, Augsburg und Zittau.

Projektnummer: 136824

Inhalt

1	Management Summary	5
2	Ausgangssituation	8
2.1	Gießereiindustrie	8
2.2	Wirtschaftliche Rahmenbedingungen	9
2.3	Aktuelle Gesetzeslage	10
2.4	Merkblatt für die besten verfügbaren Techniken	10
3	Zielstellung und Konzeption der Studie	14
3.1	Untersuchungsauftrag	14
3.2	Untersuchungskonzept	14
4	Vorgehen bei der Erstellung der Studie.....	15
4.1	Analyse spezieller Studien und F&E Berichte	16
4.2	Gießereiaufbau	17
4.3	Modellgießerei	18
4.4	Fokussierung der inhaltlichen Schwerpunkte	23
4.5	Ableitung der Hypothesen	24
4.6	Industriegespräche	25
5	Ergebnisse.....	26
5.1	Energieeinsparpotenziale	26
5.1.1	Modellbau / Formherstellung	27
5.1.2	Schmelzen	28
5.1.3	Gießen	30
5.1.4	Nachbearbeiten	31
5.1.5	Infrastruktur	32
5.2	Gesamtergebnis	34
5.3	Best-Practice-Beispiele	37
5.3.1	Fallbeispiel I	38
5.3.2	Fallbeispiel II	40
5.3.3	Fallbeispiel III	41
6	Fazit.....	43
	Literaturverzeichnis.....	46

Im Hinblick auf den angestrebten bundeseinheitlichen Vollzug des §5 Abs.1 Nr.4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BlmschG) erweist es sich als hilfreich, fundierte Schätzungen zu den Energieeffizienzpotentialen zu erhalten, die typischerweise in der Planungsphase industrieller Anlagen erschließbar sind. Diese Potenziale sind in Relation zu den Möglichkeiten zu sehen, die auch im laufenden Betrieb z.B. mittels Energiemanagementsystem (EMS) erschlossen werden.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurden Unternehmen der Ziffer 3.7 des Anhangs 1 der 4. BImSchV, d.h. Eisen-, Temper- oder Stahlgießereien, als exemplarische Branche ausgewählt. Ausschlaggebend für diese Festlegung war einerseits, dass aufgrund mehrerer gemeinsamer Projekte bereits Kontakte zu den Wissens- und Entscheidungsträgern des Industriezweiges existierten. Andererseits sind Gießereibetriebe durch eine energieintensive Produktion charakterisiert. Der monetäre Nutzeffekt, der durch Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in diesen Unternehmen erzielt werden kann, ist nicht zu vernachlässigen und stellt einen wichtigen Motivator dar.

Um grundlegende Informationen für eine qualifizierte Schätzung der adressierbaren Einsparpotenziale und damit einhergehend eine Entscheidungsbasis zur Verfügung stellen zu können, erfolgte im Rahmen der Studie zunächst eine Auswertung verfügbarer Literatur. Zusätzlich zur allgemeinen Literaturrecherche wurden spezielle Großprojekte bzw. branchenspezifische Berichte untersucht und ihre Empfehlungen und Maßnahmen für das Gesamtergebnis aufgearbeitet. Dadurch war es möglich, einen weitreichenden Überblick zu den vielfältigen Einsparmöglichkeiten in der Gießereiindustrie zu erhalten.

Neben der Analyse dieser Informationsquellen waren die Gespräche mit den Partnern aus der Industrie, ein wesentlicher Bestandteil der Untersuchungen. Um ein breites Meinungsspektrum zu erhalten und die mittelständische Prägung Sachsens abzubilden, wurden unterschiedliche Unternehmensgrößen in die Betrachtungen einbezogen.

Im Ergebnis entstanden Erkenntnisse und Ansätze, die Entscheidungsträgern aus Industrie, Forschung und Politik aufzeigen, wie der Aspekt der Energieeffizienz bei der Planung industrieller Anlagen berücksichtigt werden kann und in welchem Umfang Einsparpotenziale in den einzelnen Prozessen adressiert werden können.

Die eruierten Einsparmöglichkeiten wurden im Rahmen der vorliegenden Studie in zwei Kategorien eingeteilt:

- Maßnahmen, welche einer Genehmigung nach BlmschG bedürfen, da sie im Rahmen einer Neuplanung (Errichtung einer neuen Gießerei bzw. Erweiterung einer bestehenden) oder einer Änderungsplanung (bestehende Anlagen werden modernisiert oder ersetzt) erfolgen.
- Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz, die auch im laufenden Anlagenbetrieb realisierbar sind und keiner Genehmigung bedürfen.

Bei der Vorbegutachtung der Literatur wurde bereits ersichtlich, dass zumeist unterschiedliche Bezugsgrößen für die Energieeinsparungen aufgeführt werden. Dies erschwerte die Potenzialabschätzung erheblich und führte dazu, dass eine Vergleichbarkeit der Resultate nicht ohne weiteres hergestellt werden konnte. Für die Untersuchungen war es jedoch essentiell, eine einheitliche Größe zur Beurteilung des Energieverbrauchs bzw. der -einsparung zur Verfügung stellen zu können. Aufgrund dessen wurde das Konzept der Modellgießerei adaptiert, welches eine Normierung der Energiewerte vorsieht.

Nach der Auswertung verschiedener Informationsquellen sowie der geführten Interviews können folgende Kernaussagen zu den Energieeffizienzpotenzialen festgehalten werden:

- Bezugnehmend auf identifizierte Gesamteinsparpotenziale im Umfang von 3241 kWh/t guter Guss haben Maßnahmen, welche bereits in der Planungsphase berücksichtigt werden, davon einen Anteil von 81 %. Dahingegen adressieren Maßnahmen, welche auf eine energieoptimierte Betriebsweise (d. h. ohne Berücksichtigung von Investitionen) zurückzuführen sind, Einsparpotenziale von 19 % des Gesamtumfangs.
- Alle hier untersuchten Energieeinsparmaßnahmen sind im Hinblick auf ihr Kosten-Nutzen-Verhältnis generell als sinnvoll zu erachten und generieren einen monetären Mehrwert für das Unternehmen. Lediglich die Amortisationsdauer der Maßnahmen innerhalb der technischen und wirtschaftlichen Lebensdauer der Anlagen ist unterschiedlich und kann bei der Entscheidung für eine Umsetzung von wesentlicher Bedeutung sein.
- Fast alle hier untersuchten planungsrelevanten Maßnahmen können unter dem Stichwort Anlagenmodernisierung bzw. Änderungsplanung zusammengefasst werden. Jedoch sollte das Potenzial aus der Abwärme insbesondere in der Neuplanung berücksichtigt werden.
- Maßnahmen, die im „laufenden Betrieb“ integriert werden, haben meist ein geringeres Einsparpotenzial. Ausnahmen, welche zu vergleichbar hohen Einsparungen führen, sind die Modernisierung der Beleuchtung (bis zu 2 % des Gesamtenergieverbrauchs im konkreten Beispiel) oder eine trockene Lagerhaltung, da verrostete Betriebsstoffe den Energiebedarf erhöhen. (Hierin liegt ein Potenzial von bis zu 250 kWh/t gutem Guss im Schmelzbetrieb).
- Anlagen, welche dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, können durch organisatorische Maßnahmen (beispielsweise Drosselung der Absauganlage, wenn keine Rauchgase abzuführen sind, Öffnen des Deckels nur während des Prozesses) befähigt werden, noch energieeffizienter zu produzieren.
- Mit Einführung eines Energiemanagementsystems nach DIN EN ISO 50001 und dem damit einhergehenden Prozess der kontinuierlichen Verbesserung konnte am speziellen Beispiel einer mittelgroßen Gießerei, im Schmelzbetrieb eine Einsparung der Prozessenergie von 25 % erzielt werden.
- Große Gießereien sind aufgrund der Gesetzeslage (Durchführungen von Energieaudits oder Einführung eines Energiemanagementsystems) für die Erarbeitung und Umsetzung von Einsparmaßnahmen sensibilisiert.
- Die Abhängigkeit von einem begrenzten Kreis an Lieferanten beschränkt kleine und mittelständische Gießereien in ihrem Handeln. Die Lieferanten sind zumeist größer als der eigene Betrieb und werden sich nicht auf Anforderungen des Kunden einstellen, wenn dieser nur 1-3 % vom Gesamtumsatz ausmacht.
- Bei Entscheidungen, insbesondere in kleinen Gießereien, spielt die Amortisationszeit der Maßnahmen eine wichtige Rolle. Eine Zeit kleiner zwei Jahre wird dabei meist als Zielstellung ausgegeben. Diese Restriktion kann allerdings nicht immer eingehalten werden. Investitionen werden, wenn überhaupt, erst nach einem langen Entscheidungsprozess umgesetzt.

Unter Berücksichtigung, der in der Studie vorgestellten Maßnahmen und Ergebnisse können folgende Empfehlungen gegeben werden:

- Ältere Anlagen weisen zumeist ein hohes Einsparpotenzial auf. Regelmäßige Marktanalysen zur Identifizierung effizienterer Anlagen und Maschinen können Investitionsentscheidungen, zu deren rechtzeitigen Austausch, unterstützen.
- Die freiwillige Durchführung von Energieaudits für kleine und mittelständische Unternehmen (KMU) kann zur Identifikation investitionsarmer Maßnahmen und schließlich auch zur Reduzierung des Energieverbrauchs führen.
- Zur Sensibilisierung des Personals wird die Einführung eines betrieblichen Vorschlagwesens als sinnvoll erachtet. Darüber hinaus kann die Etablierung regelmäßiger Schulungen bzw. Trainings zur Thematik Energie von Nutzen sein.
- Die Nutzung der Abwärme aus den Anlagen stellt ein großes Potenzial dar, Energie einzusparen. Die Realisierung solcher Projekte sollte durch die Vollzugsbehörde angeregt werden.
- In der Anbindung an ein Fernwärmenetz besteht ein großes Potenzial zur Weiterverwendung überschüssiger Abwärme. Hinderlich sind hohe Anschlusskosten, welche vom Unternehmen oft selbst zu tragen sind, sowie die Sicherstellung der Kontinuität der Versorgung. Zur Lösung dieser Probleme wird die Erarbeitung möglicher Szenarien zur Wärmeeinspeisung und Speichernutzung vorgeschlagen.
- Investitionsarme Maßnahmen, wie z.B. das korrosionsvermeidende Lagern der Betriebsstoffe und die Erneuerung der Beleuchtung, welche auch im laufenden Produktionsbetrieb durchgeführt werden können, haben im Vergleich zum Aufwand einen hohen Effekt und steigern zusätzlich (im Fall der neuen Beleuchtung) die Ergonomie am Arbeitsplatz. Die Umsetzung betrieblicher Maßnahmen sollte intensiver unterstützt werden.
- Energiemesspunkte an Anlagen sind meist nur sehr begrenzt vorhanden. Mit der Erhöhung der Anzahl solcher Messpunkte wird die Verbrauchsübersicht im Unternehmen transparenter und nachvollziehbar. Ineffiziente Anlagen und Prozesse können anhand der entsprechenden Datenbasis schneller identifiziert werden. Durch Speicherung der Energiedaten sind zudem rückwirkende Analysen möglich.

2 Ausgangssituation

2.1 Gießereiindustrie

In keinem anderen europäischen Land werden mehr Gusssteile produziert als in Deutschland. Im internationalen Ranking nehmen die deutschen Gießereien Platz fünf ein und sind durch ihre technologische Kompetenz weltweit anerkannt. In rund 600 Eisen-, Stahl- und Nichteisengießereien, welche überwiegend mittelständig strukturiert sind, arbeiten ca. 80.000 Beschäftigte. Mit einem Anteil von knapp unter einem Prozent an der Produktion im produzierenden Gewerbe zählen die Gießereien zu den kleineren Industriezweigen Deutschlands. Ihre wirtschaftliche Bedeutung ist aufgrund der breiten Zuliefererfunktion jedoch höher, da es kaum eine Branche des produzierenden Gewerbes gibt, in der keine gegossenen Komponenten verwendet werden.¹

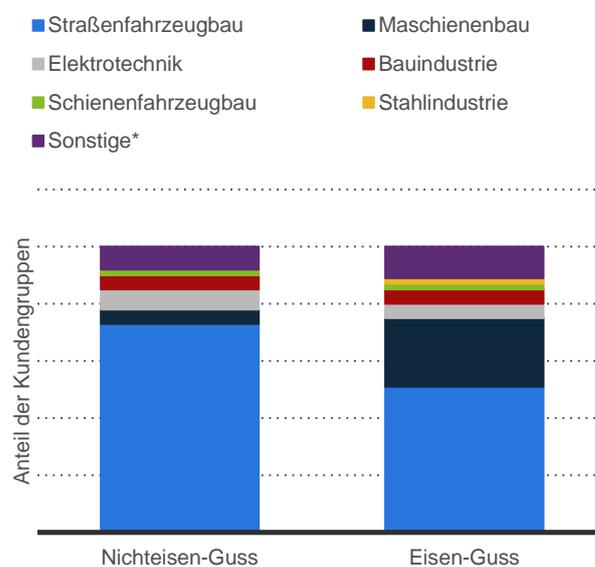


Abb. 01 Abnehmerstruktur der Gießerei-Industrie nach Werkstoffgruppen in Deutschland im Jahr 2013²

Nachhaltiges Wirtschaften ist für die Gießereiindustrie ein erklärtes Ziel. Deutliche Vorteile gegenüber anderen Fertigungsverfahren, bei denen metallische Bauteile gefertigt werden, liegen im Materialeinsatz und der Energieeffizienz. Die Gussteile werden endkonturnah gefertigt – dies bedeutet, dass nur eine geringe Nachbearbeitung der Bauteile notwendig ist, um die finale Form zu erreichen.³ Die komplexen, teilweise nach bionischen Konstruktionsprinzipien gestalteten Bauteile können im höchsten Maße anwendungs- und anforderungsgerecht gegossen werden. Die besonders große Gestaltungsfreiheit im Design ermöglicht es außerdem, nahezu jede noch so komplizierte Geometrie der Bauteile fertigen zu können. Dies gestattet, neuartige Bauteile herzustellen, welche verschiedenste Aufgaben erfüllen können, wodurch oft mehrere Bauteile, die nur eine Funktion erfüllen konnten, überflüssig werden.

¹ BDG - Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie; Düsseldorf

² BDG - Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie, ID 201718; © Statista 2015

³ Ermittlung von branchenspezifischen Potenzialen zum Einsatz von erneuerbaren Energien in besonders energieintensiven Industriesektoren am Beispiel der Gießerei-Industrie; S. 22

Diese Möglichkeiten tragen ebenfalls zur Energie- und Ressourceneffizienz in den Nachfolgeprozessen bei.⁴

Gießereien sind „Weltmeister“ im effektiven Recycling ihrer Materialien. Aus geschmolzenem Altmetall werden mehr als 90 % aller Gussstücke produziert und Formstoffe (Sand) und Wasser werden so effizient wieder verwendet, dass fast kein Abfall entsteht. Dennoch, die Kosten für Energie und Material liegen mit 40 % genauso hoch wie die Ausgaben für Personal, wobei das Schmelzen und Verfestigen der Metalle den größten Anteil ausmacht.

Des Weiteren beläuft sich der Gesamtenergieverbrauch deutscher Gießereien auf ca. 10 Milliarden⁵ Kilowattstunden pro Jahr. Ca. 40 % des Energiebedarfs einer Gießerei könnten bei Verfügbarkeit geeigneter Wärmesenken für das gegebene Temperaturniveau aus Abwärme genutzt werden.⁶

2.2 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen

Der Gießereiprozess gehört zu einem der energiesensitivsten Prozesse überhaupt⁷. Vor dem Hintergrund hoher Energie- und Materialpreise sowie der Forderung nach Klimaschutz werden die Unternehmen vor die Herausforderung gestellt, ihre Anlagen und Prozesse so zu optimieren, dass sie in der sich gleichzeitig ändernden Produktionslandschaft zukunftsfähig aufgestellt sind. Diese Herausforderung resultiert aus zwei Faktoren:

- Sparsame Energieverwendung kann ein enormer Wettbewerbsvorteil sein, denn lt. statistischem Bundesamt liegt der Anteil der Energiekosten an der Bruttowertschöpfung der Gießereiindustrie bei über 25 %.⁸
- Der mögliche Beitrag der Gießereibranche am Klimaschutz gilt als nicht unerheblich.

	Einheit	Eisen- und Temperguss	Stahlguss	Gesamt
Produktion	in 1.000t	4.300	216	4.516
Gießereikoks	in 1.000t	464,1	*	464,1
	in kWh/t g. Guss	915,2	*	915,2
Strom	in Mio. kWh	3.947,7	515,0	4.462,7
	in kWh/t g. Guss	918,1	2.392,0	976,3
Gas	in Mio. m ³	168,8	75,0	243,9
	in kWh/t g. Guss	396,9	3.519,9	539,34

Abb. 02 Einsatz der Energieträger in deutschen Eisen-, Stahl und Tempergießereien im Jahr 2006⁹

⁴ https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_82_2014_innovative_techniken_vol_3.pdf; 20.04.2015

⁵ Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050; S. 146; Bundesumweltamt

⁶ <http://www.energie.ch/giesserei/>; 14.04.2015

⁷ Analyse und Optimierung energieaufwendiger Produktionsstrukturen, dargestellt am praktischen Beispiel, Prof. Dr.-Ing. Matthias Strunz, Hochschule Lausitz (FH)

⁸ BDG - Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie; Düsseldorf

⁹ angelehnt an die Tabelle zur Ermittlung von branchenspezifischen Potenzialen zum Einsatz von erneuerbaren Energien in besonders energieintensiven Industriesektoren am Beispiel der Gießerei-Industrie, S. 31; Bundesumweltamt

2.3 Aktuelle Gesetzeslage

Obwohl Deutschland bereits über einen weit entwickelten Markt für Energieaudits, Energiedienstleistungen und anderen Effizienzmaßnahmen verfügt, müssen zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden, um die Ziele der Bundesregierung:

- **Klimaschutz:** 40 % weniger Treibhausgasemissionen bis 2020 (im Vergleich zu 1990) und 80 % bis 95 % weniger bis 2050
- **Erneuerbare Energien:** mindestens 35 % Anteil am Stromverbrauch bis 2020, bis 2050 mindestens 80 %
- **Gebäude:** Senkung des Wärmebedarfs bis 2020 um 20 %, bis 2050 soll der gesamte Energiebedarf bis zu 80 % fallen
- **Effizienz:** Senkung des Energieverbrauchs bis 2020 um 20 % (im Vergleich zu 2008), bis 2050 um 50 Prozent
- **Stromverbrauch:** Senkung bis 2020 um 10 %, bis 2050 um 25 %
- **Verkehr:** Gegenüber 2005 soll der Treibstoffverbrauch bis 2020 um 10 % zurückgehen, bis 2050 um 40 %¹⁰

zu erreichen.

Ein Kontrollorgan, welches das Erreichen der energiepolitischen Zielsetzung sicherstellen soll, ist das Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG). In §2 Abs. 1 Satz 1 ist geregelt, dass „die Errichtung und der Betrieb von Anlagen“ genehmigungsbedürftig ist. Außerdem ist in §5 Abs. 1 Nr. 4 als eine der Pflichten der Betreiber fest gelegt, dass die Anlagen so zu errichten sind, dass „Energie sparsam und effizient verwendet wird“.

2.4 Merkblatt für die besten verfügbaren Techniken

Das BVT-Merkblatt für die besten verfügbaren Techniken über die Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung beschreibt im Wesentlichen die angewandten Techniken, die derzeitigen Emissions- und Verbrauchswerte, alle Zukunftstechniken sowie die Techniken, die für die Festlegung der besten verfügbaren Techniken zu berücksichtigen sind. Um die „besten verfügbaren Techniken“ immer auf dem aktuellen Stand zu halten wird eine Aktualisierung des BVT-Merkblattes für 2016 angestrebt.¹¹

Im Sinne der Einhaltung der Energieeffizienz ist es wichtig den Input und Output an Hilfs- und Betriebsstoffen sowohl auf der einen Seite als auch die Emissionen, welche während des Prozesses anfallen, siehe Abb. 03, auf der anderen Seite zu kennen. Eingesetzt werden vor allem Metall, Energie, Bindemittel und Wasser. Als Emissionen entstehen hauptsächlich Staub, Amine und flüchtige organische Verbindungen und bei speziellen Ofentypen SO₂, Dioxine und NO_x.¹²

¹⁰ http://www.3sat.de/page/?source=/nano/glossar/energieziele_d.html, 05.04.2015

¹¹ Innovative Techniken: Beste verfügbare Techniken (BVT) in ausgewählten industriellen Bereichen Teilvorhaben 3: Gießereien, 2012

¹² Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, Seite 6; Umweltbundesamt

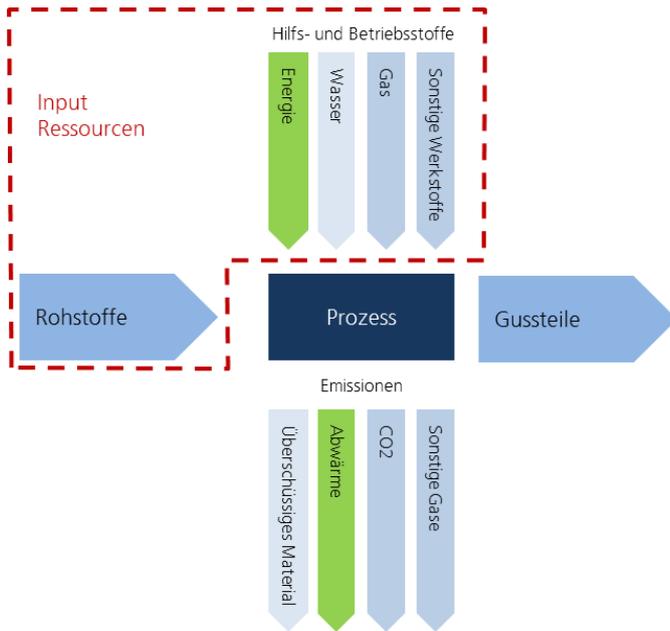


Abb. 03 Prozessrelevante Größen inkl. der größten Potenzialträger

Ausgangssituation

Das BVT für Gießereien dient vor allem der Energie-, Emissionsminderung, dem rationellerem Einsatz von Rohstoffen, der optimalen Nutzung von Prozesschemikalien, der Rückgewinnung und Verwertung von Abfallstoffen sowie der Substitution von Schadstoffen. Mit dessen Hilfe soll das Management und die Steuerung der internen Flüsse optimiert werden, um Umweltverschmutzungen sowie die Verschlechterung ihres Zustandes zu verhindern.¹³

Die folgende Tabelle zeigt Maßnahmen und Empfehlungen für das umweltbewusste Betreiben von Anlagen in der Gießereiindustrie auf. Auf eine ausführliche Beschreibung der Prozesse wurde an dieser Stelle verzichtet, jedoch wird auf die jeweiligen Abschnitte -BVT- speziell verwiesen.

Anlage	Maßnahmen und Empfehlungen	BVT
Lichtbogenofen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anwenden einer zuverlässigen und effizienten Prozesskontrolle, um die Schmelz- und Behandlungszeit kurz zu halten ▪ Verwenden des Schaum-Schlacke-Verfahrens ▪ Sammeln der Ofenabgase unter Verwendung der Abgaserfassungstechniken ▪ Nutzung der Abwärme ▪ Kühlen der Ofenabgase und Entstauben mittels Schlauchfilter 	5.2

Abb. 04 Maßnahmen und Empfehlungen für einen umweltbewussten Gießereibetrieb

¹³ Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, Seite 10, Umweltbundesamt

Ausgangssituation	Anlage	Maßnahmen und Empfehlungen	BVT
	Induktionsofen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Schmelzen von sauberem Schrott ▪ Optimieren des Einsatzmaterials, des Chargiervorgangs und des Betriebes ▪ Neukauf: Mittelfrequenzstrom-Ofen, sowie Änderung des gesamten Leistungsstroms ▪ Nutzung der Abwärme ▪ Dichten und Fassen der Abzugshauben um die Abgase maximal abzusaugen ▪ Nutzung einer trockenen Rauchgasreinigung ▪ Einhalten der Staubemissionen unter 0.2 kg/t geschmolzenen Eisens 	5.2
	Kupolofen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sekundarwindbetrieb für Kaltwindkupolöfen ▪ Sauerstoffangereichertes Gebläse (Gehalt in der Luft um 1 % - 4 % erhöhen) ▪ geringe Anfahrzeiten für Heißwindkupolöfen mit kontinuierlicher Luftzufuhr ▪ Verwenden von Koks in kontrollierter Qualität ▪ Reinigen der Ofenabgase ▪ Nachverbrennen der Gicht des Kaltwindkupolofens, wenn das Abgas autotherm brennt ▪ Nutzung der Abwärme ▪ separate Verbrennungskammer bei Heißwindöfen ▪ Dioxin- und Furan-Emissionen < 0,1 ng/TEQNm³ ▪ Nasswäschesystem beim Schmelzen mit Thomasschlacke 	5.2
	Grünsandformen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Mixen unter Normalluft ▪ Mixen im Vakuum unter Beachtung, dass die Sandkapazität mind. 60 t/h beträgt 	5.4
	Formen mit chem. gebund. Sand und Kern	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Anwendung verschiedener Bindetypen unter Beachtung der Prozesskontrolle, Erfassen des Abgases und Minderung der Emissionen möglich 	5.4
	Dauerformen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Verwendung der chemisch gebundenen Sandkerne beim Kokillenguss und Niederdruckguss nach technischen Möglichkeiten ▪ Beschichtung mit Trennmittel und Kühlung der Sandform durch Kühlwasser in Form von Sprühnebel beim Hochdruckkokillenguss (HPDC) 	5.5
	Materialmanagement	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Minimierung des Rohstoffverbrauchs ▪ Verbesserung der Nutzung der Rohstoffe ▪ Recycling ▪ Kontrolle interner Materialflüsse 	4.1
	Nachbearbeiten der Gussstücke	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Abgase sollten gesammelt und trocken oder nass (Wäsche) behandelt werden ▪ Emissionswerte von Staub sollen 5-20 mg/Nm³ nicht überschreiten 	4.5
	Lärminderung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Entwickeln und Einführen einer Lärminderungsstrategie mit allgemeinen und Quellenspezifische Maßnahmen ▪ Nutzung geschlossener Systeme für Starklärmbereiche wie das Rütteln/Auspacken 	4.5

Anlage	Maßnahmen und Empfehlungen	BVT	Ausgangssituation
Abwasser	<ul style="list-style-type: none"> ▪ getrenntes Halten und Abführen verschiedener Abwässer entsprechend ihrer Zusammensetzung und Schmutzfracht ▪ Sammeln von Oberflächenwassers und Nutzung von Ölabscheidern im Sammelsystem, bevor es in das zentrale Abwassersystem abgeleitet wird ▪ Behandlung der verschiedenen Abwasser ▪ Maximieren der internen Wiederverwendung des Prozesswassers ▪ Mehrfachnutzung von behandeltem Abwasser 	4.6	
Emissionensminderung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rohstoffe sollten nur abgedeckt gelagert werden, ist dies nicht möglich, sollten Sprays, Binder, Vorratsmanagementtechniken, Windschutzeinrichtungen genutzt werden ▪ Absaugen des Schmelz- und Gießbereiches zur Säuberung der Luft ▪ Geschlossene Türen ▪ Ordnung und Sauberkeit ▪ Kontrolle und Management auf mögliche diffuse Emissionen im Wasser 	4.5	
Umweltmanagement	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Umweltmanagementsystem integrieren ▪ Definition von Umweltrichtlinien ▪ Planen und umsetzen umweltschonenderer Maßnahmen 	4.1	

Die aufgezeigten Maßnahmen und Empfehlungen flossen in die Ergebnistabelle ein und wurden mit verifizierten Zahlen untermauert. Im Ergebnis wird festgestellt, dass die Unternehmen, wenn sie diese Maßnahmen und Empfehlungen beachten eine große Menge an Energie einsparen können.

3 Zielstellung und Konzeption der Studie

3.1 Untersuchungsauftrag

Die vorliegende Studie wurde erstellt, um eine fundierte Schätzung des in der Planung adressierbaren Energieeffizienzpotenzials industrieller Anlagen *im Vergleich zu dem*, der Betriebsphase liefern zu können.

Nach einer fundierten Auswertung verfügbarer Literatur wurden Partnerunternehmen in einem offenen Interview zum Umgang mit dem Thema Energieeffizienz befragt. Das Ziel bestand darin, ein möglichst realistisches Bild zu bekommen, in welchem Umfang die Unternehmen ihre Potenziale kennen und diese umsetzen sowie darin, ein Feedback zu erhalten, ob und wie sich diese Maßnahmen in den Betriebskosten bemerkbar machen.

Da die sächsische Gießereilandschaft durch kleine bis mittlere Unternehmen gekennzeichnet ist, war es wichtig, die regionalen Besonderheiten in die Auswahl der Unternehmen einzubeziehen, um so eine auf Sachsen zugeschnittene Annäherung an das Thema zur Verfügung zu stellen. Die Ergebnisse der Studie sollen dazu beitragen, planungs- und betriebsbezogene Energieeffizienzreserven aufzuzeigen und diese an einer exemplarischen Branche zu verifizieren.

3.2 Untersuchungskonzept

Um der erforderlichen Fokussierung auf die Gießereiindustrie gerecht zu werden und dabei die äußerst engen zeitlichen sowie kapazitiven Vorgaben für die Erfüllung des Untersuchungsauftrages zu berücksichtigen, wurde ein geeignetes Vorgehensmodell entworfen und für die Bearbeitung des Themas genutzt. Als zielführend wurden eine umfangreiche Literaturrecherche sowie die Befragung von Unternehmen in einem offenen Interview gewählt.

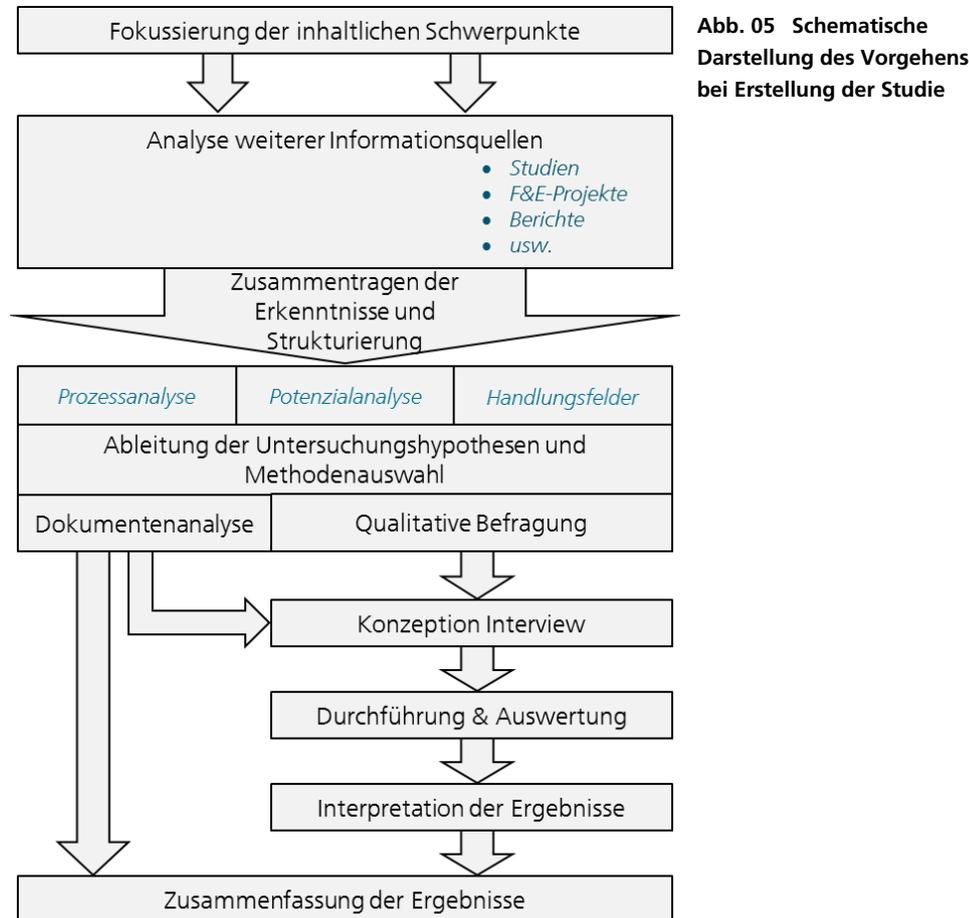
Mit diesem Konzept der Untersuchung sollte gewährleistet werden, dass zum einen mögliche Einsparpotenziale aufgezeigt werden können, zum anderen aber auch die Erfahrung und der Umgang mit diesen Möglichkeiten aus der Industrie Beachtung finden.

Resultierend können geeignete Maßnahmen eingeleitet und Potenziale genutzt werden. Das konkrete Vorgehen bei der Erstellung der Studie wird im nächsten Kapitel näher beschrieben.

4 Vorgehen bei der Erstellung der Studie

Vorgehen bei der Erstellung der Studie

In den folgenden Abschnitten wird die Vorgehensweise bei der Erstellung der Studie näher erläutert. Eine schematische Darstellung kann Abb. 05 entnommen werden.



Um sowohl deskriptive als auch explorative Aussagen zum Thema Energieeffizienzpotenziale in der Gießereiindustrie treffen zu können, erfolgte im ersten Schritt eine Festlegung der in die Untersuchung einzubeziehenden Gießereitypen sowie deren Bereiche und darin ablaufenden Prozesse. Im Rahmen einer Dokumentenanalyse wurden zunächst allgemeine Grundlagen zur Thematik sowie ein Überblick zu den bereits vorliegenden Erkenntnissen aus verschiedenen Informationsquellen erarbeitet. Aus den Ergebnissen dieser Analyse wurden Untersuchungshypothesen abgeleitet. Diese Hypothesen sollen, im Verlauf der Studie, zur Bildung einer Gesamtaussage dienen.

Für die Erhebung und Ausarbeitung der deskriptiven Aspekte wurde im nächsten Schritt ein Gesprächsleitfaden zur Unternehmensbefragung entwickelt. Mit den jeweiligen Entscheidungsträgern wurde ein qualifiziertes Interview durchgeführt. Die Resultate der Befragung sowie die Erkenntnisse aus den zusätzlichen Informationsquellen wurden anschließend zusammengeführt. Im Zuge dessen wurden die Ergebnisse mit dem zuvor definierten Erwartungsbild abgeglichen und herausgearbeitet, welche Herausforderungen und Besonderheiten sich speziell für die Gießereiindustrie ergeben.

4.1 Analyse spezieller Studien und F&E Berichte

Um einen weitreichenden Überblick zu den vielfältigen Einsparmöglichkeiten in der Gießereiindustrie zu erhalten, wurden neben einer allgemeinen Literaturrecherche und Befragung, folgende spezielle Großprojekte bzw. branchenspezifische Berichte untersucht und ihre Empfehlungen und Maßnahmen für das Gesamtergebnis aufgearbeitet:

1. Foundry Bench: In der Zeit von 2009 – 2011 wurde ein europaweites Energieeffizienz Benchmarking durchgeführt. Daran beteiligt waren acht Partner aus Finnland, Schweden, Deutschland, Polen, Frankreich, Großbritannien, Spanien und Italien (assoziiert). Ziel war das Isolieren von Maßnahmen zur effizienten Energienutzung in der Gießereiindustrie.¹⁴
2. Energieeffizienter Gießereibetrieb 1.0: 2009 wurde dieser Leitfaden im Auftrag des Bundesverbands der Deutschen Gießerei-Industrie vom Institut für Gießertechnik erarbeitet und mit dem Arbeitskreis Energieeffizienz des BDG abgestimmt. Er stellt einen Überblick über die zurzeit angewandten üblichen und fortschrittlichen Techniken dar.¹⁵
3. Energieeffizienter Gießereibetrieb 2.0: Die aktualisierte Ausgabe des Leitfadens wurde 2013 veröffentlicht und ist neben den „Best-Practice“-Beispielen um Maßnahmen für einen energieeffizienten Gießereibetrieb erweitert.¹⁶
4. REEMAIN: Das EU-Projekt „Resource and Energy Efficient Manufacturing-REEMAIN“ startete 2014 am Fraunhofer Institut IWU mit sechzehn Partnern aus ganz Europa. Ziel ist das Erschließen von Potenzialen zur Energie und Ressourceneinsparung in Fertigungsprozessen.¹⁷
5. Berichte aus dem Bundesministerium für Umwelt: Im Speziellen wurden die Berichte von branchenspezifischen Potenzialen zum Einsatz erneuerbarer Energien in besonders energieoptimierten Industriesektoren am Beispiel der Gießerei Industrie sowie der Bericht zu „best available techniques“ ausgewertet.¹⁸

¹⁴ http://www.swerea.se/Global/Swerea_SWECAST/Foundrybench/Foundrybench%20D16%20Benchmarking%20Appendix%201.pdf

¹⁵ http://new.bdguss.de/de/data/energieeffizienz_0.pdf

¹⁶ www.umweltbundesamt.de; u.a. Energieeffizienzpotentiale in mittelständischen Unternehmen wirken beim Klimaschutz, Aktionsprogramm Klimaschutz 2020 Eckpunkte des BMUB

¹⁷ Report about analyzed and clustered factory typologies [undisclosed]; Assessment report on resource and energy efficiency measures at factory demo sites [undisclosed]

¹⁸ <http://www.bmub.bund.de/>

4.2 Gießereiaufbau

Vorgehen bei der Erstellung der Studie

Bevor die Analyse zu energetischen Potenzialen in den Gießereien innerhalb der Planungsphase erfolgen konnte, wurden folgende Punkte untersucht:

- Wie sind die Gießereien aufgebaut?
- Welche Energieverbräuche gibt es?
- Wie ist der Verbrauch der Energie strukturiert?
- Wie sieht der idealtypische Gießprozess aus?

Durch diese Voruntersuchung sollte ein Überblick über den Gießereiprozess erarbeitet werden. Durch die Betrachtung des Gesamtenergieverbrauchs sowie dessen Verteilung auf einzelne Bereiche wurde ein Verständnis über den Energiehaushalt der Gießereien entwickelt und studienrelevante Prozesse hervorgehoben. Die Darstellung und Erläuterung des idealtypischen Gießprozesses und der vorhandenen Stoffströme, siehe Abb. 06, wird für die Einordnung und Klassifikation der Energieeffizienzverbesserungsmaßnahmen verwendet.

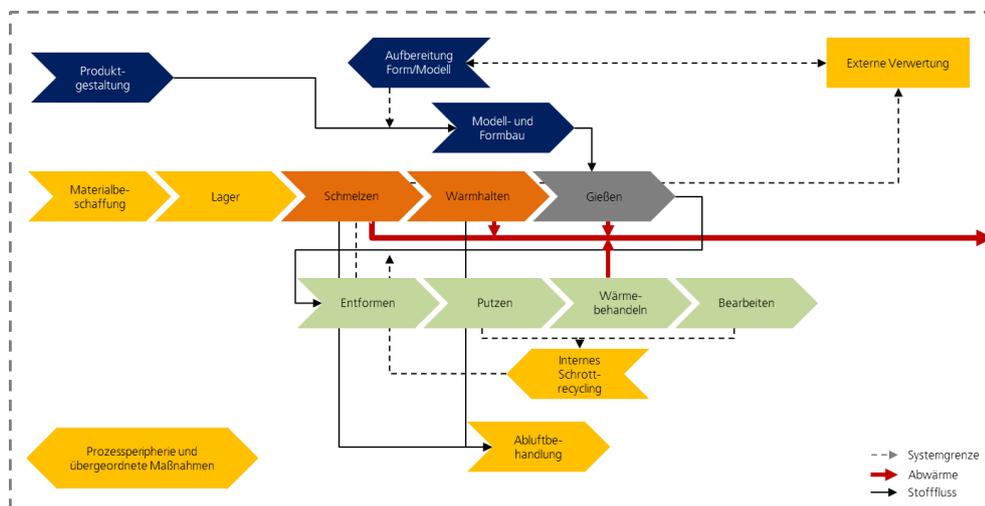


Abb. 06 Stoff- und Abwärmeflüsse im Gießereiprozess

Der Gießereiprozess ist einheitlich in vier Hauptbereiche gegliedert:

- Schmelzen und Metallbehandlung: Schmelzbetrieb
- Herstellung der Formen und Kerne: Formerei
- Gießen des flüssigen Metalls in die Form, Abkühlung, damit das Metall erstarrt und das Gussteil aus der Gießform herausgenommen werden kann: Gießerei
- Fertigbearbeitung des Rohgussteils: Putzerei

und umfasst demnach vier Schritte.

Zuerst muss ein Modell hergestellt werden. Durch den Einsatz moderner gießtechnischer Simulationssoftware kann während dieser frühen Phase bzgl. möglicher Designvarianten, Wanddicken etc. in die Produktgestaltung mit dem Ziel einer energetischen Optimierung eingegriffen werden.

Im nächsten Schritt wird für das Endprodukt eine Form aus Bindemittel und Formsand hergestellt, in welche im nachfolgenden Gießprozess das flüssige Metall vergossen wird.

Dies kann zum einen durch das Herstellen von verlorenen Formen geschehen – nach dem Gießprozess wird die Form nicht mehr gebraucht – zum anderen durch die Nutzung von Dauerformen, die mehrmals für das Herstellen der Gussstücke genutzt werden.

Das, beim Schmelzen flüssig gemachte Eisen wird durch Pfannen vorm Auskühlen geschützt und bekommt beim Gießen die „richtige“ Form. Je nachdem, welche Einsatz- und Zusatzstoffe in die Schmelze gegeben werden, z. B. Chlor, Kohlendioxid, Mangan, Silizium etc., können die Eigenschaften sowohl der Schmelze als auch des Gussstücks beeinflusst werden.

Das gegossene und abgekühlte Produkt kann nun aus der Form genommen und final bearbeitet werden. Als Letztes wird das fertige Produkt in den meisten Fällen, bei Eisengießereien vorrangig, lackiert.

Dieser ganze, höchst energieintensive Prozess wird begleitet von einem internen Recycling, in dem jegliche Materialabfälle, ob Eisen oder Sand etc. gesammelt und für den nächsten Einsatz gereinigt werden.

Der Schmelzprozess ist der Kernprozess in einer Gießerei. In diesem wird der Gusswerkstoff unter Einsatz von Energie aus dem festem in den flüssigen Aggregatzustand überführt. Für diesen Vorgang wird der größte Anteil der Energie in der Gießerei verwendet. Je nach Ofentyp bilden elektrischer Strom, Erdgas oder Koks die eingesetzten Energieträger. Öfen können in diesem Prozessschritt zwei Funktionen erfüllen, Schmelzen und Warmhalten der Schmelze.

Für die in dieser Studie untersuchten Werkstoffe Eisen und Stahl wurden Kupol-, Induktions- und Lichtbogenöfen betrachtet.

4.3 Modellgießerei

Zwischen verschiedenen Eisengießereien gibt es enorme Schwankungen in den Unternehmensbereichen. Einflussfaktoren sind zum einen Größe und Anzahl der produzierten Gussteile, zum anderen aber auch der Einsatz der Produktionsanlagen. Umso schwieriger ist es, allgemeingültige Handlungsempfehlungen für diesen Industriezweig aufzuzeigen, da selbst zwischen den Gießereien einer Untergruppe Schwankungen bis zu 20 % auftreten können.¹⁹

Um dennoch die Ergebnisse vergleichbar darzustellen, wurde eine „Modellgießerei“ mit normierten Werten geschaffen.

Die Studie zur „Ermittlung von branchenspezifischen Potenzialen zum Einsatz von erneuerbaren Energien in besonders energieintensiven Industriesektoren am Beispiel der Gießerei-Industrie“ mit ihren sechs Modellgießereien²⁰ galt dabei als erste Referenz. Für die vorliegende Studie sind nur die Eisen und Stahlgießereien (M1, M3, M4) von Bedeutung, Nichteisengießereien (M2, M5, M6) gehören nicht zum Untersuchungsraum.

¹⁹ Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009

²⁰ Ermittlung von branchenspezifischen Potenzialen zum Einsatz von erneuerbaren Energien in besonders energieintensiven Industriesektoren am Beispiel der Gießerei-Industrie, S. 109 ff

Name	Beschreibung
M1	Eisengießerei mit Kupolofenbetrieb und Formanlage (Nassguss-Verfahren), Serienfertigung
M3	Eisengießerei mit Induktionsofen, Handformerei (Kaltharzverfahren), Fertigung von großen Gussteilen
M4	Stahlgießerei mit Induktionsofen, Handformerei

Vorgehen bei der Erstellung der Studie

Abb. 07 Auszug der als Referenz dienenden Modellgießereien

Die relevanten Energieeinsätze²¹ für die entsprechenden Modellgießereien stellen sich wie folgt dar:

Energieträger	M1	M3	M4
Strom [GWh/a]	102,5	10	18,6
Gas [GWh/a]	25	0,9	6,2
Energie, gesamt [GW/a]	292,5	11,2	25,1
Anteil von Strom [%]	35,04	89,29	74,1
Anteil von Erdgas [%]	8,55	8,04	24,7
Anteile von Erdgas und Strom [%]	43,59	97,32	98,81

Abb. 08 Energieträger der ausgewählten Referenzgießereien

Für die zu erarbeitende Studie sind folgende Informationen relevant:

- Die Funktionsweise der im Betrieb verwendeten Ofentypen und damit einhergehend die in Anspruch genommenen Energieträger wirken sich unmittelbar auf den entsprechenden Verbrauch aus.
- Stahlgießereien mit Handformerei haben den größten, anteiligen Verbrauch an Gas und stehen an zweiter Stelle hinter den Unternehmen mit Kupolöfen im absoluten Verbrauch.
- Der Schmelzofen ist der größte Verbraucher im Prozess.

Aus diesen Informationen lassen sich folgende Anhaltspunkte für die Analyse der Energieeinsparpotenziale ableiten:

- In Abhängigkeit der eingesetzten Öfen ist es sinnvoll Maßnahmen zur Energieeinsparung auf die hauptsächlich beanspruchten Energieträger auszurichten.
- Die zu behandelnden Werkstoffe, Stahl bzw. Eisen, beeinflussen den anteiligen Verbrauch an Elektrizität und Gas.
- In Eisengießereien mit Kupolofenbetrieb können sich auch geringfügige Energiereduzierungen erheblich auf die absoluten Verbrauchswerte auswirken; Einsparpotenziale können vorrangig in der Verringerung von Koks liegen.

²¹ Ermittlung von branchenspezifischen Potenzialen zum Einsatz von erneuerbaren Energien in besonders energieintensiven Industriesektoren am Beispiel der Gießerei-Industrie, S. 111 ff

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen zum einen die mittlere Energiekostenverteilung in Eisen- und Stahlgießereien, zum anderen die spezifische Verteilung der Energieverbräuche im Prozess.

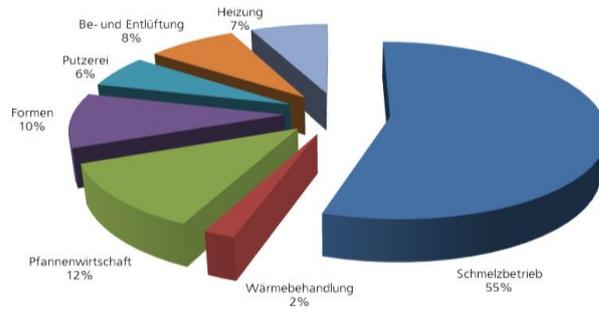


Abb. 09 Eisengießerei; mittlere Energiekostenverteilung²²

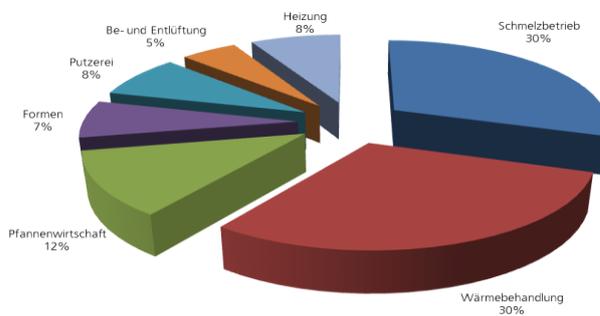


Abb. 10 Stahlgießerei; mittlere Energiekostenverteilung²³

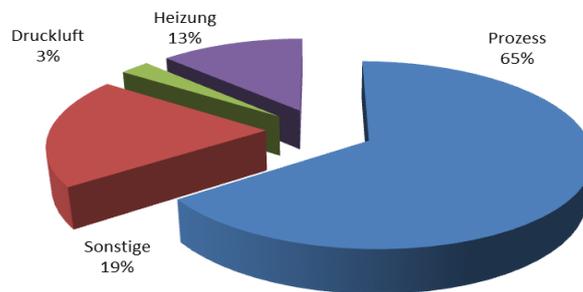


Abb. 11 Spezifische Anteile des Energieverbrauchs in Eisen-, Stahl- und Tempergießereien²⁴

Neben dem Prozess selbst, ist die Infrastruktur ebenfalls ein großer Energieverbraucher. Hier können je nach Auslastung sogar bis zu 30 % Energie eingespart werden, was bis zu 10 % des gesamten Stromverbrauchs ausmacht.²⁵

Folgende Tabelle untermauert die prozentualen Angaben mit spezifischen Werten. Gleichzeitig dienen die Werte als Referenz und sind für die Berechnung der Einsparpotenziale unerlässlich. Somit ist es möglich, alle Maßnahmen auf eine Einheit umzurechnen und ihre möglichen Potenziale übersichtlich darzustellen.

²² Die Gießereiindustrie – Eine innovative Branche, Dr.-Ing. Gotthard Wolf, BDG Düsseldorf

²³ Die Gießereiindustrie – Eine innovative Branche, Dr.-Ing. Gotthard Wolf, BDG Düsseldorf

²⁴ Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009

²⁵ <http://www.energie.ch/themen/industrie/infel/giessereien.htm>; 24.04.2015

Bereich	Energieverbrauch in kWh/t guter Guss
Prozess	1.716,47
Heizung	334,23
Druckluft	69,68
Sonstige inkl. Licht, RLT etc.	517,12
Summe (Referenz)	2.637,50

Vorgehen bei der Erstellung der Studie

Abb. 12 Spezifische Anteile des Energieverbrauchs in Eisen-, Stahl- und Tempergießereien in kWh/t²⁶

Da die einzelnen Ofentypen Diskrepanzen in der Energiebilanz aufweisen und zum Teil verschiedene Energieträger verwenden, mussten für die Erörterung der Energiepotenziale und Umrechnung, die Ofentypen separat betrachtet werden. Die verschiedenen Energieverbrauchswerte der Öfen, welche in der Literatur angegeben sind, machten es notwendig, für die weiteren Berechnungen einen Referenzwert festzulegen.

Anlage	von - bis Wert	Norm. Wert in kWh/t
Induktionsofen	490 - 855	650 max. Einsparpotenzial = 265 ²⁷
Lichtbogenofen	400 - 675	525 ²⁸
Kupolofen	1.105 - 1.275	1.100 (Heizwert von Koks = 8,5 kWh/kg) ²⁹

Abb. 13 Normierte Energieverbrauchswerte in kWh/t je Ofenart

Eine Berechnung des Gesamtpotenzials bezogen auf den Referenzwert ist in dieser Studie nicht möglich, da die Effekte der einzelnen Maßnahmen immer den jeweils maximal möglichen Wert ausgeben, welcher gilt, wenn das Unternehmen noch keine Schritte unternommen hat, um effizienter zu produzieren und die Anlagen veraltet sind.

Daher wurde ein anderes Verfahren für das Ausweisen einer Differenz bzgl. der planerischen und betrieblichen Potenziale angesetzt. Die Maßnahmen wurden aus Planungs- bzw. betrieblicher Sicht aufaddiert.

Für die Bildung einer Gesamtaussage, bezüglich der Einsparpotenziale welche sich in der Planung ergeben, kam folgende Formel zum Einsatz:

$$EPB_{\%} = \frac{\sum_{i=1}^n EP^{(i)} + \sum_{j=1}^m EB^{(j)}}{\sum_{i=1}^n EP^{(i)} + \sum_{j=1}^m EB^{(j)} + \sum_{k=1}^o EB_{opt}^{(k)}} * 100$$

wobei gilt:

²⁶ Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009

²⁷ http://www-docs.b-tu.de/forschung/public/wissenschaftstage/2010/wirtschaftsingenieurwesen/StrunzM_Analyse_und_Optimierung_energieaufwendiger_Produkti.pdf, 05.05.2015

²⁸ VDI-Lexikon Energietechnik; Helmut Schaefer; Springer-Verlag, 2013; Seite 819

²⁹ BDG Technikerhebung 2012

$EPB_{\%}$
= *prozentuale Anteil der Einsparpotenziale die während der Planung berücksichtigt werden vom Gesamtpotenzial aller Maßnahmen*

$P^{(i)}$
= *Maßnahme i, die in der Planung beachtet werden kann für $i = 1 \dots n; n \in \mathbb{N}$*

$B^{(j)}$
= *Maßnahme j, die im laufenden Betrieb umgesetzt werden kann für $j = 1 \dots m; m \in \mathbb{N}$*

$B_{opt}^{(k)}$
= *Maßnahme k, die auf eine energieoptimierte Betriebsweise zurückzuführen ist für $k = 1 \dots o; o \in \mathbb{N}$*

$EP^{(i)}$
= *Einsparpotenzial der Maßnahme $P^{(i)}$*

$EB^{(j)}$
= *Einsparpotenzial der Maßnahme $B^{(j)}$*

$EB_{opt}^{(k)}$
= *Einsparpotenzial der Maßnahme $B_{opt}^{(k)}$*

$$\sum_{i=1}^n EP^{(i)} + \sum_{j=1}^m EB^{(j)}$$

= *kumulierte Einsparpotenziale der Maßnahmen aus Betrieb und Planung*

$$\sum_{i=1}^n EP^{(i)} + \sum_{j=1}^m EB^{(j)} + \sum_{k=1}^o EB_{opt}^{(k)}$$

= *kumulierte Einsparpotenziale der Maßnahmen aus Betrieb, energieoptimiertem Betrieb und Planung*

Für die Berechnung gilt, dass die Betrachtung von Maßnahmen, die sich in ihren Effekten gegenseitig substituieren bzw. beeinflussen, keine Beachtung finden. Offensichtliche Überschneidungen wurden herausgerechnet. Diese sind in der finalen Ergebnistabelle grau hinterlegt und verweisen auf die Maßnahme, der sie zugeordnet wurden.

4.4 Fokussierung der inhaltlichen Schwerpunkte

Um eine qualifizierte Auswertung der erkannten Potenziale sicherzustellen, wurden die untersuchungsrelevanten Subsysteme von Gießereien mit ihren Elementen und Prozessen vereinfacht.

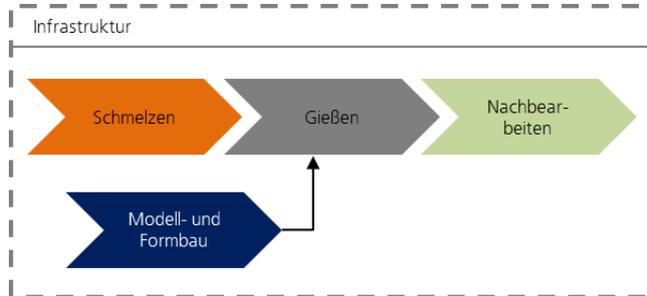


Abb. 14 Vereinfachte Prozessdarstellung

Die gesammelten Erkenntnisse können folgenden Kategorien zugeordnet werden:

Spezifisches Gießerei-Subsystem	Prozesse und Elemente
Infrastruktur	Gebäudehülle, Abluft, Lagerung, Transport, Medienversorgung
Schmelzen	Schmelzen, Warmhalten
Gießen	Pfannenwirtschaft, Gießen, Abkühlen
Modell- und Formbau	Konstruieren und simulieren, Kerne, Formen, Modelle
Nachbearbeiten	Gussnachbearbeitung, Wärmebehandlung

Abb. 15 Aufteilung in die Subsysteme inklusive relevanter Prozesse

Für die Ermittlung der Energieeffizienzpotenziale wurden Studien und verfügbare Literatur nach Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung untersucht. Bei der Vorbegutachtung der Literatur kam die Problematik der unterschiedlichen Maßeinheiten zum Tragen. Die verschiedenen Einheiten erschweren den Vergleich und somit auch die Potenzialschätzung. Für die vorliegende Studie war es essentiell, eine einheitliche Größe zur Beurteilung des Energieverbrauchs bzw. der –einsparung auszuwählen. In Abb. 16 sind mögliche Bewertungsgrößen mit zugehöriger Beschreibung aufgelistet.

Bewertungsgröße	Beschreibung
% GE	Die prozentuale Angabe über den eingesparten Anteil am Gesamtenergieverbrauch scheint auf den ersten Blick sinnvoll. Damit ist eine Lokalisierung und Bewertung der Maßnahmen über mehrere Gewerke einer Gießerei möglich. Diese Einheit ist vorzuziehen, wenn eine Untersuchung nur anhand einer speziellen Gießerei durchgeführt wird.
% PE	Ähnlich wie die vorhergehende Einheit ist die prozentuale Angabe des eingesparten, prozessbezogenen Verbrauchs am besten geeignet, um Potenziale innerhalb eines Prozesses und Unternehmens aufzudecken.

Abb. 16 Auswahl der Bewertungsgröße

Vorgehen bei der Erstellung der Studie

kWh/a	Die absolute Angabe eines Verbrauchs bzw. einer Einsparung pro Jahr ist für eine interne Einschätzung im Unternehmen vorteilhaft. Mit dieser Einheit kann auch eine Kalkulation aus betriebswirtschaftlicher Sicht direkt erfolgen. Diese Größe ist für die Untersuchung eines speziellen Unternehmens geeignet.
kWh/t	Der Verbrauch pro Tonne guter Guss ist eine Einheit, die in der Industrie als Kennzahl für den spezifischen Verbrauch weit verbreitet ist (z.B. in Umwelterklärungen der Unternehmen). In der Literatur ist diese Einheit weniger verbreitet, jedoch können Umrechnungen mit einer geringen Anzahl zusätzlicher Informationen angestellt werden. Diese Einheit liefert eine sehr gute Vergleichbarkeit und kann als „normierte Bezugsgröße“ angesehen werden. Dadurch ist sie für diese Analyse am besten geeignet.
€/a	Eine weitere mögliche Einheit ist die Darstellung der Kostenersparnis in „Euro“. Sie ist am leichtesten zu interpretieren, aber dennoch für die Potenzialangabe ungeeignet, da der Einfluss der betriebsspezifischen Faktoren zu hoch ist, um eine Vergleichbarkeit über Unternehmensgrenzen hinweg sowie Ableitungen von Gesetzmäßigkeiten zu ermöglichen.

Eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse lässt sich mit der Bewertungsgröße „Verbrauch in kWh pro t Stahl [kWh/t]“ am besten erzielen. Auch bei den meisten statistischen Angaben zur Gießereiindustrie, die sich auf die Produktion beziehen, wird die Größe „Masse guter Guss“ verwendet. Hier ist die Umrechnung aus fast allen anderen Einheiten möglich. Dementsprechend wurde zur Ausweisung der Potenziale die Bewertungsgröße kWh/t guter Guss ausgewählt.

Beim Vergleich der lokalisierten Einspareffekte sind die Rahmenbedingungen nicht außer Acht zu lassen. Eine direkte Übernahme der Maßnahmen in die Produktion ist nur bedingt möglich, da die Produktionsstrukturen und Rahmenbedingungen zwischen den Unternehmen verschieden sind und diese Einfluss auf die Höhe der Einsparmaßnahmen haben. Die aufgezeigten Einsparpotenziale stellen eine allgemeine Tendenz dar, was bei stabilen Produktions- und Umweltbedingungen erreicht werden kann.

4.5 Ableitung der Hypothesen

Um die Besonderheiten speziell für die Gießereiindustrie herausstellen zu können, war es sinnvoll, eine Vergleichbarkeit aus anderen Studien, Projekten und wissenschaftlichen Arbeiten herzustellen. Zu diesem Zweck wurden weitere Materialien und Betrachtungen einbezogen und hinsichtlich folgender Fragen untersucht:

- Welche Potenziale werden betrachtet?
- Wo gibt es Energieeinsparmöglichkeiten?
- In welchem Teil der Prozesskette ist die Umsetzung möglich?
- Können die Ergebnisse verglichen werden?
- Ist es wichtig, diese Maßnahme in der Planung zu beachten?
- Ist eine Umsetzung in der Betriebsphase einer Anlage möglich?

Auf Basis der bei der Auswertung verschiedener Studien, Projektberichte, Vorträge und Podiumsdiskussionen sowie weiterer Quellen gewonnenen Erkenntnisse wurden die folgenden Untersuchungshypothesen formuliert:

Vorgehen bei der Erstellung der
Studie

- (H1) Veränderungen im Unternehmen auf Basis einer genehmigungsbedürftigen Planung erzielen größere Einsparungen als einzelne Maßnahmen, die ausschließlich im Betrieb durchgeführt werden.
- (H2) Energieeffizienz findet unterschiedliche Bedeutung in großen und kleinen Unternehmen. Große Gießereien stehen der Erarbeitung und Umsetzung von Einsparmöglichkeiten meist offener gegenüber.
- (H3) Das Wissen für eine energieoptimierte Produktion ist in den Unternehmen nur begrenzt vorhanden.

Am Ende der Untersuchungen werden die Ergebnisse aus den Unternehmensgesprächen mit den Hypothesen sowie den Erkenntnissen aus der Dokumentenanalyse abgeglichen.

4.6 Industriegespräche

Um die theoretischen Erkenntnisse mit Erfahrungen aus der Praxis zu untermauern, wurden Gespräche mit verschiedenen Gießereien für unabdingbar erachtet. Diese Entscheidung lag der Annahme zugrunde, dass das Thema „Energieeffizienz“ in verschiedenen Unternehmensgrößen eine unterschiedliche Gewichtung erhält, auch, da die Unternehmen in der Praxis ihre Potenziale nur unzureichend kennen.

Ausgehend von den Hypothesen wurde das Gespräch unter Beachtung folgender Aspekte vorbereitet:

- Allgemeine Angaben zum Unternehmen, Überblick über den Produktionsprozess,
- Erfahrungen bei Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz, Kenntnis über die im Unternehmen vorhandenen Einsparmöglichkeiten.

Um mögliche Entwicklungen bewerten zu können, wurde besonders Wert auf ein offenes und konstruktives Gespräch mit den Entscheidern der jeweiligen Unternehmen gelegt. Dadurch war es möglich, einen guten Einblick in die themenbezogenen Aspekte der Gießerei zu erhalten.

5 Ergebnisse

5.1 Energieeinsparpotenziale

In der Studie „Foundry Bench“, siehe Abschnitt 4.1, wurde ein durchschnittliches Gesamteinsparpotenzial von bis zu 25 % im europäischen Rahmen ermittelt. In Abb. 17 ist dargestellt, wie sich dieses Potenzial zusammensetzt. Die Untersuchung verdeutlicht, wie groß die Reserven der Unternehmen sind und mit welchen Maßnahmen die Energie im Unternehmen effizienter genutzt werden kann. Diese Ergebnisse wurden z.B. für die Vertiefung der Literaturrecherche in den bestimmten Bereichen verwendet und auch für Maßnahmen und Vorschläge übernommen.

Abb. 17 Energieeinsparpotenziale in Gießereien, europaweit³⁰

Prozess	Eisen-Gießerei Energieanteil in % inkl. Toleranzbereich		Stahl-Gießerei Energieanteil in % inkl. Toleranzbereich		Einsparpotenzial in %
Schmelzen	42	±5	30	±5	3-5
Glühen	1		30	±2	2
Antriebe	15	±2	10	±2	1
CA-System	8	±3	6	±2	2
Pfanne vorheizen	4	±2	4	±4	2
Lüftung	23	±10	16	±4	5-10
Heizung	3	±2	3	±1	1
Licht	4	±1	3	±1	1
Summe		100		100	17-24

In den folgenden Abschnitten werden die Energieeinsparmaßnahmen aufgezeigt, den jeweiligen Prozessschritten zugeordnet und zusätzlich nach planerischer (P) und betrieblicher (B) Umsetzbarkeit kategorisiert. Im Ergebnis wird ein einfaches Erkennen und Zuordnen von Einspareffekten möglich sein.

³⁰ http://www.bdguss.de/fileadmin/content_bdguss/BDG-Service/Infothek/Sonderpublikationen/BDG-Umwelttage/1_Umwelttag/Wolff_ifG_Aktuelle_Forschungsvorhaben_und_ergebnisse_des_ifG_aus_dem_Bereich_Umwelt_und_Energie.pdf, 11.05.2015

5.1.1 Modellbau / Formherstellung

Ergebnisse

Der Bereich "Modellbau/ Formherstellung" umfasst all die Prozesse, welche mit der Gestaltung und Formgebung des Endbauteils verbunden sind. Im hier vorliegenden, abstrahierten Abbild handelt es sich um die Teilprozesse Bauteilkonstruktion, -simulation, sowie die daraus resultierende Kern- und Formherstellung. Formen mit Kernen, in welche die metallische Schmelze gegossen wird, sind die qualitätsentscheidenden Werkzeuge. Im Bereich der Eisen-, Stahl- und Tempergussgießereien werden fast ausschließlich Sandformen und Formen aus gebundenen Sandkörnern genutzt. Nach dem Gebrauch dieser Formen wird der Formstoff aufbereitet und für die Wiederverwendung regeneriert.³¹

Maßnahme	Beschreibung	Effekte	Wert kWh/t	P/B
<i>Optimierte Gussformen</i>				
Topologie-optimierung	computerunterstützte Optimierung des Gussteils/ Form zur Verbesserung der Material- und Energieeffizienz	Gewichtsreduktion, geringere Bearbeitungskosten und CO ₂ -Emissionen Einsparungen der Schmelze	220	B
Verbesserung der Ausschussrate	sachgerechte Konstruktion des Einguß- und Fütterungssystems	Reduktion der Schmelz- und Materialkosten	93	B
Gewichtsreduzierung	Gewichtsoptimierung am Bauteil Berücksichtigung der gießtechnischen Prämissen in der Konstruktion	Reduktion von Gewicht, Schmelz- und Materialkosten	162	B

Abb. 18 Maßnahmen zur Energieeinsparung im Bereich Modell- und Formbau

Die Möglichkeiten der Einflussnahme auf die Energieverbräuche in der Form- und Kernherstellung sind aufgrund möglicher negativer Auswirkungen auf die Qualität des Gussstücks beschränkt. Prozesssicherheit und Qualität haben hier eine höhere Priorität als die Möglichkeit, Energie einzusparen.

Mit dem Einsatz von Simulationssoftware lassen sich u.a. Einspeiser energieoptimiert konstruieren. Dadurch kann die Ausschussquote im Prozess verringert werden.

Planerische Ansätze zur Energieeinsparung konnten in diesem Prozessschritt anhand der Literatur nicht identifiziert werden.

³¹ Innovative Techniken: Beste verfügbare Techniken (BVT) in ausgewählten industriellen Bereichen
Teilvorhaben 3: Gießereien, 2012

5.1.2 Schmelzen

Im Schmelzprozess selbst, liegen die größten Energieeinsparpotenziale in der Anlage. Die Einsparung kann durch Verminderung des spezifischen Stromverbrauchs und der Nutzung von Abwärme erreicht werden. Dies geschieht zum einen durch konstruktive Änderungen an der Anlage, zum anderen spielen aber auch der Prozess und die Betriebsweise eine nicht zu vernachlässigende Rolle.

Grundsätzlich weisen alle Ofentypen Potenziale zur Wärmerückgewinnung auf, welche jedoch dem Bereich Infrastruktur zugeordnet wurden, wenn die rückgewonnene Wärme betriebsintern bzw. -extern und nicht innerhalb des eigentlichen Fertigungsprozesses weiter genutzt wird.

Abb. 19 Maßnahmen zur Energieeinsparung im Schmelzprozess

Maßnahme	Beschreibung	Effekte	kWh/t	P/B
<i>Induktionsofen</i>				
Modernisierung	Ausstattung mit moderner Mittelfrequenz- und Prozessleittechnik	Realisierung einer höheren Leistungsdichte, Verkürzung der Schmelzzeit usw.	60	P
Umrüstung von Netzfrequenz- auf Mittelfrequenz-Ofentechnik	Mittelfrequenztechnik erlaubt höhere mögliche Leistungsdichte	höherer Spulenwirkungsgrad im Chargenbetrieb, Schmelzen ohne Sumpf	40	P
Konstruktionsänderungen	Änderungen der Konstruktion des Schmelzofens bei Umrichter und Spule, dadurch geänderte Prozessführung	Optimierung des Prozesses und der Anlage	130	P
Nutzung numerischer Simulation	numerische Simulation des elektromagnetischen Feldes zur Ermittlung, Verteilung und Streuung, dadurch Veränderungen der Ofenkonstruktion	Reduzierung der Spulenverluste und Verlustleistung im Induktor	65	P
<i>Kupolofen</i>				
Koksloser Kupolofen	Substitution von Koks durch Erdgas	CO ₂ -Ausstoß sinkt auf ein Drittel, kein CO, SO ₂ , und Gichtgas	530	P
<i>Lichtbogenofen</i>				
Modernisierung	Modernisierung bei Verschleiß, Leistungsabfall und Störungen	Verbesserung der Energieeffizienz, Reduzierung der Emissionen	35	P

Maßnahme	Beschreibung	Effekte	kWh/t	P/B	Ergebnisse
<i>Energieoptimierte Betriebsweise</i>					
Deckel geschlossen halten	Öffnen des Deckels nur während des Prozesses	geringere thermische Verluste	10	B	
Drosselung der Absauganlage	Drosselung der Absauganlage, wenn keine Rauchgase abzuführen sind	weniger Energie wird abgesaugt	15	B	
Ofenfüllung	vollständiges Füllen des Schmelzofens	Senkung des Abbrandes	15	B	
Wanddicke der keramischen Zustellung	Reduzierung des Sicherheitszuschlags für die Wanddicke	abnehmende Zustelldicke – Reduzierung des Stromverbrauches	60	B	
Schmelzen ohne Sumpf	Nur beim Einsatz von Mittelfrequenztechnik und kleinstückigem Material möglich	bessere elektromagnetische Ankopplung des Einsatzmaterials	52	B	
Integrierte Prozess- und Anlagenüberwachung	Einsatz moderner Energiemanagementsysteme	exakte Temperaturführung, Optimierung der feuerfesten Zustellung	70	B	
Chargenzusammensetzung/ Gattieren	Zugabe von 2 % Aufkohlungsmittel am Anfang des Schmelzvorganges	Vermeidung von Mehrverbrauch durch die nachträgliche Zugabe	40	B	
Chargenzusammensetzung/ Packungsgröße	Optimierung der Packungsdichten (je geringer, desto höher der Energieverbrauch)	Senkung des Energieverbrauchs	25	B	
Warmhalten Standby	Warmhalten der Schmelze bei Pausen bis zu 4 Stunden	Vermeidung von Mehrverbrauch durch erneutes Hochfahren	100	B	
Überhitzen	Einhaltung der Maximaltemperatur	Vermeidung von Mehrverbrauch	20	B	
Optimale Betriebsweise	Ermittlung des optimalen Betriebspunktes sowie der Temperatur und Aufkohlung	Reduzierung des Koksbedarfs	2,2	B	
Abdichten des Ofendeckels	Verbesserung der Abdichtungen durch größere Sandschicht zwischen Deckel und Feuerstelle	Geringerer Gasverbrauch	1,3	B	

Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz durch technische Einflussnahme auf die Kupolöfen sind aufgrund der eingeschränkten Möglichkeiten zur Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades begrenzt.

Mithin wird in der Literatur³² erwähnt, dass die meisten Kupolöfen bereits in der Nähe des verfahrenstechnischen Optimums betrieben werden und somit schon viele Möglichkeiten in der Vergangenheit ausgeschöpft wurden. Eine Möglichkeit, im Kupolofen den Energiebedarf bzw. den CO₂- Ausstoß zu senken, liegt in der Substitution des Kokeses als Brennmaterial, z.B. durch Erdgas. Hier ist ein Potenzial von ca. 530 kWh/t vorhanden. Aus metallurgischen und anlagentechnischen Aspekten ist es aber sehr komplex, diese Art von Öfen wirtschaftlich umzusetzen und zu betreiben.³³ Weitere Energieeffizienzpotenziale liegen in der Modernisierung, Optimierung und großräumigen Konstruktionsänderung der Induktionsöfen. Durch die Umrüstung von Netzfrequenz- (NF) zu Mittelfrequenz- (MF) Technik kann rund ein Viertel der maximalen Energieeinsparung beim Schmelzprozess, also ca. 60 kWh/t, ermöglicht werden.

Zusammenfassend sind in diesem Prozessschritt die größten Einsparpotenziale bereits beim Planen der Anlagen zu sehen. Durch das Beachten der vorgenannten Möglichkeiten bereits in dieser Phase lassen sich ca. 70 % Energie im Prozess einsparen.

5.1.3 Gießen

Beim Gießprozess, der aus dem Transport der Schmelze in Pfannen, dem Vergießen und dem Abkühlen besteht, sind die größten Potenziale im Umgang mit den Transportpfannen zu sehen. Diese Prozesse verantworten einen Anteil von ca. 12 % des Gesamtenergieverbrauchs.

Pfannen dienen dem Transport vom Schmelz- bzw. Warmhalteofen bis zur Form, in die die Schmelze vergossen wird. Gute isolierende Eigenschaften sind Grundvoraussetzung, dies stellt auch ein Potenzial zur Energieeinsparung dar.

Beim Vergießen der Schmelze in die Form wird keine zusätzliche Energie benötigt, jedoch erfolgt hier die Emission von Wärme an die Umgebung, welche weiter genutzt werden könnte. Es sollte beachtet werden, dass der Wärmeentzug aus der Umgebung ein zu schnelles Abkühlen der Form bewirken kann und dadurch Qualitätseinbußen entstehen können. Dies kann auch auf vorgelagerte Prozesse einen negativen Einfluss in der Güteklasse haben.

Abb. 20 Maßnahmen zur Energieeinsparung beim Gießen

Maßnahme	Beschreibung	Effekte	kWh/t	P/B
<i>optimale Pfannenwirtschaft</i>				
Optimierte Auskleidung	vorgeformte Pfannenauskleidungssysteme oder einteilige Pfanneneinsätze	kein Vorheizen mehr nötig	130	B
Einsatz Erdgas-Sauerstoff-Brenner	Vorwärmen mit Oxy-Fuel-Diffusionsbrenner	höhere Temperaturen, geringerer Verbrauch und CO ₂ -Emissionen	19	P

³² BDGuss, Der energieeffiziente Gießereibetrieb 2.0, 2005

³³ Ermittlung von branchenspezifischen Potenzialen zum Einsatz von erneuerbaren Energien in besonders energieintensiven Industriesektoren am Beispiel der Gießerei-Industrie, 2013

Maßnahme	Beschreibung	Effekte	kWh/t	P/B	Ergebnisse
Einsatz Volumen (-Poren-)brenner	Vorwärmen mit Porenbrenner	Senkung des Gasverbrauchs, CO ₂ -Emissionen, Lärmemission	34	P	
Wärmeoptimierung mittels Plasmastrahl	Temperaturregelung der Schmelze mittels Plasmastrahl vor dem Gießen	Präzise und schnelle Temperaturanpassung, geringere Wärmeverluste im Gießkanal	78	P	
Rinnenauskleidung am Kupolofen	Abdeckung des Transportkanals mittels Betonauskleidung bzw. feuerfestem Zement	geringerer Temperaturabfall, Kokseinsparung, geringere diffuse Emissionen	2	B	

Das größte Potenzial zur Einsparung besteht in der Vermeidung von Wärmeverlusten durch eine optimierte Pfannenauskleidung, was bis zu 50 % des Energieverbrauchs im Prozess ausmachen kann.

Weitere markante planungsrelevante Energieeinsparmaßnahmen für diesen Prozessschritt lassen sich in Auswertung der Literatur nicht identifizieren.

5.1.4 Nachbearbeiten

Im Prozess der Nachbearbeitung erfolgt z.B. durch Wärmebehandlung, Sandstrahlen oder sonstige mechanische Bearbeitungsverfahren die finale Oberflächenbehandlung der Gussstücke. Ein energieintensiver Prozess, der typischerweise in Stahlgießereien zum Standard-Prozess gehört, ist die Wärmebehandlung. Die Anlagen liefern die Möglichkeit zur Abwärmenutzung und die Optimierung des Behandlungsprozesses. Ein weniger energieaufwändiger Prozess, der in den Gießereien im Rahmen der Nachbearbeitung erfolgt, ist das Strahlen. Der häufigste Werkstoff ist Sand. Auch hier liegt das größte Potenzial in der Nutzung der Abwärme der eingesetzten Anlagen.

Nicht näher beleuchtet wird der Fertigungsschritt „mechanische Bearbeitung“, da dies den Betrachtungsraum überschreiten würde.

Maßnahme	Beschreibung	Effekte	kWh/t	P/B
<i>Wärmebehandlung</i>				
Simulation	Numerische Simulation des Prozesses zur Verringerung der Eigenspannungen und mechanischen Eigenschaften	Reduktion der Sicherheitszuschlags	128	B
Rekuperatorbrenner	Einsatz von Rekuperatorbrennern	Vorwärmen der Verbrennungsluft	230	B
<i>Sandstrahlen</i>				
Erneuerung der Strahlurbinen	Strahlurbinen mit Curved-C- und Gamma-Y-Wurfschaufeln mit höheren Wirkungsgrad	flüssige Bewegung des Strahlmittels und optimierte -Beschleunigung, -durchsatz, Anlagentoptimierung	2	B

Abb. 21 Maßnahmen zur Energieeinsparung im Bereich Nachbearbeiten

Im Ergebnis konnte festgestellt werden, dass in diesem Bereich die Wärmebehandlung das größte Potenzial aufweist. Der Anteil am Gesamtenergieverbrauch kann bis zu 35 % (ausschließlich in Stahlgießereien) ausmachen. In Eisengießereien ist dieser Arbeitsbereich auf Grund des geringen Anteils (bis 5 %) vernachlässigbar. Dies hat zur Folge, dass die hier ausgewiesenen Einsparpotenziale nur bei Stahlgießereien zu vermuten sind.

Im direkten Vergleich zwischen Maßnahmen, welche der Betriebsphase zugeordnet werden können, zu denen der Planung ist das Potenzial Energie einzusparen in der Planungsphase doppelt so hoch.

5.1.5 Infrastruktur

Der Bereich „Infrastruktur“ ist ein übergreifender Bereich, welcher die Rahmenbedingungen für die Produktion schafft. Er beinhaltet die Gebäude, deren Hülle, Raum- und Ablufttechnik [RLT] sowie die komplette Medienversorgung. Nach dem Schmelzprozess weist dieser Bereich den zweithöchsten Anteil am Gesamtenergieverbrauch des Unternehmens auf.

Abb. 22 Maßnahmen zur Energieeinsparung in der Infrastruktur

Maßnahme	Beschreibung	Effekte	kWh/t	P/B
<i>Nutzung der Abwärme</i>				
Öfen und Kompressoren	Umrüstung der Kühlsysteme	Abwärmenutzung möglich	345	P
Thermalöl-, Wärmerückgewinnungsanlage	Thermalöl-Wärmerückgewinnungsanlage am Kupolofen	Abwärmenutzung möglich	30	P
Rekuperationssysteme	Rekuperationssystem am Kupolofen	Abwärmenutzung möglich	250	P
Induktionsofen mit Wasserspeicher	Kühlanlage für Spulen- und Druckluftanlage, Zwischenspeicherung	Heizung und Warmwasser in Gebäuden	34	P
Rückgewinnung aus Abluftsystem	Wärmerückgewinnungssysteme und Techniken zur Neutralisierung von Gerüchen	Verminderung von Wärmeverlusten, hohe Reinluftqualität	63	P
<i>Lager</i>				
Schutz der Einsatzstoffe	trocken und sauberes lagern	verrostete Betriebsstoffe erhöhen den Energiebedarf	250 ³⁴	B
<i>Druckluftsystem – DLS</i>				
Vermeidung von Leckagen	Instandsetzen und regelmäßige Wartungsintervalle	Reduzierung des Mehrverbrauchs	14	B

³⁴ Energieeinsparung erfolgt im Schmelzprozess

Maßnahme	Beschreibung	Effekte	kWh/t	P/B	Ergebnisse
Optimierung des DLS	Low Cost Maßnahmen nach der Einführung eines Energiemanagements nach DIN 50001	Reduzierung des Mehrverbrauchs	7	B	
Steuerungssysteme mit Multikompressoren	Einsatz intelligenter Steuerungssysteme zur Druckluftregelung	Reduzierung des Mehrverbrauchs	28	B	
Optimierte Kompressorantriebe	Einsatz von Kompressoren mit Drehzahlregelung (VSD-Kompressoren)	Arbeiten im optimalen Betriebspunkt	25	B	
Einsatz neuer Kompressoren Steuerung	Einsatz von Steuerungs- und Optimierungssoftware, zur Druckluftüberwachung und effizienteren Auslegung	ausbalancierte Druckluftversorgung	10	B	
<i>Raum-Lufttechnik - RLT</i>					
Minimierung der Leckagen in der Hülle und den Zwischenräumen	Minimierung des Luftverlusts und Zugluft in Hauseingängen	Vermeidung von Mehrverbrauch	35	B	
Energetische Ertüchtigung der Hülle und Zwischenräume	Energetische Ertüchtigung der Hallengebäude sowohl bauseitig als auch durch Anlagenmodernisierung	Vermeidung von Mehrverbrauch	45	B	
Modernisierung der Beleuchtung	Einsatz moderner Beleuchtung	bessere Ergonomie am Arbeitsplatz	240	B	
Modernisierung der Lüftungsanlagen	Einsatz neuer effizienterer Ventilatoren	Vermeidung von Mehrverbrauch	80	B	
<i>Stromerzeugung</i>					
Energierückgewinnung aus Lichtbogenofen	Installation einer Stromerzeugungsturbine am Lichtbogenoffenaggregat	Stromerzeugung aus dem, durch die Abwärme erzeugtem Dampfdruck	74	P	

Begründet durch die hohen Wärmeemissionen, liegen in der Nutzung der Abwärme die größten Potenziale um Energie einzusparen. Jedoch nutzen lediglich die Hälfte der Eisen-, Stahl- und Nichteisengießereien die Möglichkeiten, die sich daraus ergeben.³⁵ Die Abwärmenutzung aus Druckluftkompressoren ist sehr weit verbreitet. Sie kann unter anderem für nachgelagerte Prozesse energiesparend eingesetzt werden.

³⁵ Innovative Techniken: Beste verfügbare Techniken (BVT) in ausgewählten industriellen Bereichen
Teilvorhaben 3: Gießereien, 2012

Möglichkeiten zur internen Abwärmenutzung sind oft auf die Senkung der Heizungsverbräuche ausgerichtet. Die aufgefangene Wärme wird z.B. für die Beheizung von Fertigungshallen, Büro- und Sanitärräumen oder zur Warmwasserversorgung genutzt.

Im Bereich Infrastruktur kann durch das Beachten von energieeffizienten Maßnahmen bereits in der Planung ca. 47 % gegenüber betrieblichen Maßnahmen eingespart werden.

5.2 Gesamtergebnis

In den vorhergehenden Abschnitten konnten Möglichkeiten, die der Energieeffizienz im Unternehmen dienen, eruiert und verifiziert werden. Die Ergebnisse zeigen Potenziale auf, um Kosten zu senken.

Die folgende Tabelle zeigt alle Maßnahmen unterteilt in die Spalten:

- P = Umsetzbarkeit macht eine technische Planung und Genehmigung, ggf. einen Umbau mit Anlagenstilllegung notwendig
- B = diese Potenziale lassen sich während der Betriebsphase im Unternehmen umsetzen. Bei Beachtung in der Planung kann die Auslegung der Anlage von Beginn an energieeffizient gestaltet werden
- B_{opt} = diese Maßnahmen stellen die energieoptimierte Betriebsweise von Anlagen dar und laufen kontinuierlich im laufenden Prozess auf

auf.

Die in der Tabelle grau hinterlegten Maßnahmen sind in die Berechnung nicht eingegangen (vgl. Berechnungsvorschriften in Abschnitt 4.3 Modellgießerei, Seite 22).

Die laufende Nummer gibt in der folgenden Gesamtdarstellung die Maßnahme im jeweiligen Bereich an, beispielsweise:

M1

= *Modellbau* ≙ *Maßnahme 1 Topologieoptimierung durch Simulationssoftware*

Abb. 23 Gesamtüberblick der Effekte

Nr.	Maßnahme	Planung (P) in kWh/t	Betrieb (B) in kWh/t	opt. Betrieb (B _{opt}) in kWh/t	Anmerkungen
M1	Topologie (Simulation)			220	
M2	Ausschussraten			93	in M1
M3	Gewicht			162	in M1
	Summe Modellbau	0	0	220	
S1	Modernisierung des Induktionsofens (IO)	60			
S2	NF- auf MF-Technik (IO)	40			in S1
S3	Konstruktion am IO	130			

Nr.	Maßnahme	Planung (P) in kWh/t	Betrieb (B) in kWh/t	opt. Betrieb (B _{opt}) in kWh/t	Anmerkungen	Ergebnisse
S4	num. Simulation	65			in S3	
S5	Koksloser Kupolofen	530				
S6	Modernisierung am Lichtbogenofen					
S7	Deckel abdichten/ geschlossen halten		10			
S8	Drosselung der Absauganlage			15		
S9	Ofenfüllung			15		
S10	keramische Zustellung			60		
S11	Schmelzen ohne Sumpf		52		in S2	
S12	EMS			70		
S13	Chargenzusammensetzung Gattieren			40		
S14	Chargenzusammensetzung Größe			25		
S15	Warmhalten Standby			100	in S12	
S16	Überhitzen			20		
S17	optimierte Betriebsweise			2	in S12	
S18	Abdichten Ofendeckel		1,3			
	Summe Schmelzen	720	63	245		
G1	optimale Auskleidung		130			
G2	Vorwärmen mit Erdgas Brenner	19			in G3	
G3	Vorwärmen mit Volumenbrenner	34				
G4	Wärmeoptimierung der Schmelze	78				
G5	Rinnenauskleidung		2			

Nr.	Maßnahme	Planung (P) in kWh/t	Betrieb (B) in kWh/t	opt. Betrieb (B _{opt}) in kWh/t	Anmerkungen
Summe Gießen		112	132	0	
N1	Simulation des Wärmebehandlungsprozesses			128	
N2	Einsatz Rekuperatorbrenner		230		
N3	Strahltriebwerke		2		
Summe Nachbearbeiten		0	232	128	
I1	Abwärme an Öfen und Kompressoren	345			
I2	Thermalölwärmehückgewinnung	30			in I1
I3	Rekuperationssystem Kupolöfen	250			
I4	Induktionsofen mit Wasserspeicher	34			in I1
I5	Rückgewinnung aus Abluft	63			
I6	Trockene Lagerung		250		
I7	Druckluftsystem Leckagen			14	
I8	Optimierung des DLS			7	in I8
I9	Steuerung DLS mit Multikompressoren		28		
I10	opt. Kompressorantriebe		25		in I9
I11	opt. Kompressorsteuerung		10		in I9
I12	Minimierung Leckagen in Gebäudehülle		35		in I13
I13	Energetische Ertüchtigung der Gebäudehülle		45		
I14	Beleuchtung		240		

Nr.	Maßnahme	Planung (P) in kWh/t	Betrieb (B) in kWh/t	opt. Betrieb (B _{opt}) in kWh/t	Anmerkungen	Ergebnisse
115	Lüftungsanlage		80			
116	Energiegewinnung am Lichtb.ofen	74				
	Summe Infrastruktur	732	643	14		
	Summe	1564	1070	607		
	Summe Gesamt	3241				

Das Ergebnis gibt als einen theoretischen Wert den **Umfang** der erschließbaren Einsparpotenziale an und erfüllt so den Untersuchungsauftrag einer fundierten Schätzung des **adressierbaren Energieeffizienzpotenzials**. Unter welchen Voraussetzungen einzelne Effekte in der Praxis erreicht werden können und welche Einsparungen sich in Kombination mehrerer oder aller Maßnahmen unter Berücksichtigung kumulativer Effekte erreichen lassen, war nicht Gegenstand der Untersuchung und müsste bei Bedarf in einer weiteren Studie explizit untersucht werden.

Ziel war die Darstellung der Einsparpotenziale, die sich bereits bei der Anlagenplanung realisieren lassen, in Gegenüberstellung zu denen im Anlagenbetrieb. Unter der Annahme, dass die Maßnahmen, welche im Betrieb (B) durchgeführt werden können, auch bereits in der Planung (P) Berücksichtigung finden, kann in Summe (P+B) ein Einsparpotenzial von 81 % (entspricht 2634 kWh/t) des Gesamtumfangs von 3241 kWh/t adressiert werden.

Die Maßnahmen, die ausschließlich der Planung zugeordnet werden konnten, haben einen Anteil von 48 % (entspricht 1564 kWh/t) am Gesamteinsparpotenzial.

Mit zusätzlichen Maßnahmen, die sich auf einen betrieboptimierten Anlagenbetrieb (B_{opt}) zurückführen lassen (beispielsweise energieeinsparendes Handeln, Einführung eines Energiemanagementsystems, Nutzung optimierender Software), wird ein Einsparpotenzial von 19 % (entspricht 607 kWh/t) des Gesamtumfangs adressiert.

Um energieoptimiert produzieren zu können, steht den Unternehmen eine große Spannbreite an Möglichkeiten zu Verfügung. Insbesondere schnell umsetzbare Maßnahmen können sich positiv auf die Betriebskosten auswirken und den Effekt direkt sichtbar machen. Ausgewählte Beispiele werden im folgenden Abschnitt 5.3. vorgestellt.

5.3 Best-Practice-Beispiele

Einen wichtigen Teil bei der Eruiierung der verschiedensten Potenziale nahmen die Gespräche mit den Partnern aus der Industrie ein. Um auch hier ein breites Meinungsspektrum zu erhalten, wurde bei der Unternehmensauswahl darauf geachtet, dass verschiedenste Unternehmensgrößen und Gießereitypen einbezogen wurden.

Die folgenden Beispiele zeigen zum einen den unterschiedlichen Umgang der Unternehmen mit dem Thema Energieeffizienz, zum anderen wird auch ersichtlich, was bereits an Maßnahmen in den jeweiligen Unternehmen geplant und umgesetzt wurde.

5.3.1 Fallbeispiel I

Für das erste Gespräch wurde eine mittelgroße Gießerei ausgewählt, welche bereits ein Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001 zur kontinuierlichen Verbesserung der Energieausnutzung aufgesetzt hat.

Im Unternehmen werden pro Tag über 20 t Gussteile aus Grauguss und Sphäroguss produziert. Dafür stehen im Schmelzbetrieb Kupolöfen sowie Mittelfrequenz-Induktionstiegelschmelzofenanlagen mit jeweils zwei Öfen zum Schmelzen bzw. zum Warmhalten und Überhitzen zur Verfügung.

Die letzte große Investition erfolgte vor bereits sieben Jahre. Bei dem damaligen Aufbau eines neuen Schmelzbetriebs wurde unter anderem mit dem Ziel einer energiesparenderen Fertigung die Anlage mit elektrischen Öfen geplant. Gleichzeitig wurde eine weitere Formanlage einschließlich Kühlstrecken zur Automatisierung des Fertigungsprozesses neu errichtet. Im Vordergrund der Investitionsentscheidung standen aber auch hier letztendlich Kosten, Qualität sowie Arbeitssicherheit.

Die Anlagen entsprachen zum Zeitpunkt der Investition dem aktuellen Stand der Technik. Dennoch bestehen auch hier Einsparpotenziale, vor allem in der Nutzung der Wärme.

Mit der Einführung des EMS wurden Möglichkeiten eruiert, wie weitere Maßnahmen ergriffen werden können, um Energie einzusparen. Beispiele für aktuelle Projekte sind unter anderem:

Einsatz von Wärmetauschern

- Mit dem Kauf einer neuen umweltschonenderen Filteranlage musste ein Kühlsystem zur Vermeidung der Überhitzung installiert werden
- Einfachste Variante war die Installation von Wärmetauschern, welche die Prozesswärme soweit abkühlen, damit sie in der Anlage gefiltert werden kann und diese nicht überhitzt
- Die Rückführung der Abluft ist hier nicht möglich, aber die Abwärme vom Wärmetauscher hat das Potential zur Nutzung, was derzeit aus Platzgründen und wegen des Wärmeüberschusses in diesem Bereich nicht getan wird.
- Es gibt Überlegungen, die Abwärme für den Betrieb einer Absorptionskältemaschine für Kühlzwecke zu nutzen. Nach ersten Berechnungen können dabei 460.000 kWh pro Jahr eingespart werden.
- Diese Maßnahme erfordert zusätzliche Investitionen und somit müssen hier betriebswirtschaftliche Kriterien bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden.

Energieoptimierter Schmelzbetrieb

- Durch Fortbildungen wurden die Mitarbeiter über die Wichtigkeit der Energieverbräuche im Schmelzbetrieb geschult
- Best Practice Hinweise erleichtern das effizientere Betreiben der Anlage
- Im Vorher-Nachher Vergleich konnten damit Einsparungen an Energie im Schmelzbetrieb in Höhe von 25 % erreicht werden

Verbesserung der Energieverbräuche in der Kompressor-Anlage:

Ergebnisse

- Nach einem längeren Planungsprozess wurde die Kompressoranlage erneuert
- Erste Messungen haben ergeben, dass dadurch ca. 10% eingespart werden konnten
- Hier gibt es noch Potenzial zur Steigerung

Anbindung an das Fernwärmesystem zur Nutzung von Restwärme:

- Möglichkeiten wurden bereits geprüft, jedoch stehen hier Probleme der Bereitstellungskontinuität und Investitionssumme im Vordergrund
- Die Absprachen mit dem Anbieter stehen noch aus

Klimatisierung der Produktionshallen

- Geplant ist sowohl die Nutzung der Abwärme durch Einbindung in das Heizsystem als auch die durchgängige Versorgung der Produktionshallen mit Frischluft. In Kombination führt dies zu einer sehr anspruchsvollen Planungsaufgabe.
- Vorrang genießt hierbei die Absicherung der Frischluftversorgung, die Nutzung des Abwärmepotenzials wird mit geringerer Priorität behandelt.
- Eine praktische Umsetzung ist derzeit noch nicht möglich, da die Erfahrungen in diesem Bereich noch gering sind. Planungsprozess und Konzepterstellung sind auf den Weg gebracht.

Bei allen Beispielen ließ sich erkennen, dass Potenziale im Unternehmen bekannt sind und in die zukünftige Planung des Betriebes aufgenommen werden; es wurde deutlich, dass die Energieeinsparung als Entscheidungskriterium für zukünftige Investitionen herangezogen wird. Dennoch stehen die hohen Finanzierungskosten oft zukünftigen Entscheidungen entgegen und müssen immer betrachtet werden.

Ein erster Schritt wurde mit der Einführung eines Energiemanagementsystems getan. Hier können Daten nunmehr prozessbezogen erfasst und systematisch bewertet werden. Ziel wird es sein, anlagenbezogene Messungen nicht nur durchführen zu können sondern auch auszuwerten und Maßnahmen abzuleiten. Dieses Ziel gilt es zu erreichen, denn derzeit sind die Daten aufgrund ihrer unterschiedlichen Basis schwer vergleichbar und somit ein direkter Einspareffekt nicht gleich ausweisbar.

Das strategische Unternehmensziel ist die Energieeinsparung um 20 %. Zur Umsetzung dieser Vision wird zum einen in neue Technik investiert, zum anderen werden die Mitarbeiter für dieses Thema sensibilisiert. Auch hier wird ein Potenzial von bis zu 10 % vermutet, welches nur durch energieoptimiertes Handeln erschlossen werden kann.

5.3.2 Fallbeispiel II

Für das zweite Fallbeispiel wurde eine kleinere Gießerei gewählt, die auf Grund ihres breitgefächerten Modellspektrums bis zu 1.500 verschiedene Teile pro Jahr fertigt. Die Produktion wird mit einem Formautomaten, Kupolöfen sowie verschiedenen Kernschießmaschinen und Strahlmaschinen abgedeckt.

Das Unternehmen hat bereits vor mehreren Jahren ein Energiemanagementsystem im Zuge der TÜV-Qualifizierung eingeführt. Damit wurde es möglich, Lastspitzen an 23 Verbrauchern zu messen und zu optimieren. Der finanzielle Faktor spielte hier eine große Rolle, da mit der Überschreitung des vorgegebenen Korridors der Energieversorger enorme Mehrkosten für das Unternehmen entstehen.

Aktuelle Projekte beweisen auch hier, dass das Thema Energieeffizienz in der Gießerei eine große Rolle spielt. Folgende Beispiele sollen dies verdeutlichen:

Software zur Vermeidung von überhöhten Lastspitzen

Mit der Installation einer Software zur Kontrolle der Lastspitzen ist es nunmehr möglich, Übertritte des Korridors zu vermeiden und damit energiesparsamer, vor allem aber kostengünstiger zu produzieren.

Abwärme in der Lackieranlage

In einem Projekt wurde umgesetzt, dass die Abwärme der Kompressoren zur Beheizung der Lackieranlage genutzt wird. Ein zusätzliches Beheizen der Trockenanlage mit Heizöl wurde dadurch überflüssig.

Abwärme für die Heizung der eigenen Geschäftsbereiche

Inhalt dieses aktuellen Projektes ist die Nutzung der Abwärme zur internen Wärmeversorgung, vorrangig der Produktionshallen und Geschäfts- sowie Sozialräume. Hierzu hat das Unternehmen zusammen mit einer externen Beraterfirma das Problem aufgegriffen und in einer Projektstudie die eigenen Anlagen untersucht.

Mit der Einbindung der entstehenden Abwärme in die hausinterne Heizung mittels Betonkernaktivierung³⁶ wird es zukünftig möglich sein, die Produktionsstätten mit bis zu 80 % aus eigenen Ressourcen zu erwärmen. Die Betonkernaktivierung bzw. Betontemperierung ist eine innovative und kostengünstige Variante zum Kühlen und Erwärmen von Gebäuden. Sie nutzt dabei die Böden und Decken der Gebäude, die thermische Energie zu speichern und damit Räume zu heizen oder zu kühlen. Diese Art der Wärmenutzung ermöglicht eine weitgehend verlustfreie Energieübertragung mit größtmöglichem Austausch. Es besteht außerdem eine sehr gute Kombinationsmöglichkeit mit regenerativen Energiequellen wie Wärmepumpen oder geothermischen Energiesystemen. In diesem Beispiel wird dadurch das Beheizen der Räume ohne zusätzliche Heizquellen möglich.

Eine weitere diskutierte Möglichkeit war die Nutzung der Abwärme zur Einleitung in das öffentliche Fernwärmenetz. Dies wurde verworfen, da zuerst in einem zusätzlichen Bauvorhaben die Anbindung an das Fernwärmenetz auf eigene Kosten hätte realisiert werden müssen. Auch konnte eine durchgängige und konstante Zuführung der Wärme nicht garantiert werden.

Die Entscheidung für eine Investition in die Eigennutzung der Abwärme wurde getrieben durch eine anstehende Großinvestition zur Produktionserweiterung sowie

³⁶ <http://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/betonkernaktivierung>, 06.05.2015

durch die in diesem Zusammenhang geplante Betriebskostenreduzierung. Der Faktor „Kostenreduktion“ spielt wie bei vielen anderen Unternehmen auch hier eine bestimmende Rolle für die Investitionsentscheidung. Diese hängen zudem sehr stark von der Investitionshöhe und von den auf dem Markt vorhandenen Lieferanten ab.

Die Weichen für einen energieeffizienteren Betrieb sind gestellt. Inwiefern weitere Möglichkeiten oder sogar die Nutzung regenerativer Energiequellen in der strategischen Planung des Unternehmens eine Rolle spielen, wird sich mit den zukünftig ändernden Umweltauflagen und Produktionsbedingungen zeigen.

5.3.3 Fallbeispiel III

Das dritte Unternehmen war unter den Befragten der Vorreiter bei der Umsetzung energiesparender Maßnahmen. Die Produktion dieses Unternehmens erfolgt in Kleinserien mit Mittelfrequenz-Induktionstiegelöfen.

In einer tiefgreifenden Energieanalyse, welche unter Zuhilfenahme einer externen Beratungsfirma durchgeführt wurde, konnten konkrete Maßnahmen mit folgenden Zielen erarbeitet werden:

- Bereiche mit den größten energetischen Schwachstellen aufzeigen und analysieren
- Produktionsprozesse und Verfahren optimieren
- Aufzeigen von Handlungsempfehlungen für die Verbesserung der Energieeffizienz im Unternehmen
- Implementierung eines Energiecontrollings.

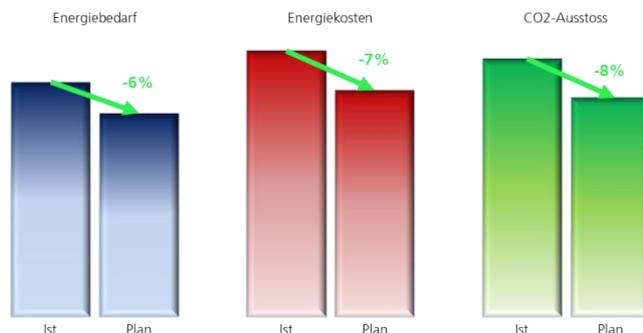


Abb. 24 Geschätztes Einsparpotenzial in diesem Unternehmen über alle Maßnahmen zur Beseitigung der energetischen Mängel pro Jahr

Im Ergebnis wurden folgende Potenziale aufgezeigt:

- Erneuerung der Beleuchtungstechnik
- Optimierung der Belüftungsanlagen
- Optimierung der Druckluftanlage
- Nutzung erneuerbarer Energie
- Verbesserungen der thermischen Hülle
- Verbesserung der Anlagentechnik
- Optimierung der Computertechnik

Alle Maßnahmen sind relativ schnell umsetzbar und behindern kaum den Produktionsprozess, wobei die letzten drei Maßnahmen bei der Planung der Investitionen keine Beachtung finden. Im Folgenden werden die anstehenden bzw. bereits durchgeführten Projekte näher beschrieben:

Beleuchtungstechnik

Die Erneuerung bzw. der Austausch der gesamten Beleuchtungstechnik konnte in diesem Beispiel ein Einsparpotenzial von bis zu 2 % des Gesamtenergieverbrauchs im Unternehmen heben. Dieses Projekt wurde bereits umgesetzt, wobei der überwiegende Teil der verschiedenen Lampen ausgetauscht und an die neusten Standards angepasst wurde. Ein wichtiger Punkt bei der Umsetzung dieser Maßnahme war außerdem die Sicherstellung einer niedrigen Amortisationszeit, welche nur bei knapp 3 Jahren lag.

Druckluftanlage

Als ein weiteres sehr großes Potenzial wurde die Erneuerung bzw. Optimierung der Druckluftanlage inkl. Abwärmenutzung gesehen. Hier ergeben sich sogar Einsparmöglichkeiten von über 2 % des Gesamtenergieverbrauchs im Unternehmen. Mit der Erneuerung der Anlage konnte im ersten Schritt knapp 1 % Energie eingespart werden. Die Nutzung der Abwärme wurde hier noch nicht umgesetzt, jedoch wurde dieses Projekt bereits in die strategische Planung aufgenommen.

Belüftungsanlage

Für die Optimierung bzw. Erneuerung der Lüftermotoren wurde ebenfalls ein Potenzial zur Einsparung von knapp 1 % des Gesamtenergiebedarfs ausgemacht. Mit der bedarfs- und leistungsgerechten Steuerung der Anlage sowie der Installation entsprechender effizienter Motoren konnten erste Maßnahmen zur Optimierung umgesetzt werden.

Die Nutzung erneuerbarer Energie weist ein Potenzial von über 1 % am Gesamtenergieverbrauch auf. Eine neue Photovoltaik-Anlage konnte bisher nicht umgesetzt werden, da diese Großinvestition aufgrund ihrer langen Amortisationszeit erst in einem weiteren Schritt Beachtung finden wird.

Die Nutzung eines Energieaudits in Zusammenarbeit mit einem externen Partner und die daraus resultierten Ergebnisse waren nur mit Hilfe externer Förderprogramme möglich. Das Unternehmen hat viele der aufgezeigten Potenziale umgesetzt und somit die Möglichkeiten zur Senkung der zukünftigen Betriebskosten geschaffen, auch hier war die Umsetzung nur unter Zuhilfenahme der aktuellen Fördermöglichkeiten gegeben.

Das Thema Energieeffizienz ist zu einem zentralen Thema in der Gesellschaft geworden. Besonders industrielle Unternehmen müssen sich hier weiterentwickeln, um international wettbewerbsfähig zu bleiben.³⁷ In der Gießereiindustrie ist dieses Potenzial besonders hoch. Die vorliegende Studie bietet einen Überblick über Möglichkeiten und konkrete Beispiele energieeffizienter Maßnahmen in diesem Industriezweig. Für die Untersuchungsschwerpunkte können folgende Kernaussagen getroffen werden:

- (H1) Veränderungen im Unternehmen auf Basis einer genehmigungsbedürftigen Planung erzielen größere Einsparungen als einzelne Maßnahmen, die ausschließlich im Betrieb durchgeführt werden.

Diese Hypothese lässt sich mit folgenden Aussagen der Studie bestätigen.

- Bezugnehmend auf das identifizierte Gesamteinsparpotenzial von 3241 kWh/t guter Guss adressieren die Maßnahmen, die in der Planungsphase der Anlagen berücksichtigt werden können, Einsparungen im Umfang von 81 % dieses Wertes.
- Durch organisatorische Maßnahmen, die auf eine energieoptimierte Betriebsweise ohne zu planende und zu realisierende Investitionen abzielen, kann ein Potenzial von 19 % des oben genannten Gesamtumfangs adressiert werden.
- Ältere Anlagen weisen zumeist sehr hohe Einsparpotenziale auf. Mit der Umsetzung planungsrelevanter Maßnahmen ist hier oft eine Einsparung von bis zu 60 % der benötigten Prozessenergie realisierbar.
- Anlagen, welche dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, können durch organisatorische Maßnahmen (beispielsweise Drosselung der Absauganlage, wenn keine Rauchgase abzuführen sind, öffnen des Deckels nur während des Prozesses) befähigt werden, noch energieeffizienter zu produzieren.

Die größten Effizienzpotenziale sind in den Bereichen Schmelzen und der Infrastruktur vorzufinden. Die Verwertung der Abwärme spielt dabei eine entscheidende Rolle. Die Nutzung, sowohl intern als auch extern, ermöglicht dem Unternehmen große Mengen an Energie für weitere Prozesse zu nutzen, oder sie nicht direkt am Prozess beteiligten Bereichen zuzuführen.

- (H2) Energieeffizienz findet unterschiedliche Bedeutung in großen und kleinen Unternehmen. Große Gießereien stehen der Erarbeitung und Umsetzung von Einsparmöglichkeiten meist offener gegenüber.

Diese Hypothese lässt sich mit folgenden Aussagen der Studie bestätigen.

- Große Gießereien sind aufgrund der Gesetzeslage (Durchführungen von Energieaudits oder Einführung eines Energiemanagementsystems) für die Erarbeitung und Umsetzung von Einsparmaßnahmen in viel stärkerem Maße sensibilisiert und kennen dadurch ihre Stellhebel besser.

³⁷ <http://www.energynet.de/2014/01/14/studien-zeigen-globale-bedeutung-der-energieeffizienz-der-produktion/>, 08.05.2015

- Bei Entscheidungen, insbesondere in kleinen Gießereien, spielt die Rentabilität der Investition eine entscheidende Rolle. Hierzu wird berechnet, innerhalb welcher Zeit sich die Investition durch die Einsparungen, die sie erbringen soll, »bezahlt« macht (Amortisationszeit). Eine Amortisationszeit kleiner zwei Jahre wird dabei meist als Zielstellung ausgegeben. Diese Restriktion kann allerdings nicht immer eingehalten werden. Investitionen werden, wenn überhaupt, erst nach einem langen Entscheidungsprozess umgesetzt.
- Meist wird das Energiemanagement in KMU vom Geschäftsführer in einer Doppelfunktion mit übernommen. Dadurch kann es möglich sein, dass aktive Maßnahmen zu Energieeinsparung mit der Überwachung der Produktion kollidieren.
- Die geringe Kapitaldecke kleinerer Gießereien führt dazu, dass der Planungshorizont oft nur 1-3 Jahre beträgt.

Der Großteil der Gießereien ist von der EEG-Umlage befreit. Die geringen Stromkosten haben einen Einfluss auf Investitionsentscheidungen. Dem entgegen, stehen die Gießereien, welche die Voraussetzung für eine Befreiung von der EEG-Umlage (Anteil der Stromkosten an der Bruttowertschöpfung beträgt mindestens 14 %) nicht erfüllen. Hier werden ggf. eher Investitions-Entscheidungen zu Gunsten energieeffizienter Anlagen getroffen, da damit die Betriebskosten gesenkt werden können.

(H3) Das Wissen für eine energieoptimierte Produktion ist in den Unternehmen nur begrenzt vorhanden.

Diese Hypothese lässt sich mit folgenden Aussagen der Studie bestätigen.

- Im Jahr 2011 hatten nur ca. 4 % der Gießereien einen detaillierten Überblick zu ihren aktuellen Verbrauchszahlen.³⁸
- Den Mitarbeitern fehlen oft spezifische Kenntnisse zur Realisierung eines energieoptimierten Anlagenbetriebs. Dadurch werden vor allem organisatorische Maßnahmen, die einfach umgesetzt werden könnten, oft nicht erkannt. Planerische Ansätze beschränken sich oft auf eine Prüfung der Nutzung der Abwärme als mögliche Effizienzmaßnahme.
- Energiemesspunkte an Anlagen sind meist nur sehr begrenzt vorhanden. Mit der Erhöhung der Anzahl solcher Messpunkte würden die Energieverbräuche im Unternehmen transparenter und nachvollziehbarer, wodurch Effizienzmaßnahmen zielgerichteter erfolgen könnten.

Die Sensibilisierung der Unternehmen für Energieeffizienz ist weiterhin erforderlich. Zwar erhalten die Geschäftsführer durch die Einführung eines Energiemanagements oder die Nutzung externer Ratgeber ein immer größeres Wissen über ihre Verbrauchszahlen und können damit strategische Entscheidungen auch im Sinne einer energieoptimierten Produktion einfacher treffen. Jedoch ist der Nutzen von Maßnahmen, die im Betrieb umgesetzt werden können, z.B. das erosionsarme Lagern der Betriebsstoffe, Deckel des Schmelzofens nur während des Prozesses zu öffnen u.v.m. noch lange nicht ausgereizt. Hier bleibt ein großes Potenzial, ressourceneffizienter und damit kostengünstiger zu produzieren, ungenutzt.

³⁸ http://www.bdguss.de/fileadmin/content_bdguss/BDGService/Infothek/Sonderpublikationen/Energiemanagement/Helber

Die Ergebnisse dieser Studie sollen dem sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft einen Überblick zu den möglichen Potenzialen, Energie im Gießereiprozess einzusparen, geben und dabei speziell untersetzen, welcher Umfang der Potenziale sich bereits in der Planungsphase adressieren lässt. Damit wird es möglich, Handlungs- und Unterstützungsbedarfe für einen energieoptimierten Betrieb zu identifizieren.

Fazit

Literaturverzeichnis

ANDREAS KÜHL, 2014. *Studien zeigen globale Bedeutung der Energieeffizienz in der Produktion - Energieblog energynet* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: <http://www.energynet.de/2014/01/14/studien-zeigen-globale-bedeutung-der-energieeffizienz-der-produktion/>

BUNDESNETZAGENTUR, 2014. *Bundesnetzagentur - Monitoringberichte* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/DatenaustauschundMonitoring/Monitoring/Monitoringberichte/Monitoring_Berichte_node.html

DAMSTAHL GMBH. *Rohstoffpreise - Koks* [online]. 2013-2014 [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: <http://www.damstahl.de/Default.aspx?ID=3725&startdate=01%2F01%2F2013&enddate=21%2F05%2F2015&category=Coke>

DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION, 1996. *Richtlinie 96/61/EG des Rates vom 24. September 1996 über die integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: https://www.kiel.de/leben/umwelt/laerm/_dokumente/1996_61_EG_IVU-Richtlinie.pdf

DER TAGESSPIEGEL. *Gaspreise sinken erst ab 2015 - Studie warnt vor Überkapazitäten* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: <http://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/gashandel-gaspreise-sinken-erst-ab-2015-studie-warnt-vor-ueberkapazitaeten/5813420.html;%2016.04.2015>

DIPL.-ING. ULRICH PETZSCHMANN, 2012. *Kritische Betrachtung der täglichen Praxis in einer Eisengießerei unter dem Aspekt der Energieeffizienz* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: http://www.vdg-akademie.de/vortraege/1_Kritische_Betrachtung_der_taeaglichen_Praxis_in_einer_Eisengie sserei.pdf

DIRK HOTTMANN, 2010. *Globaler und nationaler Energiebedarf - Dirk Hottmann* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: <http://www.dirk-hottmann.com/globaler-und-nationaler-energiebedarf/>

DR.-ING. HORST WOLFF, 2014. *Innovative Techniken: Beste verfügbare Techniken (BVT) in ausgewählten industriellen Bereichen* [online]. *Teilvorhaben 3: Gießereien Vol. 3* [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_82_2014_innovative_techniken_vol_3.pdf

DR.-ING. HORST WOLFF, 2012. *Aktuelle Forschungsvorhaben und -ergebnisse des IfG aus dem Bereich Umwelt und Energie* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: http://www.bdguss.de/fileadmin/content_bdguss/BDG-Service/Infothek/Sonderpublikationen/BDG-Umwelttage/1_Umwelttag/Wolff>IfG_Aktuelle_Forschungsvorhaben_und_-ergebnisse_des>IfG_aus_dem_Bereich_Umwelt_und_Energie.pdf

GOOD PRACTICE GUIDE, 2012. *Efficient melting in coreless induction furnaces* [online]. Verfügbar unter: https://lists.man.lodz.pl/pipermail/odlew-pl/2012/10/att-0003/guide_coreless_induction_furnaces.pdf

GABRIELE KLEIN und KATJA KRAUS, 2004. *Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU)* [online]. *Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken für Abfallbehandlungsanlagen*. 21. Mai 2015, 12:00 [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter:
http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/419/dokumente/bvt_giessereien_vv.pdf

DR.-ING. GOTTAHRD WOLF, 2011. *Die Gießereiindustrie – Eine innovative Branche, Fachvortrag des bdguss* [online] [Zugriff am: 10. Mai 2015] verfügbar unter:
http://www.industrieanzeiger.de/c/document_library/get_file?uuid=44359bfd-844c-4012-917e-8104f1b3af73&groupId=12503

INSTITUT FÜR GIEßEREITECHNIK GGMBH, 2013. *Energieeffizienter Gießereibetrieb 2.0* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter:
http://effguss.bdguss.de/?page_id=29

JÖRG C. STURM, CHRISTOF HEISSER und CHRISTIAN KLEEBERG, 2012. *Energy and raw material savings in foundries through thorough utilization of simulation* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter:
http://www.magma-soft.de/export/system/galleries/_downloads/2012_Energy-and-Raw-Material-Efficiency_engl_A4.pdf

KIRCHEN, M., 2006. *Energieeffizienz und Emissionen der Lichtbogenöfen in der Stahlindustrie*. Habilitationsschrift. Aachen.

MANUEL BOSSE, EDMUND FROST, MANDANA HAZRAT, JAN-MARTIN RHIEMEIER, DR. HORST WOLF, 2013. *Ermittlung von branchenspezifischen Potentialen zum Einsatz von erneuerbaren Energien in besonders energieintensiven Industriesektoren am Beispiel der Gießerei-Industrie* [online]. Forschungskennzahl (UFOPLAN) 3712 44 347 [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter:
http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Pool/Forschungsdatenbank/fkz_3712_44_347_erneuerbare_energien_bf.pdf

NEUMANN, F., 1999. *Gusseisen. Schmelztechnik, Metallurgie, Schmelzbehandlung*. 2., überarbeitete Aufl. Renningen: Expert Verlag. ISBN 9783816917281.

PROF. DR.-ING. MATTHIAS STRUNZ, B.ENG STEPHANIE IHLE, 2010. *Analyse und Optimierung energieaufwendiger Produktionsstrukturen, dargestellt am praktischen Beispiel* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: http://www-docs.b-tu.de/forschung/public/wissenschaftstage/2010/wirtschaftsingenieurwesen/StrunzM_Analyse_und_Optimierung_energieaufwendiger_Produkti.pdf

ROLF GLOOR, 8. Sep. 2011. *Energieeffizienz in der Eisengiesserei - energie.ch* [online]. 8. September 2011, 12:00 [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter:
<http://www.energie.ch/giesserei>

ROSEMARIE BENNDORF, MAJA BERNICKE, et. Al., 2013. *Treibhausgasneutrales Deutschland im Jahr 2050* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter:
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/treibhausgasneutrales_deutschland_im_jahr_2050_langfassung.pdf

STATISTICA. *Industriestrompreise in Deutschland bis 2014 | Statistik* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter:
<http://de.statista.com/statistik/daten/studie/155964/umfrage/entwicklung-der-industriestrompreise-in-deutschland-seit-1995/>

STRUNZ, M., IHLE, ST., 2009. Zwischenbericht Brandenburgisches Impulsnetzwerk „Energieeffizienter Schmelzbetrieb. *Hochschule Lausitz*.

WWW.BDGUSS.DE, 2013. *Branche - Rolle - Bedeutung · BDG - Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie* [online]. *Die Gießerei-Industrie in Deutschland - Mittelstand mit Schlüsselfunktion* [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: <http://www.bdguss.de/branche/rolle-bedeutung/VV2defntlBc>

WWW.BDGUSS.DE/, 2009. *Energieeffizienter Gießereibetrieb* [online]. Verfügbar unter: http://new.bdguss.de/de/data/energieeffizienz_0.pdf

WWW.BETON.ORG. *Betonkernaktivierung - Beton.org* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: <http://www.beton.org/wissen/beton-bautechnik/betonkernaktivierung/>

WWW.ENERGIE-EXPERTEN.ORG/, 2013. *Energiemanagement Zertifizierung ab jetzt Pflicht* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: <http://www.energie-experten.org/experte/meldung-anzeigen/news/energiemanagement-zertifizierung-ab-jetzt-pflicht-4248.html>

WWW.ENERGIE-SPAREN-AKTUELL.DE/, 2013. *Befreiung von der EEG-Umlage* [online] [Zugriff am: 21. Mai 2015]. Verfügbar unter: <http://www.energie-sparen-aktuell.de/befreiung-von-der-eeg-umlage/>

WWW.SWEEA.SE, 2011, *A study of barriers to and drivers for energy efficiency in the foundry industry in Finland, France, Germany, Italy, Poland, Spain and Sweden* [online] [Zugriff am 10. Juni 2015]. Verfügbar unter: http://www.swerea.se/Global/Swerea_SWECAST/Foundrybench/Foundrybench%20D16%20Benchmarking%20Appendix%201.pdf