



LEITFADEN

**Systematisch Energieeffizienz
steigern und CO₂-Emissionen
senken in der Gießerei-Industrie**

Inhalt

Vorwort Seite 3

01 Grundlagen und branchenspezifische Herausforderungen Seite 4

- 1.1 Verbrauchsstruktur der Gießerei-Industrie
- 1.2 Vielfalt und Heterogenität der Branche
- 1.3 Typische Energieeffizienzpotenziale und Ansätze in den Prozessen

02 Systematische Ansätze Seite 10

- 2.1 Energie- und Umweltmanagement
- 2.2 Organisatorische Maßnahmen
- 2.3 Umweltgerechte Produktgestaltung

03 Prozesstechnologien in der Produktion Seite 18

- 3.1 Trocknen
- 3.2 Chargieren und Gattieren
- 3.3 Optimieren des Schmelzbetriebs
- 3.4 Schmelzen und Warmhalten mit Induktionsöfen
- 3.5 Pfannenwirtschaft
- 3.6 Energieflexibilität durch Lastmanagement

04 Abwärme Seite 28

- 4.1 Vermeidung und Nutzung von Abwärme – die Abwärmekaskade
- 4.2 Wärmerückgewinnung aus Abluft
- 4.3 Abwärmeverstromung als Kraft-Wärme-Kopplung

05 Querschnittstechnologien Seite 37

- 5.1 Antriebssysteme
- 5.2 Lüftungssysteme
- 5.3 Pumpensysteme
- 5.4 Druckluftsysteme
- 5.5 Beleuchtungssysteme

06 Finanzielle Förderung Seite 44

Literaturverzeichnis
Checkliste
Impressum

„ENERGIEEFFIZIENZ IST DAS FUNDAMENT DER KLIMANEUTRALITÄT.“



Unser Jahrzehnt ist geprägt von Weichenstellungen, die den Aufbruch in das Zeitalter der Klimaneutralität gestalten sollen. Die damit verbundenen Herausforderungen werden vor allem dort gemeistert, wo es in die konkrete Umsetzung geht – in den Branchen und Betrieben. Der Mut der Unternehmer und ihre Investitionen in Innovationen ebnen dafür den Weg.

Im Projekt „Leuchttürme CO₂-Einsparung in der Industrie“ zeigt die dena realisierbare Wege zur Energie- und CO₂-Reduktion in vier Schwerpunktbranchen auf. Sie folgen dem Grundsatz „Efficiency First“ und fokussieren auf Maßnahmen zur Energie- und Ressourceneinsparung, die auch die Wettbewerbsfähigkeit steigern. Besondere Beachtung finden dabei die Förderprogramme des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi), die den Unternehmen finanzielle Unterstützung bieten. Der vorliegende Leitfaden, den die dena gemeinsam mit dem Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie entwickelt hat, liefert Orientierung, Beispiele und Tipps für lohnende Maßnahmen in der Gießereibranche.

Andreas Kuhlmann

Vorsitzender der Geschäftsführung,
Deutsche Energie-Agentur



Gießereien werden immer nachhaltiger

Fortschritt entsteht aus Teamwork, aus Kooperation: Partner bündeln ihr Wissen auf der Basis des Status quo, selbstverständlich mit ambitioniertem Ausblick. Dann entsteht so Positives wie dieser Leitfaden. Die dena und der BDG haben sich zusammengetan und zeigen auf, welche Potenziale auf dem Weg zur Klimaneutralität in der Gießerei-Industrie und in dem Verfahren selbst stecken, einem Verfahren, das schon heute zahlreiche nachhaltige Ansätze und Kreislaufwirtschaft realisiert – mit Erfolg: So gießt unsere Branche mit ihren 70.000 Beschäftigten beispielsweise aus minderwertigen Schrotten Naben für hochmoderne Windenergie-Anlagen. Das ist kein einfaches Recycling, sondern qualifiziertes Upcycling. Unser Verfahren benötigt indes Prozesswärme – wo dabei noch Einsparpotenziale realisiert werden können, beleuchtet dieser gemeinsame Leitfaden. Er ist das Ergebnis von Teamwork im Geiste des Fortschritts.

Max Schumacher

Hauptgeschäftsführer des Bundesverbandes
der Deutschen Gießerei-Industrie

01

GRUNDLAGEN UND BRANCHEN- SPEZIFISCHE HERAUSFORDER- RUNGEN

Die deutsche Gießerei-Industrie ist eine klassische Mittelstandsbranche. Rund 93 Prozent der Unternehmen beschäftigen bis zu 500 Mitarbeitende, rund 85 Prozent haben weniger als 250 Beschäftigte. Etwa 560 Gießereien in Deutschland produzieren rund 5 Mio. Tonnen „guten Guss“ pro Jahr und haben damit 2019 einen Umsatz von über 12 Mrd. Euro erwirtschaftet.¹

Als Hauptenergieträger kommen in Gießereien elektrische Energie, Gießereikoks und Erdgas zur Anwendung. Die Steigerung der Energieeffizienz ist somit ein wesentlicher Schritt auf dem Weg zu CO₂-neutralen Prozessen.

Energieeffizienzsteigerungen können neben der Reduktion von CO₂-Emissionen auch eine Kostenreduktion bewirken. Dies fördert die Entkoppelung von steigenden Energiepreisen. Zugleich werden die Voraussetzungen für eine bessere Wettbewerbssituation der Branche positiv beeinflusst.

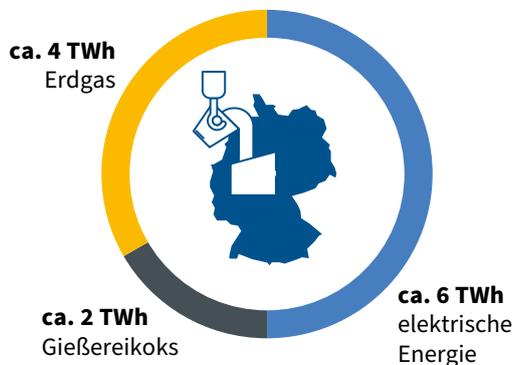


Abbildung 1: Energieverbrauch der Gießereibranche in Deutschland. Quelle: eigene Darstellung nach Bosse (2018), S. 89/ Fraunhofer IWU (2015), S. 9

1.1 Verbrauchsstruktur der Gießerei-Industrie

Der Gesamtenergiebedarf der deutschen Gießereien lag laut der „Erhebung über die Energieverwendung der Betriebe“ des Statistischen Bundesamts im Jahr 2019 bei etwa 12,4 TWh. Davon entfielen auf Eisengießereien ca. 6,9 TWh, Stahlgießereien 0,8 TWh, Leichtmetallgießereien 4,4 TWh und Buntmetallgießereien 0,3 TWh. Mit dieser Energie produziert die Gießerei-Industrie vielfältige Anwendungen, u. a. Bauteile für den Fahrzeug- und Maschinenbau oder die Energieerzeugung und -versorgung.

In den vergangenen Jahrzehnten haben sich die Produkt- und Prozessstrukturen sowie die Wertschöpfungstiefe in Gießereien wesentlich gewandelt. Damit einhergehend hat sich auch der Einsatz von Energieformen in der Gießerei-Industrie elementar verändert: So hat sich der Verbrauch elektrischer Energie in etwa verdoppelt und macht mit rund 6 TWh/a inzwischen ungefähr die Hälfte des Energieverbrauchs der deutschen Gießerei-Industrie aus.² Der Einsatz von Gießereikoks hingegen hat sich etwa halbiert.³ Zudem ist ein beträchtlicher Anstieg der Gussproduktion feststellbar.

¹ BDG (2020): Eigene Statistik

² Fraunhofer IWU (2015), S. 9

³ Bosse (2018), S. 89

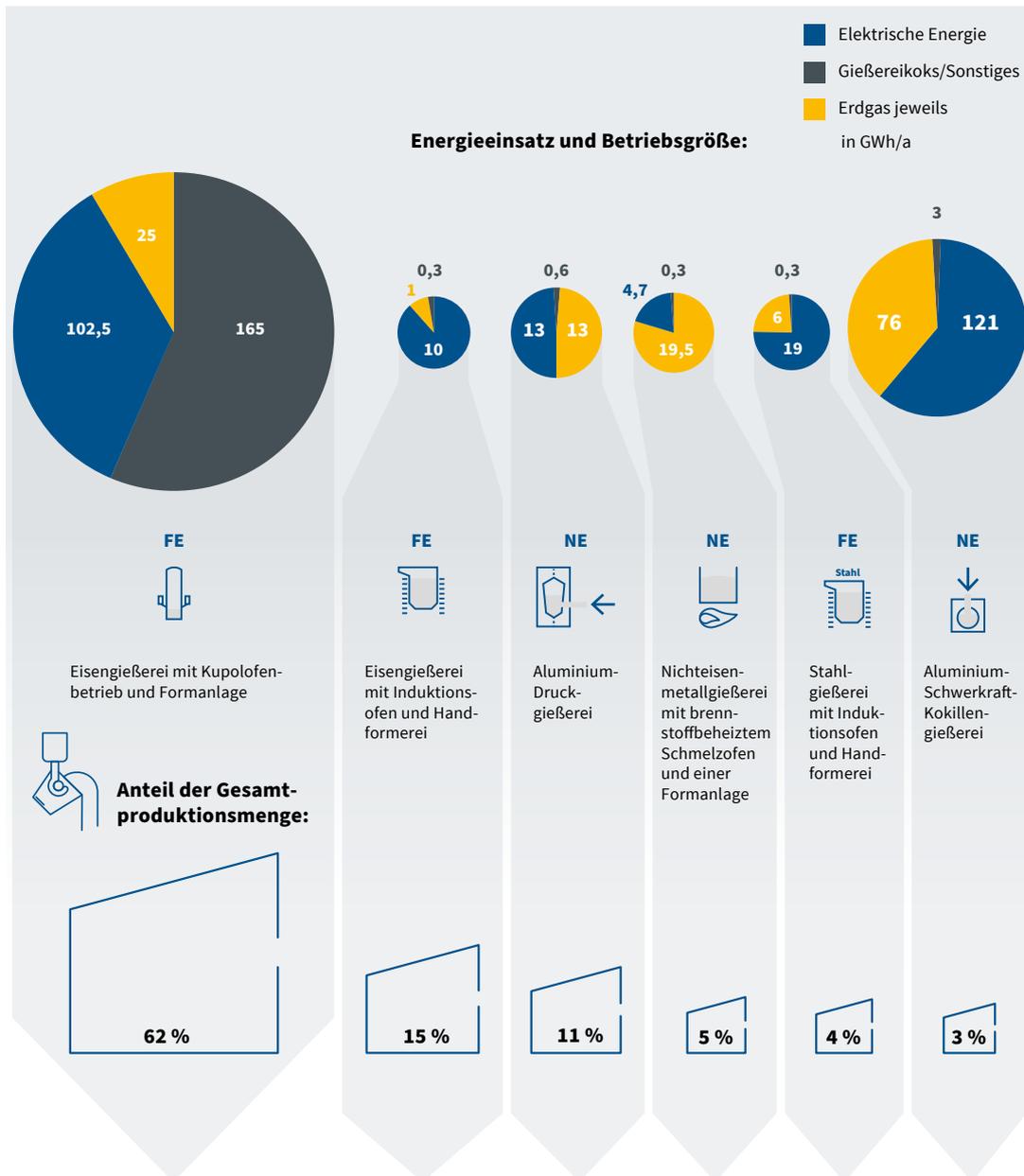


Abbildung 2: Sechs Gießerei-Typen, dargestellt unter Einbeziehung von Betriebsgröße und Energieträgereinsatz (Kreisdiagramme) sowie dem jeweiligen Anteil an der Gesamtproduktionsmenge (Masse). Quelle: eigene Darstellung nach UBA (2013), S. 143/Bosse et al. (2016), S. 177

1.2 Vielfalt und Heterogenität der Branche

Die Gießereibranche ist geprägt von einer großen Werkstoff-, Verfahrens- und Prozessvielfalt: Es kommen sehr unterschiedliche energieverbrauchende Anwendungen zum Einsatz, beispielsweise beim Schmelzen, dem Warmhalten, der Werkzeugtemperierung, dem Gießprozess, der Wärmebehandlung, der Pfannenvorwärmung sowie der mechanischen Bearbeitung.

Infolge dieser strukturellen Vielfalt kann die Erschließung von Energieeffizienzpotenzialen nicht pauschal betrachtet werden,

sondern ergibt sich aus den jeweiligen Betriebstypen und Gegebenheiten jedes individuellen Betriebs heraus. Gießereien unterscheiden sich sowohl in Bezug auf die Produktion und die Betriebsgröße als auch bezüglich der in ihnen eingesetzten Energieträger. Der Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (BDG) hat sechs Typen von Gießereien definiert, welche in Abbildung 2 sortiert mit ihrem Anteil an der Gesamtproduktionsmenge (Masse) in Deutschland dargestellt sind. Die Sortierung zeigt in der Hauptsache die Relevanz einzelner Gießerei-Typen und deren Energieeinsatz.

Bei der Werkstoffverarbeitung wird traditionell zwischen zwei großen Gruppen unterschieden: den Eisengusswerkstoffen (FE) und den Nicht-eisenmetallgusswerkstoffen (NE). Betrachtet wird im Folgenden die Produktionsmenge (Masse), wobei diese nicht die Dichteunterschiede der Werkstoffe berücksichtigt. So unterscheidet sich beispielsweise die Dichte von Eisengusswerkstoffen und Aluminiumgusswerkstoffen deutlich.

Legt man die Produktionsmenge in Tonnen zugrunde, so wird der überwiegende Anteil (62 Prozent) der Guss-Gesamtproduktion in Eisengießereien mit Kupolöfen erzeugt, die hauptsächlich Koks als Energieträger und Reduktionsmittel einsetzen (dies gilt insbesondere für Betriebe mit Großserien- und Massenproduktion).

An zweiter Stelle folgen mit einem Anteil von 15 Prozent an der Gesamtproduktion die Eisengießereien mit Induktionsofen und Handformerei. Diese mittelständischen Betriebe nutzen fast ausschließlich elektrische Energie (siehe Abbildung 2).

An dritter Stelle stehen mit einem Anteil von 11 Prozent an der Gesamtproduktion Aluminium-Druckgießereien, in denen zusammen mit den NE-Metallgießereien rund 70 Prozent der Thermoprozessanlagen im Bereich des Schmelzens mit fossilen Brennstoffen (z. B. Schachtschmelzöfen mit Erdgas) und rund 30 Prozent mit elektrischer Energie (z. B. Induktionsöfen) betrieben werden.⁴ Während im Schmelzbetrieb der Einsatz gas-beheizter Öfen zum Schmelzen und Warmhalten weit verbreitet ist, erfolgt der Warmhaltebetrieb nach dem Umfüllen in Transport- und Gießöfen nahezu ausschließlich durch elektrisch beheizte Widerstands- und Induktionsöfen. Die Verteilung der zum Einsatz kommenden Ofentypen leitet sich aus der Abwägung der Kriterien Anwendungstechnik, Wirtschaftlichkeit und Umweltschutz ab.

Gründe für den hohen Anteil von Kupolöfen beim Eisenguss:

- Der Kupolofen ist ein besonders wirtschaftliches Schmelzaggregat.
- Er ist ideal für die kontinuierliche Produktion von großen Mengen desselben Werkstoffs geeignet.⁵
- Verglichen mit dem Induktionstiegelofen kann der Kupolofen kostengünstigen Stahlschrott geringerer Qualität verarbeiten.
- Der Koks dient hier gleichzeitig als Energieträger und effektives Aufkohlungsmittel.

Die Gründe für den hohen Anteil von Schachtofen beim Aluminiumschmelzen sind ähnlich wie bei Kupolöfen gelagert. Hinzu kommt:

- Die Energiekosten pro Kilowattstunde betragen bei der Nutzung von Erdgas ca. 3 Cent und bei Strom (in Betrieben ohne EEG-Begrenzung) ca. 17 Cent. Das bedeutet eine enorme Preisdifferenz pro Kilowattstunde Energie.
- Verglichen mit dem Induktionstiegelofen, der mit deutschem Strom-Mix betrieben wird, bildet der Schachtofen heute die klimafreundlichere Variante.

Entsprechend groß ist heute der Anteil von Erdgas beim Schmelzen in NE-Gießereien (siehe Abbildung 2). Beim Warmhalten bieten Induktionsöfen klare Vorteile hinsichtlich der Temperaturregelbarkeit und -homogenität.

Tipp: Im Projekt „InnoGuss“ werden zentrale Fragen und Herausforderungen der Branche untersucht, so z. B., welche Transformationspfade es gibt und welche technischen und wirtschaftlichen Bedingungen wichtig sind. Weitere Informationen dazu unter <https://www.guss.de/prozess/innoguss>.



⁴ UBA (2012), S. 13

⁵ Umweltbundesamt (2012), S. 27; UBA (2004), S. 222

1.3 Typische Energieeffizienzpotenziale und Ansätze in den Prozessen

Energieeffizienz ist durchaus kein neues Thema für Gießereien: So konnte z. B. der spezifische Energieeinsatz je Tonne „guter Guss“ in deutschen Gießereien zwischen 1992 und 2008 um etwa 10 Prozent gesenkt werden, während zugleich die Aufwände für Umweltschutz, Fertigungstiefe, Mechanisierung und Automatisierung zunahm.⁶ Aktuelle Studien im europäischen Rahmen zeigen Einsparpotenziale von durchschnittlich bis zu 25 Prozent.⁷ Wo die jeweiligen Potenziale genau liegen, hängt von den Gegebenheiten der einzelnen Betriebe ab und erfordert eine eingehendere Betrachtung.

Gerade die Prozesswärme ist von grundsätzlicher Bedeutung für Gießereien (insbesondere für Schmelzbetrieb, Wärmebehandlung und Pfannenwirtschaft). Mit einem Anteil von etwa 70 Prozent an den gesamten Energiekosten stellt sie einen zentralen Ansatzpunkt für Maßnahmen zur Energieeffizienzsteigerung dar. So kann beispielsweise eine betriebsinterne Abwärmenutzung großes Potenzial für die Energieeinsparung bieten, denn rund 10 Prozent der Energiekosten in Gießereien werden momentan für die Heizung eingesetzt. Aufgrund des hohen Anteils von Prozesswärme können Wärmerückgewinnungsmaßnahmen zur Deckung des Bedarfs an Heizungsenergie signifikant beitragen.

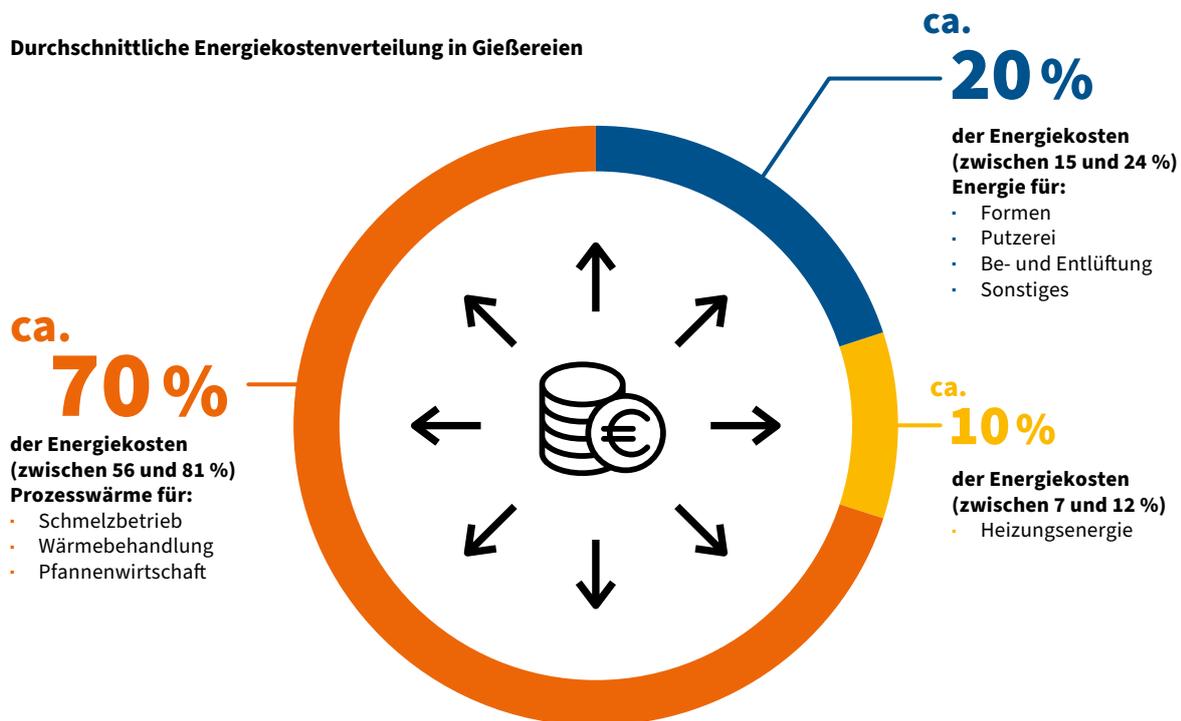
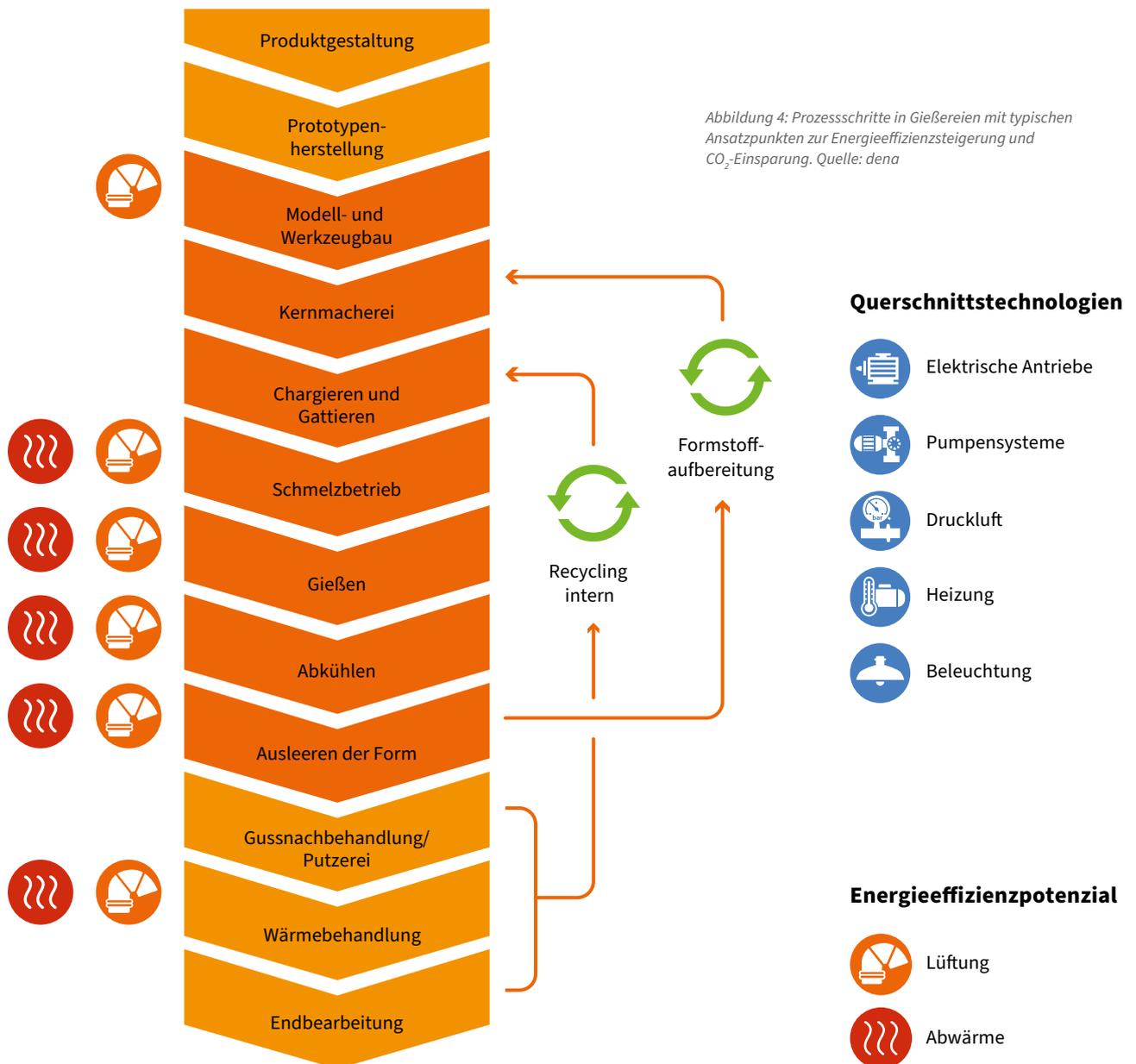


Abbildung 3: Energiekostenverteilung in Gießereien. Quelle: eigene Darstellung nach Fraunhofer IWU (2015), S. 20/Felde et al. (2019), S. 78 ff./LFU (2005), S. 12 ff./UBA (2013), S. 48

⁶ UBA (2012), S. 29

⁷ Fraunhofer IWU (2015), S. 26



In den Kernprozessen der Gießereien weisen zudem die Bereiche Lüftung und Abluftbehandlung häufig Energieeffizienzpotenziale auf (vgl. die Prozessschritte in Abbildung 4). Die Nutzung von Abwärme ist insbesondere dann möglich, wenn konstant hohe Volumenströme vorliegen und die Abwärme hohe Temperaturen aufweist. Im Nichteisenmetall(NE)-Bereich ist das prozessbedingt nicht immer der Fall. Zusätzliche wirtschaftliche Energieeffizienzpotenziale sind auch bei den eingesetzten Querschnittstechnologien vorhanden (siehe Kapitel 5). Dabei werden manche Ansätze zur Energieeinsparung erst durch eine umfassendere Analyse der aktuellen Produktionsprozesse oder im direkten Vergleich mit energieeffizienten Innovationen erkennbar.

Einsparpotenziale finden sich nicht allein im Produktionsprozess selbst, sondern auch in der nachhaltigen Produktentwicklung und Produktnutzung. Erst im Zusammenspiel ist eine umfassende Bilanzierung von Gussteilen möglich.

Weitere Energieeffizienzpotenziale bestehen im Produktlebenszyklus des Gussteils. Dazu trägt zum einen das Recycling bei, welches seit jeher in Gießereien betrieben wird. Zum anderen kann die Gießerei ihre Kunden bei der Produktentwicklung beraten und auf diese Weise helfen, Leichtbaupotenziale zu erschließen.

Der vorliegende Leitfaden gibt den deutschen Gießereibetrieben konkrete Maßnahmen und Lösungen zur Erschließung ihrer spezifischen Energieeffizienz- und CO₂-Einsparpotenziale an die Hand. Dazu werden neben der Darstellung übergeordneter systematischer Ansätze sowie der Vorstellung konkreter Maßnahmen und Fördermöglichkeiten auch Tipps gegeben und Best-Practice-Beispiele vorgestellt. Am Ende des Leitfadens findet sich eine umfangreiche Checkliste, anhand der geprüft werden kann, welche Maßnahmen im eigenen Betrieb sich noch umsetzen lassen.

02

SYSTEMATISCHE ANSÄTZE

2.1 Energie- und Umweltmanagement

Eine wichtige Grundlage für die Erschließung von Energieeffizienzpotenzialen ist die Einführung eines betrieblichen Energiemanagements (EnM). Dessen Ziel ist es, Energieverbräuche und -kosten in einem Betrieb systematisch zu erfassen, die energiebezogene Leistung (Energieeffizienz, -einsatz und -verbrauch) kontinuierlich zu verbessern und damit die Energiekosten sowie CO₂-Emissionen nachhaltig zu senken.

Die Einführung eines Managementsystems lohnt sich nicht nur in Großbetrieben, sondern auch in kleinen und mittelständischen Gießereien. Durch die transparente Erfassung des Energiebedarfs, von Prozessoptimierungen, Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz und organisatorischen Maßnahmen sowie Schulungen des Personals lassen sich erfahrungsgemäß Einsparungen in Höhe von rund 5 bis 10 Prozent erzielen. Investive Maßnahmen, die auf Basis eines Energiemanagements umgesetzt werden, können zusätzlich bis zu 25 Prozent des Energieverbrauchs einsparen.⁸ Das konkrete Einsparpotenzial ist dabei von der jeweiligen Ausgangssituation abhängig.

Neben der Energieeinsparung ergeben sich weitere positive Effekte, beispielsweise für das Marketing und die Gewinnung von mehr Rechtssicherheit, die Erfüllung von Kundenanforderungen und eine steigende Motivation der Mitarbeitenden. Im Zusammenspiel führen all diese Effekte zu einer allgemeinen Steigerung des Unternehmenswerts. Energiemanagementsysteme (EnMS) dienen der systematischen Planung, Umsetzung, Überprüfung und Optimierung eines Energiemanagements. Worauf es dabei ankommt, zeigen die sechs Grundregeln des Energiemanagements in Abbildung 5, Sie stellen zugleich auch wesentliche Erfolgsfaktoren für Einführung und Betrieb eines EnMS dar.

Wie bei der Einführung eines EnMS vorgegangen werden kann und wie Energieleistungskennzahlen, sogenannte Energy Performance Indicators (EnPI), entwickelt werden können, beschreiben die nachfolgenden Abschnitte.

Tipp: Die wichtigsten Normen auf einen Blick

- DIN EN ISO 50001:2018: Die Revision 2018 ermöglicht die Integration des Energiemanagements in die bestehende Struktur anderer Managementsysteme.
- DIN ISO 50003:2021: Diese Norm stellt Anforderungen an die auditierenden und zertifizierenden Stellen des EnMS; die Verbesserung der Energieeffizienz muss nachgewiesen werden können.
- DIN ISO 50006:2017: Diese Anleitung bietet die Grundlage zur Bildung, Nutzung und Anpassung von Energieleistungskennzahlen (EnPI) und energetischen Ausgangsbasen (EnBs).
- DIN EN ISO 14001:2015: Norm für ein Umweltmanagementsystem mit dem Ziel, die Umweltleistung eines Unternehmens zu verbessern und mittels Umweltkennzahlen zu messen.
- Eco-Management and Audit Scheme (EMAS): Das EMAS beinhaltet die Anforderungen der ISO 14001 und zeigt weitere Ansätze für eine Erhöhung der Energie- und Materialeffizienz auf, z. B. über eine Umweltberichtspflicht. Umweltmanagementsysteme bieten eine gute Grundlage, um das Thema Ökodesign voranzutreiben (vgl. Abschnitt 2.3).

5 – 10%

lassen sich allein durch die Einführung eines Energiemanagements und die daraus abgeleiteten organisatorischen Maßnahmen einsparen.

Bis zu 25%

des Energieverbrauchs können zusätzlich durch investive Maßnahmen auf Basis eines Energiemanagements eingespart werden.

⁸ dena (2013b), S. 4



1. Orientierung auf das Wesentliche

Konzentrieren Sie sich auf die Schwerpunktverbraucher. In ISO 50001 werden diese Verbraucher significant energy use (SEU) genannt. Formulieren Sie Etappenziele, um schnell Erfolg zu haben. Das motiviert weiter voran zu gehen.



2. Kontinuierliche Verbesserung durch Regelkreise

Sind die SEUs identifiziert, können für diese Energieleistungskennzahlen – Energy Performance Indicators (EnPI) genannt – bestimmt werden. Formulieren Sie nun anspruchsvolle, aber erreichbare Ziele (siehe Tabelle 1). Daraufhin können Sie Maßnahmen erarbeiten, umsetzen und regelmäßig prüfen. Bei Abweichungen erarbeiten Sie neue Maßnahmen und der Regelkreis beginnt von vorn.



3. Bottom-up-Festlegung von Energiesparzielen

Die Geschäftsleitung kann die strategischen Ziele vorgeben, doch die operativen Ziele sollten eng nach dem Bottom-up-Prinzip mit den prozessverantwortlichen Mitarbeitenden erarbeitet werden (siehe Tabelle 1). So können Sie Energiesparziele sinnvoll formulieren und Motivationsanreize setzen.



4. Integration in vorhandene Steuerungsstrukturen

Sollten bereits andere Managementsysteme bestehen, integrieren Sie das EnMS in die vorhandene Steuerungsstruktur. Das erleichtert die Implementierung und der Aufwand wird gering gehalten. Ein EnMS kann beispielsweise in vorhandene Managementsysteme und das Controlling integriert werden.



5. Energieeffizienzmaßnahmen mit Fokus auf betriebswirtschaftlichen Erfolg

Energieeffizienzmaßnahmen lohnen sich, wenn der Return größer ist als das Investment. Nutzen Sie dafür die Kapitalwertmethode für die Lebenszykluskosten anstelle der Amortisationsrechnung.



6. Rahmenbedingungen und entschiedenes Handeln

Schaffen Sie die für Ihren Betrieb richtigen Rahmenbedingungen. Dabei kann eine selbst erstellte Richtlinie hilfreich sein. In dieser sollte der Weg vom Ideenvorschlag bis zur Umsetzung und der Kontrolle mit allen verantwortlichen Personen aufgezeigt werden. So verhindern Sie Frustration und Aufwand durch spät abgelehnte Vorschläge.

Abbildung 5: Grundregeln des Energiemanagements und Erfolgsfaktoren für die Einführung und den Betrieb eines EnMS. Quelle: dena

Voraussetzungen für die Einführung eines betrieblichen Energiemanagements und Vorgehen

1. Einführung:

Wenn die Einführung eines betrieblichen EnMS geplant ist, müssen die Verantwortlichkeiten bei der Aufgabenverteilung eindeutig geklärt sein. Die Entscheidung zur Implementierung eines EnMS wird zunächst von der Geschäftsführung an die Mitarbeitenden kommuniziert. Dann müssen die benötigten Ressourcen bereitgestellt und die anstehenden Aufgaben ebenso wie der zeitliche Rahmen festgelegt werden.

Das einzuberufende Energieteam sollte Mitarbeitende möglichst vielen Bereiche umfassen (Controlling, Abteilungsleitung der Produktion, Einkauf, Gebäude- und Energietechnik), da sich auf diese Weise am zuverlässigsten das gesamte Unternehmen erreichen lässt. Bei der Einführung eines EnMS ist es sinnvoll, sämtliche relevanten internen und externen Einflüsse zu analysieren. Ein externer Einfluss für ein Unternehmen in der Gießereibranche wäre beispielsweise, dass der CO₂-Fußabdruck von Gussteilen für die Kundschaft immer mehr an Bedeutung gewinnt. Zur Festlegung der Grenzen des EnMS ist es wichtig, alle wesentlichen Prozesse einzubeziehen. Für eine Gießerei gehört dazu ggf. auch die Lieferung von Abwärme an benachbarte gewerbliche Abnehmer, die nicht zum eigenen Betrieb gehören.

2. Erstellen einer Energiedatensammlung

Um Energieleistungskennzahlen (EnPI) zu entwickeln, müssen zunächst Energiedaten erfasst werden. Dabei sollte zu Beginn der Gesamtblick auf die Energieströme des Gießereibetriebs erfolgen (Grobanalyse) und anschließend weiter ins Detail gegangen werden (Feinanalyse). Oftmals müssen hierfür neue Energiezähler installiert werden.

Damit die Daten des Energieverbrauchs in Echtzeit aufbereitet, ausgewertet und visualisiert werden

können, benötigen Gießereien in jedem Fall ein softwaregestütztes Energiemonitoring. Die entsprechende Software sollte EnPI und Verhältniszahlen zur Korrelationsanalyse nutzen können und die Festlegung von Maximal- bzw. Minimalwerten enthalten, damit Störungen schnell erkannt werden können. Eine Anzeige des aktuellen Ist- und Sollstands der Anlagen, die Ermittlung des spezifischen Energiebedarfs und der spezifischen Kosten sowie eine zeitbezogene Anzeige des Energiebedarfs zur Lastganganalyse sind weitere Funktionen, über die eine EnM-Software verfügen sollte.

Neben den Energiedaten selbst müssen auch die relevanten Einflussgrößen gemessen werden, die auf das betrachtete System wirken. Darüber hinaus sollte die Software Energieverbrauchsreports generieren können und über Benchmark- und Filterfunktionen, z. B. nach Produkt, verfügen.

3. Energiepolitik, Ziele und Programme

Die Energiepolitik des Unternehmens (Strukturen, Prozesse und Inhalte) sollte die Verpflichtung zur fortlaufenden Verbesserung der energiebezogenen Leistung sowie der Bereitstellung der Ressourcen und Kriterien zum Erwerb energieeffizienter Produkte beinhalten. Besondere Bedeutung kommt der Zielformulierung zu. Es ist darauf zu achten, dass diese „smart“ (spezifisch, messbar, angemessen, realistisch und terminiert) formuliert wird (siehe Tabelle 1). Zusätzlich zu den Energiezielen sollten in diesem Schritt auch Ziele für die Verringerung der CO₂-Emissionen festgelegt werden. Aus diesen werden anschließend Aktionspläne entwickelt, die auch eine Wirtschaftlichkeitsbeurteilung beinhalten.

Strategisches Ziel	Operatives Ziel	SMART?	Aktionsplan	Verantwortlich	Termin	
Kontinuierliche Verbesserung der Energieeffizienz um jährlich 3 %.	Senkung des Druckluftverbrauchs im Vergleich zum Vorjahr um 10 %.	Spezifisch	<input checked="" type="checkbox"/>	Einbau einer übergeordneten Steuerung für mehrere Kompressoren	Leitung Technik	29.04.2022
		Messbar	<input checked="" type="checkbox"/>			
		Angemessen	<input checked="" type="checkbox"/>			
		Realistisch	<input checked="" type="checkbox"/>			
		Terminiert	<input checked="" type="checkbox"/>

Tabelle 1: Beispiel für ein smartes Ziel. Quelle: dena



4. Integration in Unternehmensprozesse

Energiemanagement und Energieeffizienz ganzheitlich im Unternehmen zu integrieren, bedeutet, die Energiepolitik auch in die Prozesse Wartung und Instandhaltung, Einrichtung von Gebäuden sowie Einkauf und Beschaffung einzubeziehen. Alle Prozesse sollten unter dem Gesichtspunkt der Energieeffizienz betrachtet und realisiert werden. Wird das Erreichen von Zielen oder der aktuelle Stand auf dem Weg zu einem Ziel intern kommuniziert, steigert dies die Motivation, auch neue Maßnahmen zu entwickeln. Gleichzeitig bietet die externe Kommunikation eine Chance, das Unternehmensimage glaubhaft zu verbessern.

5. Kontrolle, Reflexion, internes Audit

Das EnMS sollte mithilfe regelmäßiger Audits überprüft werden. Dabei kann nach der Norm DIN EN ISO 19011:2018 vorgegangen werden. Das Ergebnis der internen Audits sollte in regelmäßigen Abständen (z. B. jährlich) der Geschäftsführung vorgelegt werden. Daraus entwickelt diese ein Management-Review, welches notwendige Änderungen des EnMS verbindlich zusammenfasst. Dazu zählen etwa Anpassungen der Energiepolitik, die Festlegung neuer Ziele oder Änderungen bei Ressourcen oder Kennzahlen.



Tipp: Für die Zertifizierung des EnMS nach DIN EN ISO 50001:2018 ist eine geeignete Dokumentation notwendig. Eine Liste der verpflichtenden Informationen ist im [Leitfaden des Umweltbundesamts „Energie-managementsysteme in der Praxis“](#), Seite 82 zu finden. Der Leitfaden enthält Tipps zu Software für das Dokumentenmanagement auf Seite 84.



Die Norm DIN ISO 50006:2017 hilft bei der Erstellung, Nutzung und Anpassung von EnPI. Weitere Hilfestellungen enthalten auch die Leitfäden zu EnMS-Kennzahlen des EnPI-Connect-Projekts liefern.

Die Entwicklung von EnPI und relevanten Variablen

Schwankungen in der Produktion, bei der Auslastung und beim Energieverbrauch prägen die betriebliche Praxis. Wie gelingt es dabei, die Energieziele sicher zu bewerten und dabei nicht „Äpfel mit Birnen“ zu vergleichen? Die Entwicklung von Energieleistungskennzahlen dient genau diesem Zweck. Die EnPI leiten sich aus den Zielen der Energiepolitik des Unternehmens ab und dienen der Bewertung von Energieperformance und Optimierungsmaßnahmen. Die folgende Tabelle enthält Beispiele für Energiekennzahlen für Gießereien mit dazugehörigen strategischen Zielen.

Während die EnPI zur Monitoringabdeckung (siehe Tabelle 2) unabhängig vom Produktionsbetrieb sind, können sich bestimmte in der Tabelle aufgeführte EnPI in Abhängigkeit äußerer Einflüsse und Randbedingungen ändern. Abhängig von der Außentemperatur kann sich beispielsweise der

spezifische Heizenergieverbrauch in einem Kalendermonat vom Vorjahreswert unterscheiden. Bei der Entwicklung von EnPI müssen daher zunächst alle Prozesse, in denen Energie eingesetzt wird, erfasst werden. Anschließend können die Großverbraucher (SEU) definiert und einer verantwortlichen Person zugeordnet werden. Nun werden die EnPI für die jeweiligen SEU auf variable und statische Einflussfaktoren untersucht. Variablen mit Energierelevanz können beispielsweise die produzierte Menge oder die Außentemperatur sein. Sind die Variablen bestimmt, muss als nächster Schritt der Zusammenhang zwischen dem Energieverbrauch und den jeweiligen Variablen hergestellt werden. Hierfür kann die Regressionsanalyse angewandt werden. Erst die Berücksichtigung der relevanten Variablen ermöglicht einen Vergleich und damit die Bewertbarkeit der EnPI für unterschiedliche Betrachtungszeiträume.

Kennzahl	Berechnung
Ziel: Ausbau Energiemonitoring (Monitoringabdeckung von 70 Prozent)	
Monitoringabdeckung in Prozent	Monitoringabdeckung [kWh]/Gesamtenergieverbrauch [kWh] x 100
Ziel: Reduzierung der CO ₂ -Emissionen, verbesserte CO ₂ -Bilanz	
Spezifische CO ₂ -Emissionen	CO ₂ -Äquivalente [t]/Produktionsmenge [kg]
Ziel: Kontinuierliche Verbesserung der Energieeffizienz	
Energieintensität Prozess X in Prozent	Energieeinsatz Prozess X [kWh]/Gesamtenergieeinsatz [kWh] x 100
Spezifischer Energieverbrauch Schmelze	Schmelzenergie [MWh]/Flüssigmetall [t]
Spezifischer Heizenergieverbrauch für Lüftung	Heizenergieverbrauch [MWh]/Luftaustauschvolumen [m ³]

Tabelle 2: Beispiele für Energiekennzahlen zum Unternehmenscontrolling. Quelle: dena



Bis zu
100kWh/t

können durch Warmhalten der Schmelze bei Pausen (bis zu 4 Stunden) im Vergleich zum erneuten Hochfahren eingespart werden.

2.2 Organisatorische Maßnahmen

Der Umgang der Mitarbeitenden mit Energie hat einen spürbaren Einfluss auf den Erfolg eines Energiemanagementsystems. Die Bedeutung von Energieeffizienz kann den Mitarbeitenden durch Informationsveranstaltungen und Schulungen vermittelt werden. Wenn beispielsweise der Deckel eines Ofens nur während des Prozesses geöffnet wird, können bis zu 10 kWh/t eingespart werden.

Das Einsparungspotenzial durch Warmhalten der Schmelze in Pausen (bis zu 4 Stunden) statt einem erneutem Hochfahren beträgt bis zu 100 kWh/t.⁹ Ideen für Maßnahmen zur Einbindung von Mitarbeitenden in das EnM sind der folgenden Abbildung zu entnehmen.



Sensibilisierung

- Schulungen
- Hauptverbraucher für alle sichtbar kennzeichnen
- Monitor oder Infotafel für jede Abteilung mit aktuellen Daten zum Energieverbrauch und dem Stand der Umsetzung der Ziele



Vorschlagswesen

- Boxen, Kästen oder Software im Intranet für alle Ideeneinreichungen der Mitarbeitenden
- Ein Energiepate bei jeder Abteilung an den Vorschläge herangetragen werden können
- Aufbau eines Checksystems



Wettbewerbe

- Ideenwettbewerbe zum Sammeln von Maßnahmenvorschlägen
- Wanderpokal für alle Abteilung mit den höchsten Einsparungen
- Wichtig: Zeremonie der Verleihung eines Pokals oder Öko-Oscars für den besten Vorschlag

Abbildung 6: Beispielhafte Ideen für Maßnahmen zur Einbindung von Mitarbeitenden. Quelle: dena



Tipp: Vorschläge für das Sammeln und Bewerten von Ideen bis hin zur Ideenumsetzung finden Sie im [Praxisleitfaden der Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz: Ideen für \(noch\) mehr Energieeffizienz und Klimaschutz, Mitarbeitende einbinden und motivieren.](#)

⁹ Fraunhofer IWU (2015), S. 29

2.3 Umweltgerechte Produktgestaltung

Nicht nur das Management energetischer und ökologischer Aspekte lässt sich im Unternehmen strategisch betreiben, auch in das Produktdesign können diese Faktoren integriert werden.

Umweltgerechte Produktgestaltung – auch Ökodesign genannt – befasst sich mit der Verringerung der Umweltauswirkungen eines Produkts über dessen gesamten Lebensweg. Dies bedeutet zunächst, dass bei der Gestaltung die Erfüllung der bestehenden Anforderungen, wie beispielsweise Funktionalität und Sicherheit, unter dem Aspekt der Umweltrelevanz optimiert wird.

Prüft man bei der Produktgestaltung das Produkt auf seine Umweltrelevanz, sollte dabei auf folgende Aspekte eingegangen werden:

1. Einsatz von Recyclingmaterial (Sekundärlegierungen und Schrott) und Stoffen mit geringerem CO₂-Fußabdruck
2. Topologieoptimierung soweit möglich/sinnvoll (z. B. extremer Leichtbau)
3. Materialanhäufungen reduzierbar (z. B. durch optimale Berücksichtigung des Kraftflusses)
4. Bearbeitungszugaben reduzierbar (damit einhergehend: geringerer Aufwand der Nachbearbeitung)
5. Stärkung der Wiederverwendung und Verbesserung der umweltverträglichen Verwertung (Trennbarkeit)
6. Minimierung der von Produkten ausgehenden Emissionen während ihres Lebenswegs
7. Reduktion oder Substitution von umwelt- und gesundheitsbelastenden Stoffen

In der Gießereibranche können hierbei vorhandene Potenziale genutzt werden, beispielsweise durch eine computergestützte Optimierung des Gussteils und seiner Form. Eine solche Verbesserung wirkt sich unmittelbar auf die Material- und Energieeffizienz aus – während ihres Betriebs und über den Lebensweg des Produkts.¹⁰

Zur Einsparung von Rohstoffen und Energie kommt beispielsweise dem bionischen Leichtbau eine zunehmend wichtige Rolle zu. Gussbauteile sind ideal für eine Formoptimierung nach biologischem Vorbild geeignet.

Auf diesem Weg lassen sich Bauteile mit weniger Materialeinsatz erzeugen, ohne dass Funktionseigenschaften eingebüßt werden.

Neben der Produktgestaltung sollte der sogenannte Corporate Carbon Footprint (CCF) betrachtet werden, der CO₂-Fußabdruck eines Unternehmens. Der CCF umfasst sämtliche CO₂-Emissionen, die durch die Geschäftsaktivitäten einer Organisation inklusive der Herstellung und Nutzung ihrer Produkte anfallen. Der Product Carbon Footprint (PCF) beschreibt die CO₂-Bilanz eines einzelnen Produkts. Es kann somit unterschieden werden zwischen der CO₂-Bilanz des Unternehmens („organisatorische Systemgrenze“) und der des Produkts selbst. Dabei wird der gesamte Lebensweg betrachtet, je nachdem, welche Systemgrenze (Scope) berücksichtigt wird:

- Scope 1: alle direkten CO₂-Emissionen im Unternehmen, die durch die Produktion entstehen
- Scope 2: alle indirekten CO₂-Emissionen durch Energiedienstleistungen (elektrische Energie, Dampf, Wärme, Kälte)
- Scope 3: sonstige indirekte CO₂-Emissionen einschließlich vorgelagerter Produktionsketten (Cradle-to-Gate) bzw. einschließlich der Nutzungsphase (Cradle-to-Grave).

Tipp: Die Angabe des CO₂-Fußabdrucks wird im Automobilbau von immer weiteren Teilen der Kundschaft gefordert, wobei auch die Gießerei-Industrie in die Pflicht genommen wird. Ein kostenloses Tool für die CCF-Bilanzierung mit der Systemgrenze ‚Cradle-to-Gate‘ ist unter ecocockpit.de zu finden. Der [BDG-CO₂-Leitfaden](#) bündelt Informationen und Erkenntnisse speziell für die Gießerei-Industrie und ist damit ein gutes Hilfsmittel für den Einstieg in die Ermittlung eines CO₂-Fußabdrucks.¹¹



Die Europäische Kommission hat im Februar 2021 mit der Ökodesign-Richtlinie erstmals produktgruppenspezifische Mindestanforderungen für ein systematisches Ökodesign formuliert. Die Richtlinie hat die Verbesserung der Umweltverträglichkeit von Produkten entlang ihres gesamten Lebenswegs zum Ziel. Mehr dazu siehe unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/produkte/oekodesign>.



¹⁰ Fraunhofer IWU (2015), S. 27

¹¹ BDG (2021)

03

**PROZESS-
TECHNOLOGIEN
IN DER
PRODUKTION**

3.1 Trocknen

Trockenprozesse sind energieintensiv, da das zu trocknende Gut zunächst aufgewärmt werden muss. Zugleich wird zur Aufnahme der verdampfenden Flüssigkeit dem Prozess in größeren Mengen Frischluft zugeführt, welche ebenfalls erwärmt werden muss. Trockenprozesse, die unter Einsatz von Brennstoffen betrieben werden (z. B. mit Heizöl oder Erdgas zur Beheizung von Lagerräumen oder Trockenöfen) sollten daher auf eine Umrüstung zur Ermöglichung von Abwärmenutzung geprüft werden. Die folgenden Einsatzfälle können dafür konkret geeignet sein.

Zur Beseitigung von Feuchtigkeit in angeliefertem feuchten Schrott, in Rohstoffen und Einsatzmaterial sowie zur Vermeidung von Rostbildung kann am Boden eines Rohstoffbunkers Abwärme mittels eines Gebläses zugeführt werden.

Auch nach der Behandlung von Gussteilen (z. B. durch Schleifen) und der anschließenden Reinigung in einer Waschstation sowie nach dem Lackieren in Tauchbecken oder Spritzständen ist eine Trocknung erforderlich. Zum Einsatz kommen dabei Trockentunnel oder Heißluftbandtrockner, die auf unterschiedlichen Temperaturniveaus, teilweise auch mit Vorwärmstufen betrieben werden.

Je nach Temperaturniveau kann auch hier der Einsatz von Abwärme sinnvoll sein. Zudem lässt sich die Energieeffizienz über die Nachrüstung von Wärmerückgewinnungsanlagen um ca. 30 Prozent steigern.¹²

Der Einsatz wässriger Schichten bei der Kernherstellung besitzt gegenüber dem Einsatz alkoholhaltiger Schichten Vorteile bezüglich Arbeitssicherheit, Umwelt- und Gesundheitsschutz sowie Kostenminderung bei einer gleichzeitig besseren Oberflächenbeschaffenheit des Gussstücks.¹³ Ein Nachteil besteht hingegen in der längeren Trockenzeit wässriger Schichten, weshalb in diesem Falle der Einsatz von Trockenöfen erforderlich ist. Je nach Größe der Kerne können energieeffiziente Trockenöfen unter Einsatz von Abwärme zur Trocknung mittels warmer Luft zur Anwendung kommen. Ist diese Variante nicht möglich, kann eine Mikrowellentrocknung eingesetzt werden. Sie besitzt den Vorteil einer kurzen Trockenzeit auch bei größeren Kernen. Während Trockenöfen in manchen Fällen 1–2 Stunden Trockenzeit benötigen, kann eine Mikrowellentrocknung den Trocknungsprozess desselben Gutes auf eine Dauer von zehn Minuten reduzieren und dadurch gleichzeitig den Energiebedarf des Trockenprozesses senken.¹⁴

Der Einsatz von rostigem Schrott erhöht den Energiebedarf um

40–60%

und verlängert die Schmelzzeit um das Zwei- bis Dreifache.

Tipp: Eine umfangreiche Sammlung branchenspezifischer Maßnahmen zum Thema Energieeffizienz bietet die Online-Datenbank „Energieeffizienter Gießereibetrieb 2.0“. Querschnittstechnologien und Abwärme bieten konkrete Ansatzpunkte für Energieeffizienz in Gießereibetrieben. Die größten Einsparpotenziale liegen jedoch oft in den Prozesstechnologien selbst, wie die folgenden Abschnitte zeigen.

¹² Bosse et al. (2016), S. 59; Umweltbundesamt (2012), S. 105 f.

¹³ UBA (2004), S. 237 f.

¹⁴ UBA (2013), S. 88

3.2 Chargieren und Gattieren

In den meisten Gießereien entfällt der größte Energiebedarf auf das Schmelzen. Einsparpotenziale bieten hier das Chargieren und Gattieren. Chargieren bezeichnet die Beschickung des Ofens, Gattierung die Auswahl und Zusammenstellung des erforderlichen Schmelzmaterials, um zu bewirken, dass die gewünschten Werkstoffeigenschaften erreicht und die Notwendigkeit späterer Korrekturen im Schmelzprozess vermieden wird.

Untersuchungen zeigen, dass in Eisengießereien mit Induktionsöfen der Einsatz von rostigem Schrott den Energiebedarf um 40–60 Prozent erhöhen und die Schmelzzeit um das Zwei- bis Dreifache verlängern kann. Daher lohnt es sich, bereits bei der Anlieferung und Lagerung des Materials auf eine trockene und saubere Umgebung zu achten. (Genauerer zu den Trockenprozessen [siehe Abschnitt 3.1.](#)) Wird Kreislaufmaterial aus dem Gießprozess verwendet, sollte dieses gesäubert werden. So sorgt etwa anhaftender Sand an nicht sandgestrahltem Material für Verschlackung, die in etwa so viel Energie wie das Schmelzen von Eisen selbst benötigt.¹⁵

Die Packungsdichte des Chargiergutes bestimmt die Größenordnung der elektromagnetischen Ankopplung und damit die elektrische Leistungsaufnahme des Einsatzmaterials. Eine optimale elektromagnetische Ankopplung an das Material senkt den Stromverbrauch beim Anfahren der Schmelze. Voraussetzung dafür ist eine Packungsdichte in Höhe von ca. 2,5 t/m³.¹⁶ Durch eine an den Ofen angepasste kleine Stückigkeit des Einsatzmaterials können etwa 25 kWh/t Schmelzenergie eingespart werden.¹⁷ (Mehr zu elektromagnetischer Ankopplung in Induktionsöfen [siehe Abschnitt 3.4.](#))

Der Energieverbrauch bei Zugabe von Aufkohlungsmittel ist am geringsten, wenn dieses schon zu Beginn des Schmelzvorgangs eingesetzt wird. Die Zugabe von 2 Prozent Aufkohlungsmittel spart als einfach umzusetzende Maßnahme bereits etwa 40 kWh/t an Schmelzenergie ein.¹⁸

In Aluminiumgießereien mit Schachtofen existieren Ofenbauformen, bei denen das Einsatzmaterial durch gezielte Abgasführung im Schacht vorgewärmt wird. Der Wärmeaustausch und der erzielte Effizienzgewinn sind sehr hoch, sodass die Abgase den Ofen mit nur noch 120 bis 450 °C verlassen. Weitere Energieeinsparungen können durch die Automatisierung des Beschickungsvorgangs erreicht werden. Die kontinuierliche Füllstandüberwachung des Einfüllbereichs mittels Laserscan erkennt, wenn sich kein Beschickungsgut mehr im Einfüllbereich befindet und löst den Beschickungsvorgang automatisch aus. Auch durch rein organisatorische Maßnahmen können Einsparungen erzielt werden, indem z. B. Vorkehrungen um bestmöglichen Füllen des Schmelzschachtes getroffen werden. Hierfür sollten Masseln und Rücklaufmaterial abwechselnd zugeführt sowie Masseln in gleichgerichteter Stapelung eingeführt werden. Dies resultiert in einer gleichmäßigen Schachtfüllung und damit einer besseren Vorwärmung.

Tipp: Leistungsoptimiertes Chargieren

Die optimale Schmelzzeit in MF-Induktionsöfen wird dann erreicht, wenn die volle Nennleistung des Ofens auf das Schmelzgut übertragen wird. Zu Beginn der Schmelze geschieht dies mit ferromagnetischen Einsatzmaterialien bereits bei niedrigem Füllgrad. Bei Erreichen der Curie-Temperatur kann nicht mehr von den ferromagnetischen Eigenschaften profitiert werden (mehr dazu in Abschnitt 3.4), wodurch der Leistungseintrag merklich abfällt. Mithilfe eines geeigneten automatisierten Chargierverfahrens können diese Leistungseinbrüche größtenteils vermieden werden, was zu kürzeren Schmelzzeiten und Energieeinsparungen führt.¹⁹

¹⁵ BDG (2013a), S. 3, 5

¹⁶ Dötsch, Yildir (2018), S. 52 ff.

¹⁷ Fraunhofer IWU (2015), S. 29

¹⁸ BDG (2013a), S. 5

¹⁹ Dötsch et al. (2016), S. 24 ff.

Tipp: Das feuerfeste Material in Schachtschmelzöfen ist oftmals beständig bis maximal ca. 1.100 °C. Daher wird die Ofentemperatur mittels entsprechend angeordneten Thermofühlern überwacht und ein Aufheizen auf ca. 1.050 °C begrenzt. Damit keine höheren Temperaturen auftreten, sollte darauf geachtet werden, dass die Thermofühler richtig eingebaut und positioniert sind.



Abbildung 7: Lkw-Transport von Flüssigaluminium. Quelle: TRIMET Aluminium SE

3.3 Optimieren des Schmelzbetriebs

Der Energiekostenanteil für das Schmelzen beträgt bei Eisgießereien 55 Prozent bzw. bei Stahlgießereien 30 Prozent und weist in beiden Fällen ein Energieeinsparpotenzial von 3 bis 5 Prozent auf.²⁰ Eine gute Betriebsführung sorgt neben der Vermeidung und der Nutzung von Abwärme für eine hohe Auslastung der Schmelzöfen, geringe Warmhaltezeiten, kurze Reinigungszeiten, eine gute Ofenabdichtung, kurze Chargiervorgänge sowie eine regelmäßige Ofenpflege und trägt dadurch zu Einsparungen im Schmelzbetrieb bei. Speziell bei der Aluminiumgießerei hat die Aluminiumoxidbildung eine messbare Auswirkung auf den Energieverbrauch. Aluminiumoxid auf der Oberfläche isoliert die Wärmeeinbringung. Eine regelmäßige Ofenreinigung wird aus diesem Grund empfohlen. Weitere Maßnahmen und die damit zu erzielenden Einspareffekte sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tipp: Für Aluminiumgießereien lohnt sich vor Neuinvestitionen in den Schmelzbetrieb der Kostenvergleich mit einer Flüssigaluminiumlieferung, durch die ein eigener Schmelzvorgang eingespart werden könnte. Anstelle der traditionellen Anlieferung von Aluminium-Masseln aus der Sekundärhütte wird hier direkt das flüssige Aluminium per Lkw angeliefert (siehe Abbildung 6), was eine ökologische wie auch eine ökonomische Alternative darstellt. Als Richtwert für die Wirtschaftlichkeit dieser Maßnahme sollte die Gießerei einen täglichen Mindestbedarf von 12 Tonnen Aluminium haben und die Transportentfernung nicht mehr als 200 km oder 4 Stunden Fahrtzeit betragen. Neben der Energieeinsparung durch den entfallenden Einschmelzvorgang der Masseln in der Gießerei werden auf diese Weise auch die Metallverluste durch Oxidation von 2–3 Prozent auf unter 0,2 Prozent reduziert.²¹

Maßnahmen	Effekt/Einsparung
Vermeidung von Überhitzung durch unnötige Wärmezufuhr	20 kWh/t
Drosselung der Absauganlage, wenn keine Rauchgase abzuführen sind, damit weniger Energie abgesaugt wird	15 kWh/t
Vollständiges Füllen des Schmelzofens zur Vermeidung von Verlusten und Reduzierung des Abbrands	15 kWh/t
Warmhalten des Ofens mittels Metallsumpf bei Pausen von bis zu vier Stunden zur Vermeidung (der Notwendigkeit) von erneutem Hochfahren des kalten Ofens	100 kWh/t
Schmelzen ohne Sumpf durch MF-Induktionstechnik (mehr dazu in Abschnitt 3.4)	52 kWh/t
Minimierung des Ofenbetriebs mit offenem Deckel (Werte für einen 8-t-Ofen)	65 % bzw. 4 kWh/Minute
Schließen des Notauslaufs des Tiegelofens	5 %

Tabelle 3: Maßnahmen zur Energieoptimierung des Betriebs von Schmelzöfen. Quelle: eigene Darstellung nach Fraunhofer IWU (2015), S. 29

²⁰ Fraunhofer IWU (2015), S. 20, 26

²¹ Dötsch et al. (2016), S. 24 ff.

3.4 Schmelzen und Warmhalten mit Induktionsöfen

Weitverbreitet in der metallverarbeitenden Industrie ist das Schmelzen und Warmhalten mit Induktionsöfen. Etabliert haben sich Induktionstiegelöfen und Induktions-Rinnenöfen mit Netzfrequenz (NF) oder Mittelfrequenz (MF). Das elektrische Schmelzen von Eisengusswerkstoffen im Mittelfrequenz-Induktionstiegelofen bietet durchaus eine Alternative zum Kupolofen – dies allerdings in Abhängigkeit vom Produktsortiment: Für häufige Wechsel des Werkstoffs und diskontinuierlichen Betrieb ist der Induktionstiegelofen geeignet; für große Mengen ein und desselben Basiswerkstoffs empfiehlt sich nach wie vor der Kupolofen.

Durch die Einführung der Thyristortechnik für statische Frequenzumformer sowie von Bipolartransistoren mit isolierter Gate-Elektrode (IGBT) konnte der MF-Umrichterwirkungsgrad auf nahezu 98 Prozent gesteigert werden. Damit gilt der MF-Umrichter als energetisch ausgereift.²²

Das Grundprinzip von Induktionstiegelöfen: Ein Induktor induziert eine elektrische Spannung im Einsatzmaterial, welche darin Wirbelströme erzeugt, die zur Erwärmung des Einsatzmaterials – bis hin zur Schmelze – führen. Daneben ruft der elektrische Strom im Zusammenspiel mit dem magnetischen Wechselfeld die beim induktiven Schmelzen wichtige Badbewegung hervor, welche einen Stoff- und Wärmetransport und somit eine gute Homogenisierung von Temperatur und chemischer Zusammensetzung von nachgeladertem Material bewirkt. Ferromagnetische Einsatzmaterialien mit hoher magnetischer Permeabilität (wie z. B. Eisen) erwärmen sich bis zum Erreichen der Curie-Temperatur (bei der das Material seine magnetischen Eigenschaften verliert) schneller als nichtmagnetische Einsatzstoffe. Somit ist der Wirkungsgrad bei ferromagnetischen Einsatzmaterialien im Induktionsofen höher. Die elektrische Leitfähigkeit des Einsatzmaterials wirkt sich auch auf die erzeugte Wärme aus, weshalb mit steigender Leitfähigkeit des Einsatzmaterials der Wirkungsgrad von Induktionsofen sinkt.

Ein Vorteil des MF-Induktionstiegelofens gegenüber NF-Induktionstiegelöfen ist die aus den höheren und regelbaren Frequenzen resultierende höhere Leistungsabsorption bei kleinen Stückgrößen des Einsatzmaterials. Damit ist es möglich, einen wirtschaftlichen Chargenbetrieb zu fahren und nicht mit Sumpf arbeiten zu müssen. Die höheren und anpassungsfähigen Frequenzen des MF-Betriebs ermöglichen es außerdem, mit wesentlich höheren Leistungsdichten von bis zu 1.000 kW/t gegenüber 300 kW/t bei NF-Betrieb zu schmelzen. Dies führt zu einer erheblichen Verkürzung der Schmelzzeit und ermöglicht auch den Einsatz von (bis zu einem Drittel) kleineren Schmelztiegeln, was wiederum zu geringeren Wärmeverlusten führt. Somit haben MF-Induktionstiegelöfen trotz Frequenzumrichterverlusten von 3–5 Prozent einen besseren Gesamtwirkungsgrad als NF-Induktionstiegelöfen. Bei Eisen-Metallen liegt der Gesamtwirkungsgrad im Bereich von 65–75 Prozent, bei NE-Metallen im Bereich von 55–70 Prozent (siehe Abbildung 9).²³

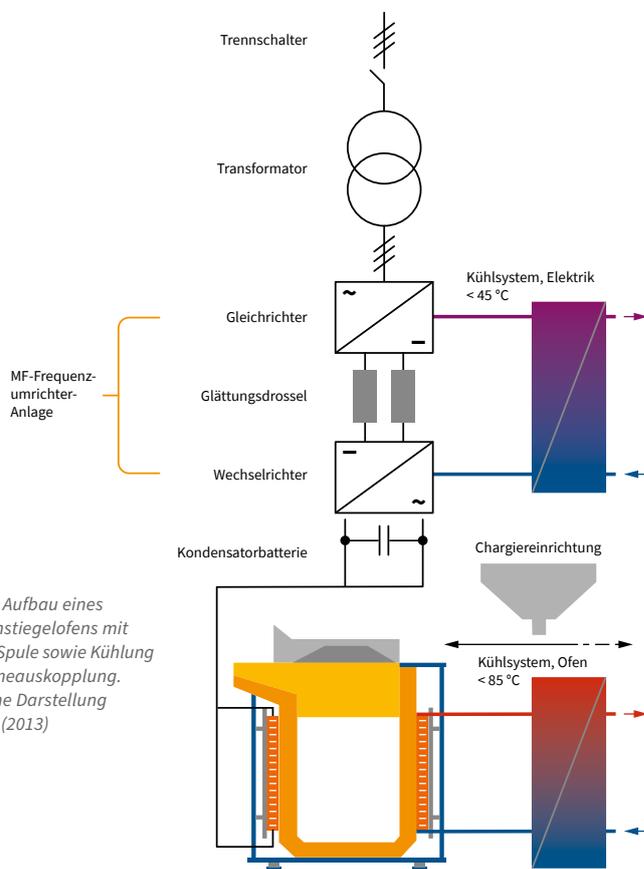


Abbildung 8: Aufbau eines MF-Induktionstiegelofens mit Elektrik und Spule sowie Kühlung bzw. Abwärmekopplung. Quelle: eigene Darstellung nach Dötsch (2013)

²² LfU (2005), S. 55

²³ LfU (2005), S. 46, 74

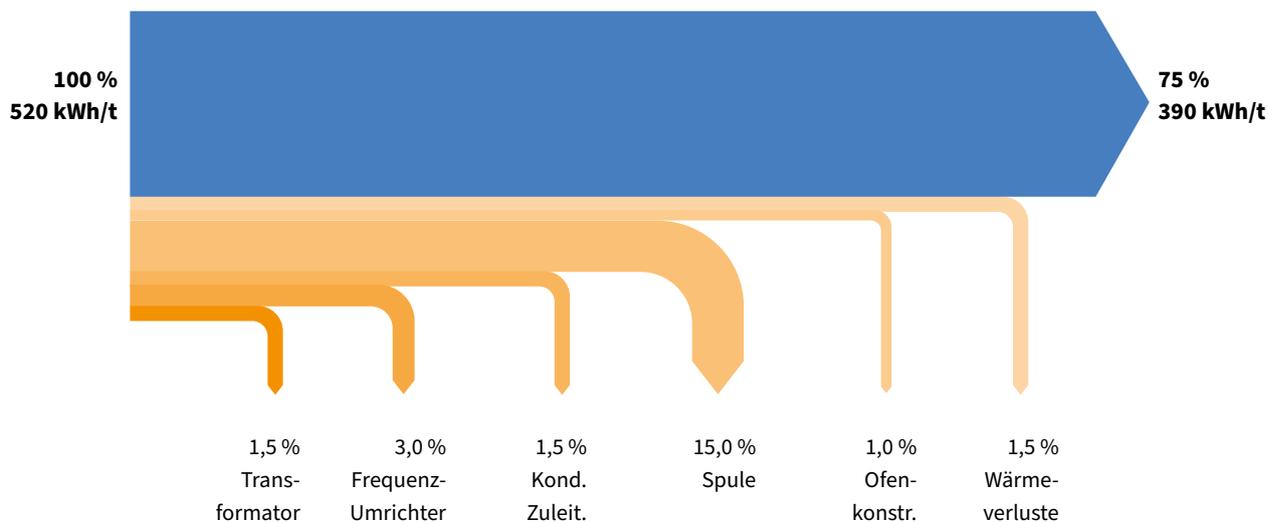


Abbildung 9: Sankey-Diagramm eines MF-Induktionstiegelofens mit Gusseisen. Quelle: Franke (2020), S. 427

Verlustarme Induktionsofen- spulen für Netzfrequenz- Induktionstiegelöfen

Alte NF-Induktionsöfen können mit geringem Aufwand optimiert werden, indem bei der turnusmäßigen Erneuerung der Spule verlustarme Induktionsofen- spulen eingebaut werden. Diese Spulen haben lediglich ein etwas anderes Profil und können auch in alte Öfen eingepasst werden. Bei Mehrkosten von etwa 13.000 Euro gegenüber einer herkömmlichen Spule bietet die verlust- arme Spule eine durchschnittliche Senkung des Verbrauchs um 30 kWh/t. So ergeben sich für einen 3-t-NF-Tiegelofen bei einer Jahresproduktion von 4.000 Tonnen jährliche Einsparungen in Höhe von 11.000 Euro (bei Kosten von 0,09 Cent pro kWh). Die Steigerung des Wirkungsgrads durch verlust- arme Spulen liegt je nach Einsatzmaterial zwischen 5 und 11 Prozent (siehe Tabelle 4).²⁴

Einsatzmaterial	Erhöhung des Wirkungsgrades
Gusseisen/Stahl	ca. 5 %
Aluminium	ca. 7 %
Messing	ca. 8 %
Kupfer	ca. 10 %
Silber	ca. 11 %

Tabelle 4: Erhöhung des Spulenwirkungsgrades in Abhängigkeit vom Einsatzmaterial. Quelle: Gerhards et al. (2019), S. 85

Umrüstung von Netzfrequenz- auf Mittelfrequenz-Ofentechnik

Um von den Vorzügen der Mittelfrequenztechnik zu profitieren, können alte NF-Öfen umgebaut werden. Dazu muss ein moderner Mittelfrequenz- umrichter (bestehend aus Gleichrichter, Glättungs- drossel und Wechselrichter) installiert und die Anschlussleistung erhöht werden. Der thermische Wirkungsgrad eines MF-Ofens ist um ca. 10 Prozent höher als der eines NF-Ofens. Darüber hinaus muss ein NF-Ofen mit einem Metallsumpf von bis zu 2/3 der Tiegelkapazität gefahren werden und erfordert spezielle Anfahrblöcke für den Kaltstart. Mittel- frequenzöfen hingegen können einfach mit kaltem Einsatz gestartet und am Ende jeder Arbeitsschicht oder des Schmelzyklus entleert werden. Beim Umbau einer Gießerei von Netz- auf Mittelfrequenz ist es wichtig, das Personal entsprechend auszu- bilden. Alte Betriebstechniken müssen aufgegeben und neue spezielle Techniken eingeführt werden, um einen energieeffizienten Betrieb sicherzustellen.²⁵ So kann der Umbau eines NF- in einen MF-Ofen eine Energieeinsparung von etwa 50 kWh/t bewirken.²⁶

²⁴ Gerhards et al. (2019), S. 84

²⁵ UBA (2004), S. 219

²⁶ Fraunhofer IWU (2015), S. 29

Modernisierung bestehender Induktionsofenanlagen

Selbst Mittelfrequenz-Induktionsofenanlagen, die bereits bestehen, können durch moderne Technik energetisch optimiert werden. So liegt der Wirkungsgrad moderner IGBT-Frequenzumrichter zwischen 96 und 97,5 Prozent, während ältere Umrichter (z. B. Tri- oder Quintduktoren) noch mit Werten von unter 88 Prozent arbeiten. Der Ersatz alter Thyristoren-Wechselrichter durch neue IGBT-Wechselrichter in Kombination mit moderner Prozessleittechnik kann bis zu 60 kWh/t elektrische Energie einsparen.²⁷ Wärmeverluste lassen sich durch die Nutzung zweier Induktionsofen im Tandembetrieb vermeiden (siehe Abbildung 10).

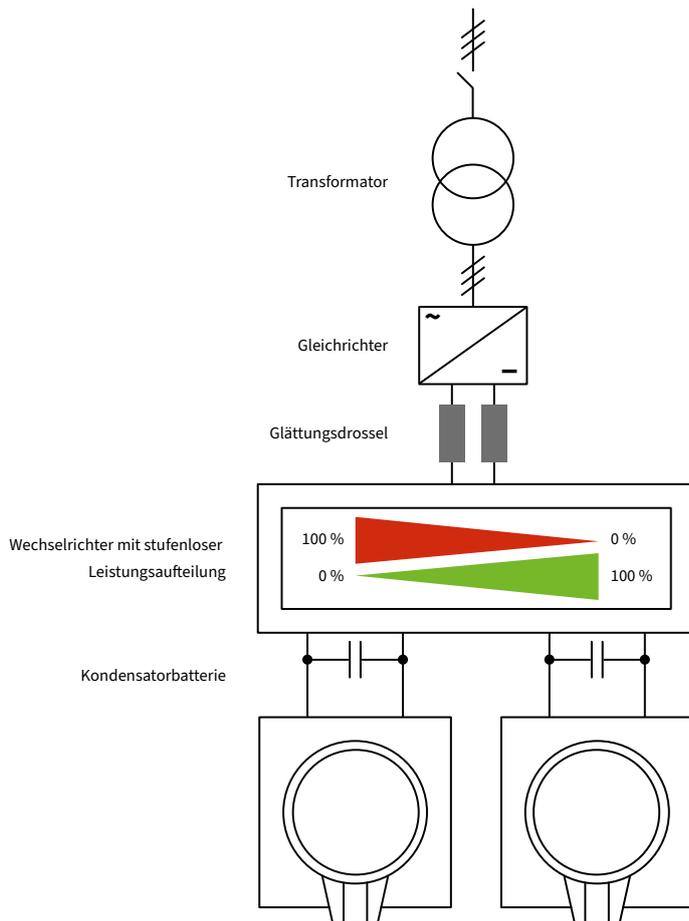


Abbildung 10: Aufbau einer Tandem-Induktionsofenanlage mit elektronischer Leistungsaufteilung. Quelle: eigene Darstellung nach Dötsch, Yildir (2018)

Dabei werden zwei Tiegelöfen aus einer MF-Frequenzumrichter-Anlage mit elektronischer Leistungsaufteilung so betrieben, dass ein Ofen als Schmelz- und der andere als Warmhalteofen arbeitet. Dies steigert die Schmelzleistung, da die Frequenzumrichter-Anlageleistung während des Warmhaltens des eines Ofens bereits für die Schmelze im zweiten Ofen genutzt werden kann. Zudem wird eine gleichmäßige Netzbelastung mit niedrigem Leistungsmaximum erreicht (mehr zu den Vorteilen von Lastmanagement in [Abschnitt 3.6](#)). Darüber hinaus entfallen die sonst auftretenden Wärmeverluste für das Umfüllen der Schmelze in einen weiteren Warmhalteofen, was den Betriebsablauf erleichtert.²⁸

3.5 Pfannenwirtschaft

Der Anteil der Pfannenwirtschaft an den Energiekosten in Eisen- und Stahlgießereien beträgt etwa 12 Prozent. Davon gehen 4 Prozent auf das Vorheizen der Pfannen zurück, welches mit hohen Wärmeverlusten verbunden ist.²⁹ Wärmeverluste entstehen oft dadurch, dass das Pfannenfeuer nicht optimal über der Pfannenöffnung platziert wird, die Öffnung nicht abgedeckt ist oder Wärme durch die Abluftanlage abgesaugt wird. Aufgrund der hohen Temperaturen haben Einsparmaßnahmen hier eine große Hebelwirkung. In den folgenden Abschnitten werden verbesserte Brennertechnologien und Pfannenauskleidungen beschrieben, die den Produktionsprozess in Bezug auf seine Energieeffizienz optimieren können.

Effiziente Pfannenvorwärmung mittels Oxy-Fuel-Diffusions- und Porenbrennern

Weitverbreitet ist die Pfannenvorwärmung mittels Erdgas-Luft-Diffusionsbrennern, bei der die offene Flamme des Brenners zur Vorwärmung in die Pfanne, Rinne, Kokille oder in den Speiser gehalten wird. Die dabei auftretenden hohen Volumenströme führen zu hohen Abwärmeverlusten durch das

²⁷ Fraunhofer IWU (2015), S. 28

²⁸ BDG (2013a), S. 4; Dötsch, Yildir (2018), S. 52 ff.

²⁹ Fraunhofer IWU (2015), S. 20

Ein Oxy-Fuel-Diffusionsbrenner benötigt zwar zusätzlich reinen Sauerstoff, reduziert jedoch die Brennstoffkosten um etwa

60%

Abgas. Eine Weiterentwicklung der Erdgas-Luft-Diffusionsbrenner bilden die sogenannten Oxy-Fuel-Diffusionsbrenner, die mit deutlich niedrigeren Brenngas-Volumenströmen auskommen. Die Verbrennung mittels reinem Sauerstoff vermeidet das Aufheizen der Luft, die zu rund 80 Prozent aus Stickstoff besteht und bei einem Aufheizen als Ballast die hohen Volumenströme verursacht.

Oxy-Fuel-Diffusionsbrenner erreichen Temperaturen von ca. 1.200–1.300 °C. Eine Erweiterung der Anlage durch Wasserkühlung steigert die zu erreichende Temperatur sogar auf 1.500 °C. Dies führt zu kürzeren Aufwärmzeiten und einer besseren Produktqualität, da geringere Temperaturunterschiede zwischen Schmelze und Transportpfanne bestehen. Ein Oxy-Fuel-Diffusionsbrenner benötigt zwar zusätzlich reinen Sauerstoff, reduziert jedoch gleichzeitig die Brennstoffkosten um etwa 60 Prozent. Die Kosten des Erdgasmehrverbrauchs herkömmlicher Brenner übersteigen die Mehrkosten durch den Einsatz von Sauerstoff.³⁰ Auch die Auswirkungen zukünftiger CO₂-Abgaben für fossile Brennstoffe können dadurch verringert werden.

Ein Nachteil von Brennern mit offener Flamme ist die Bildung von Temperatur-Hotspots, welche zu einer ungleichmäßigen Vorwärmung führen und die Feuerfestauskleidung der Pfannen beanspruchen. Porenbrenner arbeiten – anders als Diffusionsbrenner – nicht mit einer offenen Flamme. Stattdessen erfolgt die Verbrennung voluminös und flammenlos in einer porösen Hochtemperaturkeramik (siehe Abbildung 11). Dabei können sehr hohe Leistungsdichten von teilweise mehr als 3 MW/m² erzeugt werden. Die Form des Keramikschaumkörpers kann bereits bei der Herstellung an die Pfannenform angepasst werden. Damit sind Porenbrenner gegenüber Diffusionsbrennern zwar weniger flexibel einsetzbar. Sie können jedoch bei größeren Objekten wie Transport- und Gießpfannen als auch bei Tiegeln und Schmelzöfen genutzt werden. Porenbrenner arbeiten mit einem um bis zu 60 Prozent geringeren Gasverbrauch und damit reduzierten CO₂-Emissionen und Betriebskosten. Zusätzlich zur Brennstoffeinsparung schont der Porenbrenner durch die gleichmäßige Erhitzung das Feuerfestmaterial und erhöht damit dessen Lebensdauer.³¹



Abbildung 11: Porenbrenner zur Pfannenvorwärmung.
Quelle: promeos GmbH

Feuerfeste Pfannenauskleidung

Auch der Einsatz moderner Materialien anstelle herkömmlicher feuerfester Pfannenauskleidungen aus Stein oder Zement kann die Energieeffizienz verbessern. Entsprechende Systeme werden vorgefertigt und besitzen gute Dämmeigenschaften, sodass sie trotz ihrer geringeren Dicke von lediglich 50 mm statt der etwa 100 mm herkömmlicher Pfannenauskleidungen die Wärme besser halten können.³² Die Energieeinsparung entsteht zum einen dadurch, dass es sich um ein Kaltstart-System handelt – Pfannenvorwärmung und Trocknung entfallen hier. Zum anderen sorgt die bessere Dämmung für geringere Wärmeverluste, womit Abstich-, Warmhalte- und Gießtemperaturen des Einsatzmaterials von vornherein niedriger gehalten werden können. Zusätzlich kann die Produktionskapazität durch eine größere Anzahl von Abgüssen innerhalb der erforderlichen Temperaturgrenze gesteigert werden. Auch reduzieren sich durch eine verbesserte Produktbeschaffenheit der Ausschuss sowie der Aufwand für die Nachbearbeitung.

Positive Auswirkungen ergeben sich auch für den Arbeitsschutz, einerseits über eine geringere Lärmbelastung durch den Brenner sowie andererseits über die Reduzierung von Staubemissionen durch ein schnelleres und einfacheres Ausbrechen der Pfannenauskleidung. Nachteilig wirkt sich hingegen die kürzere Lebensdauer der Auskleidung gegenüber herkömmlichen Materialien aus. Auf der anderen Seite kann der Austausch schneller durchgeführt werden. Moderne Materialien zur Pfannenauskleidung sind somit insgesamt günstiger als herkömmliche Materialien und können zugleich bis zu 130 kWh/t einsparen.³³

³⁰ BDG (2013d), S. 2

³¹ BDG (2013e), S. 3

³² BDG (2013b), S. 1

³³ Fraunhofer IWU (2015), S. 30

3.6 Energieflexibilität durch Lastmanagement

Mit einem jährlichen Stromverbrauch von 6 TWh liegt die Gießereibranche in einer relevanten Größenordnung, um durch geeignete Maßnahmen zur Stabilisierung des gesamten Stromnetzes beitragen zu können. Ein intelligentes Energie- und Lastmanagement (auch: Demand Side Management, DSM) hilft Gießereibetrieben, gleichzeitig Erlöse zu generieren, die Energieeffizienz zu steigern und Energiekosten noch weiter zu senken. Durch das gezielte Verschieben von Lasten können z. B. Lastspitzen vermieden, Preisvorteile am Strommarkt genutzt und Flexibilität vermarktet werden. Nachfolgend werden die Potenziale einer effektiven Leistungsbegrenzung unterschiedlicher Lasten in Gießereien durch Priorisieren und Kombinieren der Betriebszeiten sowie der Leistung näher beleuchtet (siehe Abbildung 12).



Best Practice

Eine Eisengießerei hat ein Energie- und Lastmanagementsystem eingeführt, das ohne Lastabwürfe auskommt und bei gleichbleibender Schmelzqualität die Anlagenkosten bereits im ersten Jahr amortisiert. Pro kW werden jährlich etwa 150 Euro eingespart, während der maximale Leistungsbedarf um 1.000 kW gesenkt wurde.³⁴

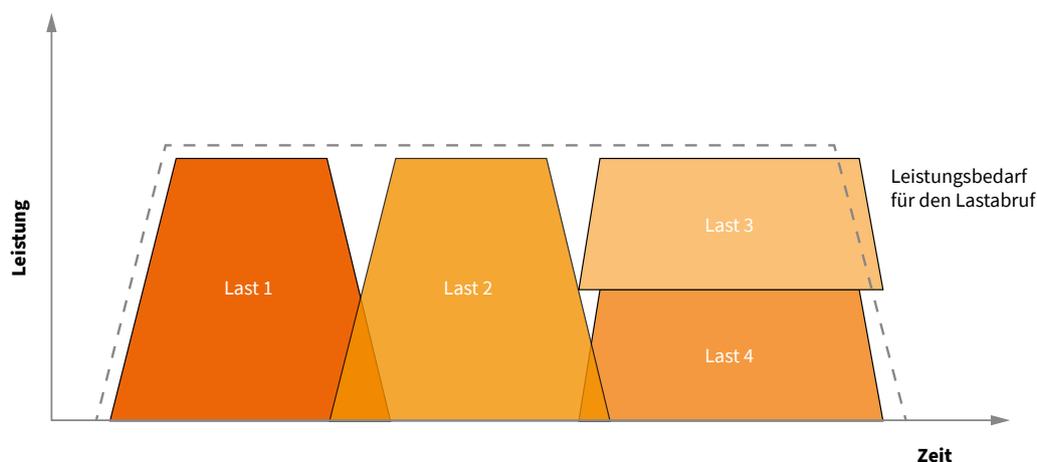


Abbildung 12: Beispiel für das Zusammenführen und Kombinieren von Lasten zur Minderung von Leistungsspitzen. Quelle: dena (2012), S. 23

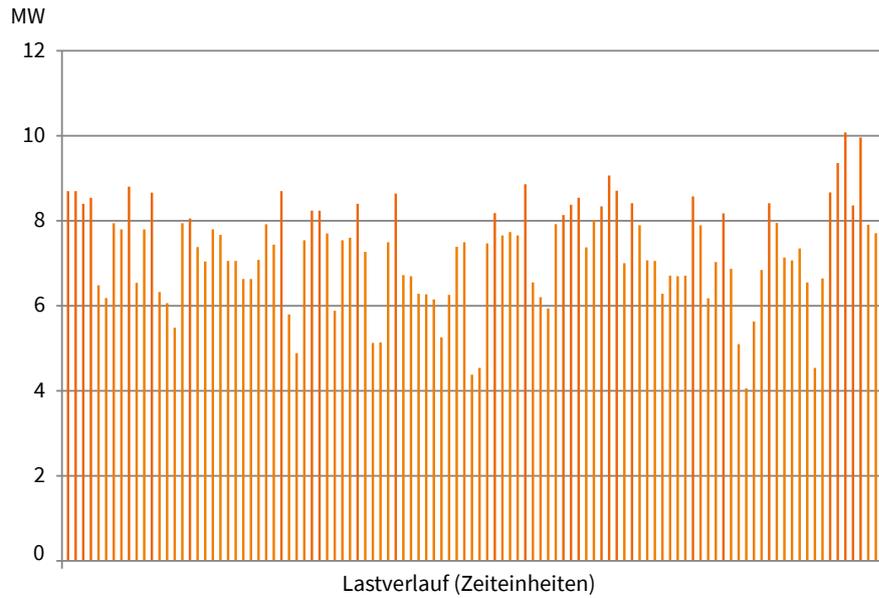
Bei gleichzeitigem Betrieb mehrerer (elektrischer) Schmelzöfen können Kosten durch Lastspitzenbegrenzung gesenkt werden. Dazu muss der Lastgang des Betriebs bezüglich der relevanten Verbraucher dahingehend optimiert werden, das Auftreten von Spitzenlasten frühzeitig zu verhindern. Ein DSM-System hilft gezielt bei diesem Prozess, indem es stufenlos und parallel alle Öfen in ihrer Leistung anpasst, ohne diese vom Netz zu nehmen.

Andernfalls würden dem Energieversorger durch auftretende Lastspitzen Bereitstellungskosten entstehen, welche er der abnehmenden Gießerei in Rechnung stellen würde. Abbildung 13 enthält die Darstellung der abgerufenen Leistung einer Gießerei mit sechs MF-Induktionsöfen vor (oben) und nach (unten) Einführung eines DSM-Systems. Ablesbar ist die Reduktion der bezogenen Spitzenleistung von 10.250 auf 8.000 kW. Durch Einführung eines solchen Systems konnten in mehreren Gießereien die Kosten für den Bezug elektrischer Energie zwischen 5 und 23 Prozent reduziert werden.³⁵

³⁴ Tanneberger (2017), S. 56

³⁵ BDG (2013c), S. 5

Leistungsspitzen ohne Lastmanagement



Leistungsspitzen mit Lastmanagement

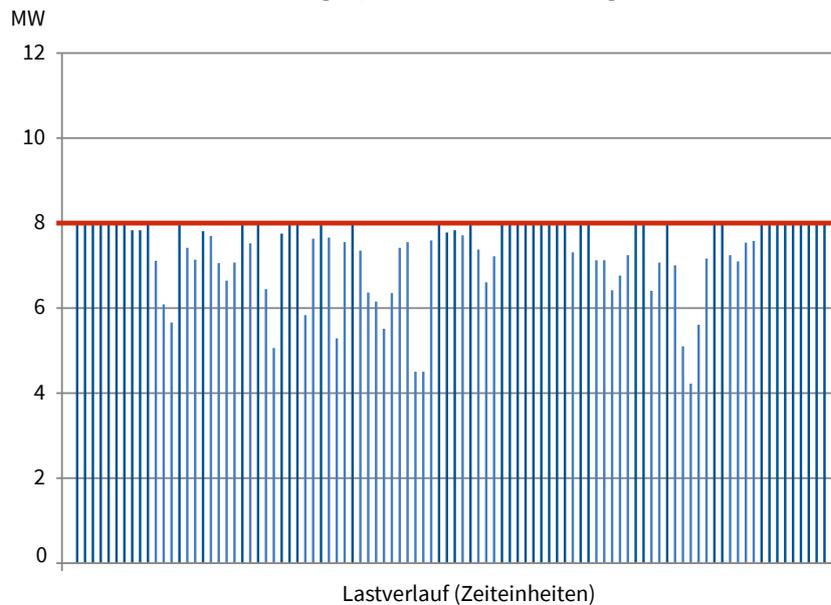


Abbildung 13: Leistungsverlauf vor und nach Einführung eines Lastmanagementsystems.
Quelle: BDG (2013), Lastmanagement

Einer Umfrage aus dem Jahr 2016 unter 59 Gießereien zufolge setzten damals bereits 68 Prozent der befragten Unternehmen DSM ein. Dabei bestanden signifikante Unterschiede zwischen den Unternehmensgrößen. So wendeten 45 Prozent der kleinen Unternehmen, 61 Prozent der mittleren Unternehmen und 94 Prozent der Großunternehmen bereits DSM an, obwohl die Art der Gießerei und die Höhe des Energiekostenanteils keinen signifikanten Einfluss auf die Anwendung von DSM.³⁶

³⁶ Ketelaer (2018), S. 71 f.

04

ABWÄRME

Abwärme ist einer der zentralen Bausteine für Energieeffizienz in Gießereiprozessen. Rund 70 Prozent der Energie in Gießereien wird für die Prozesswärmeerzeugung eingesetzt (siehe auch Abbildung 3). Studien zeigen, dass die bestehenden Abwärmepotenziale in Gießereien heute nicht einmal zur Hälfte genutzt werden bzw. dass ca. 40 Prozent des Energiebedarfs von Gießereien bei Verfügbarkeit geeigneter Wärmesenken für Abwärme nutzbar wären.³⁷ Auf der anderen Seite sind in den Unternehmen bereits viele Möglichkeiten zur Vermeidung bzw. Nutzung von Abwärme bekannt. Sie sind jedoch nicht konkret auf den eigenen Betrieb anwendbar oder scheitern an anderen Dingen wie z. B. den Platzverhältnissen. Oftmals sind einzelne Maßnahmen auch nur in Verbindung mit weiteren Maßnahmen umsetzbar und haben jeweils Auswirkungen auf das gesamte System. Dadurch gestaltet sich ihre Umsetzung komplexer und sowohl zeit- als auch kostenintensiver.

In manchen Fällen findet die Bewertung bestehender Potenziale im eigenen Betrieb auch nur deshalb nicht statt, weil diese teilweise schwer erfassbar sind oder versteckte Potenziale nicht berücksichtigt werden. Dazu zählen z. B. Wärmeverluste durch Lüftungsvorgaben oder vermeidbare Stand-by-Verluste als typische Herausforderungen für energieintensive Betriebe wie Gießereien. Zu ihrer Bewältigung bewährt hat sich eine systematische Herangehensweise, wie sie die Abwärmekaskade (siehe Abbildung 14) beschreibt. Hier werden Maßnahmen zur Vermeidung und Nutzung von Abwärme nach ihrer Umsetzbarkeit priorisiert und in entsprechender Rangfolge betrachtet. In den weiteren Abschnitten dieses Kapitels werden die Wärmerückgewinnung aus Abluft sowie die Abwärmeverstromung als Kraft-Wärme-Kopplung aufgrund ihrer besonderen Bedeutung für Gießereien beschrieben.

Ca.
40%



des Energiebedarfs von Gießereien wären bei Verfügbarkeit geeigneter Wärmesenken aus Abwärme nutzbar.

4.1 Vermeidung und Nutzung von Abwärme – die Abwärmekaskade

Ziel ist es, die anhand der zur Verfügung stehenden Mittel bestmögliche Nutzung der Abwärme zu identifizieren. Die Abwärmekaskade gibt klare Prinzipien zur Orientierung vor. In einem konkreten Anwendungsfall können hier auch Abweichungen vorgenommen werden oder durch vertiefende Analysen wie z. B. eine Pinch-Analyse zur systematischen Optimierung des Energieverbrauchs von

Prozessen ergänzt werden. Dem Prinzip „Efficiency First“ folgend gilt es zunächst, Abwärme zu vermeiden. Erst danach finden Überlegungen statt, wie die Abwärme unterschiedlichen Nutzungsmöglichkeiten zugeführt werden kann. Konkrete Beispiele für Gießereien entlang der allgemein geltenden Abwärmekaskade sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

³⁷ Bosse et al. (2016), S. 177; Fraunhofer IWU (2015), S. 9

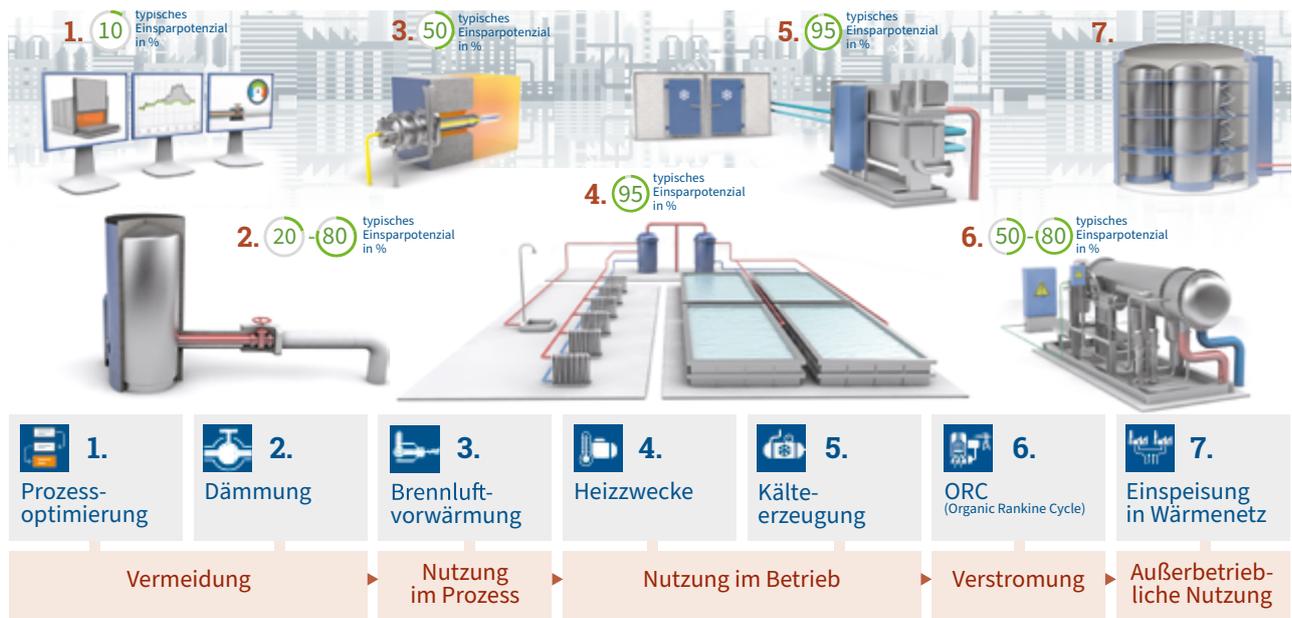


Abbildung 14: Potenziale zur Vermeidung industrieller Abwärme entlang der Abwärmekaskade und typische Nutzungsmöglichkeiten für Abwärme. Quelle: dena

Abwärmevermeidung

Eine einfach umsetzbare und wirtschaftlich lohnende Maßnahme zur Vermeidung von Abwärme besteht in der Dämmung von wärmeführenden Bauteilen, Rohrleitungen und Anlagen. So weisen etwa nicht gedämmte Armaturen erhebliche Einsparpotenziale von bis zu 80 Prozent auf. Tiegelöfen haben bei unzureichender Dämmung Oberflächentemperaturen von mehr als 120 °C. Diese können bei guter Feuerfestauskleidung und einer Umgebungstemperatur von 25 °C auf ca. 70 °C gesenkt werden.³⁸

Zur Vermeidung von Abwärme dient auch die Prozessoptimierung mittels energieeffizienter Komponenten und Verfahren. Herkömmliche Aluminiumschmelzöfen weisen z. B. gegenüber Ofenkonstruktionen mit verbessertem Abgasführungssystem ebenfalls Energieeffizienzpotenziale auf. Wird das Rauchgas einer Erdgasofenfeuerung länger im Ofeninneren gehalten, gibt es in dieser Zeit auch mehr Hitze ab. In Verbindung mit einer besonders dicken Dämmung können moderne brennstoffbetriebene Schmelzöfen den Energieverbrauch gegenüber vergleichbaren Ofenkonstruktionen ohne Abwärmevermeidung um 20–30 Prozent reduzieren.³⁹

Oft lassen sich Energieeffizienzmaßnahmen zur Prozessoptimierung sogar mit nicht-energetischen Vorteilen wie der Steigerung der Produktqualität oder einer Zeitersparnis, kombinieren.

Für Phasen mit geringer Nutzung bzw. Auslastung eignen sich prozesssteuerungstechnische Absenkerstrategien über eine Temperatur- und Brennersteuerung. Auch Maßnahmen wie eine Wochenendabsenkung können einen erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch haben.



Innovatives Verfahren:

Den entscheidenden Schlüssel zur Bewertung von Abwärmepotenzialen stellt der Einsatz von Messtechnik dar. Sie ermöglicht die Analyse verfügbarer Temperaturen, Zeitprofile und Mengen. Ideal ist der Einsatz von Messtechnik in Kombination mit einer Energiemonitoring-Software und digitalen Analysemöglichkeiten. Für eine detaillierte Bewertung können aber auch problemlos vorübergehend installierte Messgeräte verwendet werden. Hierfür eignen sich beispielsweise mobile Messtechnik per Funk oder innovative Messsysteme wie Luftenergiezähler.

³⁸ LfU (2005), S. 42

³⁹ Gassel (2012), S. 72 f.



Innovatives Verfahren:

Der Aluminium-Niederdruck-Gießprozess bietet ein innovatives Verfahren, bei dem die Abkühlzeit verringert und die Festigkeit des Bauteils gesteigert werden. Nach dem Füllen der Form wird diese thermisch und mechanisch vom Ofen entkoppelt, die Zuleitung mittels Schutzgas aktiv belüftet und das Gussteil durch Verschieben eines Kolbens weiter aktiv gespeist, während der Ofen bereits für weitere Abgüsse verwendet werden kann. Durch die Steigrohrbelüftung mittels Schutzgas wird die Bildung von Oxiden an der Schmelzbadoberfläche vermieden, was zusätzlich zu einer Reduzierung der Ausschussrate führt. Ein weiterer wesentlicher Vorteil des Verfahrens besteht im nahezu unterbrechungsfreien Betrieb der Gießanlage, was im Ergebnis zu Energie-, Zeit- und Kostenersparnis führt.

Prozessinterne Abwärmenutzung

Nicht vermeidbare Abwärme wird idealerweise dem Prozess direkt wieder zugeführt. Im Falle eines brennstoffbetriebenen Ofens kann dies z. B. durch eine Brennerluftvorwärmung über Rekupe-ratorbrenner erfolgen. Die kalte Brennerluft wird dabei mittels Wärmetauscher von der Umgebungstemperatur auf etwa 200 °C erwärmt, was zugleich über die bessere Durchmischung des Brenngases den Verbrennungsprozess verbessert. Eine solche Brennerluftvorwärmung lässt sich auch an bestehenden Öfen nachrüsten und eignet sich für Öfen mit einer Nennleistung ab 300 kW.⁴⁰ Erfahrungsgemäß ist hierdurch eine Minderung der Abwärmeverluste um mehr als 20 Prozent erzielbar.⁴¹

Ergänzend oder als eigenständige Maßnahme kann die Vorwärmung des zu erhitzenden Gutes erfolgen. Dazu wird das heiße Abgas in eine dafür eingerichtete Vorwärmkammer mit dem zu erwärmenden Gut geleitet.



Innovatives Verfahren:

Zur Fertigung von kleinen bis mittleren Losgrößen lohnt sich in einer Gießerei der Einsatz eines modularen Hochregallagersystems in mehrfacher Hinsicht. Durch das neuartige programmgesteuerte System wird ein wahlfreier Zugriff auf die Formkästen möglich. Gegenüber herkömmlichen statischen Verfahren reduzieren sich auf diese Weise Warte-, Transport- und Manipulationszeiten beim Erschmelzen und Abgießen. Der Vorteil zeigt sich in einem geringeren Abbrand, weniger Ausschuss und einer Einsparung elektrischer Energie in Höhe von gut 1 Mio. kWh/a bei einer Durchsatzleistung von 4.500 t/a.⁴²



⁴⁰ Möldner (2018), S. 68 f.

⁴¹ Hirschberg et al. (2013), S. 74 ff.

⁴² Effizienz-Agentur NRW (2018), S. 1

Betriebsinterne Abwärmenutzung

Mit elektrischer Energie betriebene Anlagen wie Induktionsöfen, Kältemaschinen und Druckluftzeuger lassen eine prozessinterne Abwärmenutzung üblicherweise nicht zu. Die dort erzeugte nicht vermeidbare Abwärme lässt sich jedoch oft an anderer Stelle im Betrieb einsetzen. Die Anwendungsfälle einer solchen Abwärmenutzung sind vielseitig. Typische Potenziale bietet der Einsatz der Abwärme für Heizung und Trinkwassererwärmung, z. B. für Waschräume. Da der Anteil der hierfür benötigten Energie im Vergleich zum Energiebedarf für die Prozesswärmeerzeugung des Schmelzbetriebs in der Gießerei-Industrie mit rund 10 Prozent eher gering ist (siehe Abbildung 3), sollte insbesondere dort die Nutzung von Abwärme angestrebt werden.⁴³ Erforderlich ist dafür neben der Auskopplung der Abwärme aus dem Prozess deren Integration in das Heizungssystem. Dazu ist nicht nur der Ausbau von Wärmenetzen, sondern auch der Einsatz von Wärmespeichern und eine abgestimmte Regelung erforderlich, um die i. d. R. schwankende Abwärmeleistung unterschiedlicher Wärmequellen mit dem jeweiligen Wärmebedarf zu synchronisieren. In diesem Zusammenhang sind auch die Temperaturniveaus der verfügbaren Abwärme und der Wärmesenken zu beachten und ggf. zu optimieren.

Tipp: Wärmeverteilsysteme sowie die Wärmeübergabe sind bei älteren Installationen oft für sehr hohe Temperaturen von 80 °C und mehr ausgelegt. In diesen Fällen ist Abwärme im Temperaturbereich unter 80 °C nicht einsetzbar, weshalb die Heizwärme weiterhin über fossile Brennstoffe erzeugt werden muss. Hingegen ermöglicht der Einsatz von wasserbeheizten Heizlüftern oder Flächenheizungen in Verbindung mit einer optimierten Gebäudehülle eine Senkung der Vorlauftemperatur auf teilweise bis auf 40 °C. Dadurch kann in diesen Systemen zum einen kostenlose Abwärme genutzt und zum anderen gleichzeitig das Raumklima verbessert werden. Auch Trinkwarmwasser kann mittels Frischwasserstationen hygienisch und energieeffizient unter Einsatz von Abwärme erzeugt werden.

⁴³ UBA (2013), S. 48

⁴⁴ Gassel (2012), S. 72 f.

Tipp: Induktionsöfen benötigen i. d. R. eine Kühlung der Leistungselektrik (Transformator und Frequenzumrichter) und eine Kühlung der Spulen bzw. des Ofens (siehe Abbildung 8). Oft ist die Kühlung beider Anlagenteile in einer Kühlanlage zusammengefasst. Das Temperaturniveau der Kühlanlage wird dabei infolge der Anforderungen an die empfindliche Leistungselektrik mit max. 45 °C vorgegeben. Aufgrund der somit relativ geringen Temperatur kann die Abwärme nicht genutzt, sondern muss an die Außenumgebung abgegeben werden. Eine Entkoppelung beider Kühlsysteme ermöglicht es, die Abwärme aus der Ofenkühlung (etwa 15 bis 20 Prozent der Ofenleistung) mit einer Temperatur von bis zu 85 °C nutzbar zu machen. Auf diese Weise wird zusätzlich auch das Kühlsystem entlastet und damit eine besonders hohe Energieeffizienz erreicht.



Best Practice

Im konkreten Fall der Vorwärmung von Aluminium-Masseln für den Schmelzbetrieb hing der Einspareffekt von der Verweildauer der Masseln in der Vorwärmkammer ab. So konnten bei 900 kg Schwerkraftguss und 400 °C in der Vorwärmkammer nach einer Stunde Anwärmen ungefähr 13 Prozent, nach zwei Stunden bereits rund 22 Prozent Energie eingespart werden. Darüber hinaus wurde die Schmelzzeit um 15 bis 20 Prozent reduziert. Durch die entsprechenden Einsparungen beim Brennstoffeinsatz amortisierte sich die Spezialkonstruktion innerhalb von 3 Jahren.⁴⁴

Abbildung 15: Abhitzekeessel zur Versorgung des Heiznetzes am Standort der Bosch Thermotechnik GmbH. Quelle: Bosch Thermotechnik GmbH



Auch Kälte kann über Abwärme erzeugt werden. Oft ist der Kältebedarf sogar dann am größten, wenn der Wärmebedarf gering ist – im Sommer. Wirtschaftliche Einsatzbereiche für die Kälteerzeugung aus Abwärme sind Leistungen zwischen 20 und 4.500 kW bei einer Betriebsstundenzahl von mindestens 3.000 Stunden im Jahr. Sogenannte Absorptionskältemaschinen können aus Abwärme zwischen 70 und 95 °C mit einem thermischen Wirkungsgrad (COP_{th}) von 0,65 bis 0,85 Kaltwasser mit einer Temperatur zwischen 3 und 20 °C (LiBr-Kältemaschine) oder Kälte bis zu 20 °C erzeugen (NH₃-Kältemaschine). Ein weiterer Pluspunkt von Sorptionskältemaschinen ist ihr niedriger CO₂-Fußabdruck. Gegenüber Kältemitteln in Kompressionskältemaschinen ist das Treibhausgaspotenzial der in Sorptionskältemaschinen verwendeten Kältemittel um den Faktor 500 bis 7.000 niedriger.⁴⁵

Außerbetriebliche Abwärmenutzung

Wenn alle Maßnahmen der Abwärmekaskade auf ihre Anwendbarkeit im Betrieb hin geprüft bzw. eingeführt wurden, kann für verbleibende Überschüsse die außerbetriebliche Abwärmenutzung eine sinnvolle Option zur klimafreundlichen Wärmeversorgung benachbarter Betriebe oder Wohngebiete sein. Auch Wärmenetzbetreiber suchen nach Möglichkeiten, ihren Fernwärmemix CO₂-arm auszurichten. Dabei können sie Abwärme als wirtschaftliche Wärmequelle einbeziehen, sofern die räumliche Distanz dies zulässt. Die Entwicklung von Lösungen zur außerbetrieblichen Abwärmenutzung nimmt wegen der notwendigen Einbindung mehrerer Akteure (Abwärmelieferant, Wärmenetzbetrieb und Endkunde) eine gewisse Zeit in Anspruch. Hierbei müssen Verträge, Förderungen und Genehmigungen verhandelt bzw. beantragt werden. Anschließend kann die Infrastruktur installiert und am Ende eine Win-win-Situation für alle beteiligten Akteure erreicht werden. Es empfiehlt sich daher eine frühzeitige Abstimmung, um eine erfolgreiche Durchführung dieses Prozesses sicherzustellen.

Branche	Heizungstechnik
Technologie	Abhitzeessel, Wärmetauscher und systemische Maßnahmen
Nennleistung	7 MW
Art der Wärmequelle	Rauchgas aus Gichtgasvorwärmung
Wärmequellentemperatur	Ca. 720 °C
Art der Wärmesenke	Heizungsnetz des Standorts (überbetrieblich)
Energieeinsparung	9.700 MWh/a
CO₂-Einsparung	1.522 t/a
Investition	Ca. 1.900.000 Euro
Amortisationszeit	Unter 6 Jahren bei 30 Prozent Förderung
Inbetriebnahme	2020

Tabelle 5: Steckbrief des Abhitzeessels zur Versorgung des Heiznetzes am Standort der Bosch Thermotechnik GmbH. Quelle: Bosch Thermotechnik GmbH



Best Practice

Am Standort der Bosch Thermotechnik GmbH sind mehre Betriebe der Bosch-Gruppe angesiedelt, so auch der Gießereibetrieb der Robert Bosch Lollar Guss GmbH mit einem Kupolofen zur Erzeugung von Gusseisen. 75 Prozent des gesamten Standorts werden derzeit zentral über ein Heiznetz durch eine Heizzentrale mit Wärme versorgt. Zum Einsatz kommen dazu sieben Heizkessel mit einem Gasbedarf von etwa 26 GWh/a. Hier setzt die Maßnahme zur Abwärmenutzung an: Ein bestehender Abhitzeessel am Kupolofen wird durch einen neuen, etwa dreimal leistungsstärkeren Abhitzeessel ersetzt, welcher rund 15 GWh/a Abwärme aus dem Rauchgas der Gichtgasvorwärmung verfügbar machen kann. Zum Einsatz kommen dafür neben dem Abhitzeessel selbst (siehe Abbildung 15) ein Wasser-Glykol-Primärkreislauf sowie ein weiterer Wärmetauscher, der die Wärme an das Heizungswasser überträgt. Rund 10 GWh/a werden so in das Heiznetz des benachbarten Betriebs eingespeist. Durch die Maßnahme können zukünftig 60 Prozent des Heizwärmebedarfs am Standort aus Abwärme gedeckt werden und somit in erheblichem Umfang Erdgas und CO₂-Emissionen eingespart werden.

⁴⁵ SolarNext (2019), S. 6



4.2 Wärmerückgewinnung aus Abluft

Luftreinhaltung ist nicht nur für Arbeits- und Umweltschutz von Relevanz; sie spielt auch für die Energieeffizienz in den vielfältigen Prozessen von Gießereien eine wichtige Rolle (siehe Abbildung 3). Die Be- und Entlüftung in Gießereien fällt mit einem Energiekostenanteil von 8 Prozent für Eisengießereien und 5 Prozent für Stahlgießereien als relevanter Verbraucher ins Gewicht. Bei einem bestehenden Energieeinsparpotenzial von 5–10 Prozent lohnt es sich, einen näheren Blick auf den Verbraucher Lüftung zu werfen.⁴⁶

Abbildung 16 zeigt das Jahresprofil des Wärmebedarfs einer Gießerei für Heizung, Lüftung und Trinkwarmwasser. Im dargestellten Fall können in den kälteren Monaten der Trinkwarmwasser- und Lüftungswärmebedarf sowie Teile des Heizungswärmebedarfs durch die verfügbare Abwärmeleistung gedeckt werden.

Zugleich zeigt sich, dass der Bedarf an Heizungs- und Lüftungswärme praktisch zeitgleich auftritt. In der Heizungsperiode kann dies dazu führen, dass verstärkt fossile Energieträger eingesetzt werden müssen, wenn nicht auch Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung aus der Abluft genutzt werden.

Selbst unter Einsatz effizienter Erfassungsvorrichtungen sind Abluftmengen von mehreren 100.000 m³/h in Gießereien nicht selten. Wird der abgesaugte Volumenstrom aus der Halle durch Frischluft ersetzt, führt dies zu hohen Heizkosten. Bei einer Außentemperatur von 0 °C liegt die für den Lüftungsprozess benötigte Heizleistung bei ungefähr 72 kWh pro 10.000 m³/h, summiert sich also bei einem Volumenstrom von 100.000 m³/h auf 720 kWh.⁴⁷

⁴⁶ Fraunhofer IWU (2015), S. 26

⁴⁷ Franke (2019), S. 58

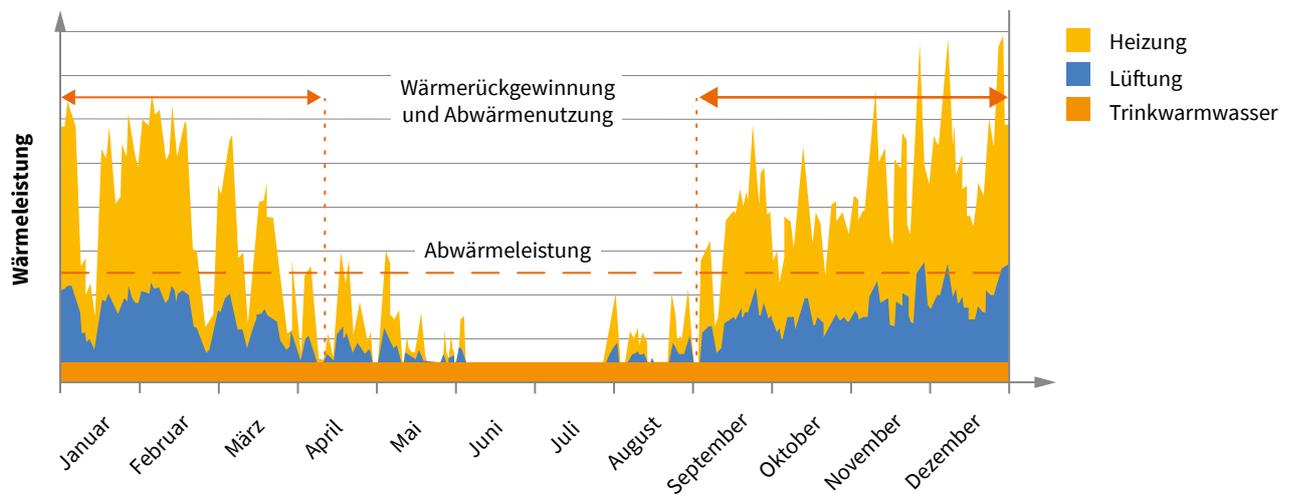


Abbildung 16: Jahresprofil des Wärmebedarfs einer NE-Metall-Gießerei für Heizung, Lüftung und Trinkwarmwasser.
Quelle: eigene Darstellung nach LfU (2005), S. 85, 91

Direkte Rückführung der Luft nach Reinigung mit einem Filter (Umluftbetrieb)

Als derzeit energieeffizientestes Verfahren der Abluftbehandlung ist der Umluftbetrieb unter geeigneten Voraussetzungen den bestehenden Alternativen (s. u.) vorzuziehen. Der Umluftbetrieb kommt dann in Betracht, wenn die Abluft nur durch Partikel und nicht durch weitere gasförmige Verunreinigungen belastet ist. In diesem Fall reicht es aus, die Luft mit einem zweistufigen Filtersystem zu reinigen. Die gereinigte Luft wird noch warm der Halle wieder zugeführt und geht somit nicht mit der Fortluft verloren. Ein Umluftbetrieb ist beispielsweise in der Putzerei gut einsetzbar.

Wärmerückgewinnung mit Wärmetauschern und Wärmepumpen

Wenn staub- oder gasförmige Verunreinigungen einen Umluftbetrieb nicht erlauben, kommt eine Wärmerückgewinnung aus der Abluft in Frage. Dafür wird die Luft zuerst in einem zweistufigen System gefiltert, einerseits, um Emissionsgrenzwerte einzuhalten und andererseits, um den Wirkungsgrad des Wärmetauschers langfristig sicherzustellen. Danach wird die Wärme der Abluft mittels Wärmetauscher auf die einströmende Frischluft übertragen, wodurch Wirkungsgrade von etwa 40 Prozent erzielt werden.

Bei einer Betriebsdauer von 3.600 Stunden im Jahr (Heizperiode – vgl. Abbildung 16) reduziert die Wärmerückgewinnung den Brennstoffverbrauch für die Heizung erheblich. Trotz der zusätzlich benötigten Energie für den Betrieb der Wärmerückgewinnungsanlage können dadurch die Betriebskosten insgesamt gesenkt werden, sodass sich die Investition in ungefähr 2 Jahren amortisiert.

Das Wärmerückgewinnungssystem kann zudem durch eine Wärmepumpe erweitert werden. Diese entzieht der Fortluft weitere Wärme und überträgt diese auf die Frischluft, wodurch der Wirkungsgrad des Systems während der Heizperiode auf 85 Prozent gesteigert werden kann. Auch unter Berücksichtigung des Energieverbrauchs der Wärmerückgewinnungsanlage sorgt die Reduktion der Betriebskosten für eine Amortisation innerhalb von etwa 3 Jahren.⁴⁸

⁴⁸ Bosse et al. (2016), S. 177

4.3 Abwärmeverstromung als Kraft-Wärme-Kopplung

Neben der direkten Wärmenutzung besteht auch die Möglichkeit einer Abwärmeverstromung. Diese Technologie besitzt einen hohen technischen Reifegrad und kann heute als aktueller Stand der Technik bezeichnet werden. Wie auch in großen Kraftwerken wird hier eine Flüssigkeit (z. B. Wasser) mit der anfallenden Wärme unter Druck verdampft und anschließend einer Entspannungsmaschine (z. B. Turbine-Generator-Einheit) zugeführt. Diese wandelt die Wärme mit technisch bedingt unterschiedlichen Wirkungsgraden in elektrische Energie um. Abhängig vom Temperaturniveau und den sehr unterschiedlichen Leistungen von wenigen Kilowatt bis mehreren Megawatt kommen dafür unterschiedliche Technologien zum Einsatz.

Differenziert werden die Verstromungsanlagen in KWK-fähige und nicht-KWK-fähige Anlagen. Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) können die anfallende Kondensationswärme nach der Stromerzeugung auf einem nutzbaren Niveau (i. d. R. > 60 °C) für andere Prozesse bereitstellen. Dadurch steigt der Gesamtnutzungsgrad der Abwärmenutzung von 5–30 Prozent (rein elektrisch) auf bis zu 90 Prozent (elektrisch + thermisch). Bei nicht-KWK-fähigen Anlagen (wie z. B. Niedertemperatur-ORC-Anlagen) hingegen ist eine nachgelagerte Wärmenutzung nur bedingt möglich ist und auf den erzeugten Strom muss 100 Prozent EEG-Umlage (2021: 6,5 Ct/kWh) entrichtet werden. Weitere Unterschiede liegen im verwendeten Arbeitsmittel und dessen Treibhausgaspotenzial (Wasser oder organische Fluide), der Art der Entspannungsmaschine (Turbine, Kolben- oder Schrauben-Motor) sowie dem elektrischen Wirkungsgrad (Niedertemperatur-Anlagen: unter 10 Prozent; Hochtemperatur-Anlagen: bis zu 40 Prozent).

Ab Leistungen von 500 kWth und Temperaturen ab 80 °C bei flüssigen bzw. 200 °C bei gasförmigen Quellen lässt sich heute technisch und wirtschaftlich sinnvoll Abwärme verstromen. Höhere Abwärmemetemperaturen lassen den Umwandlungsgrad in Strom signifikant steigen. Technisch anspruchsvoll ist die Abwärmeauskopplung aus Wärmeströmen, die mit Staub, Säure oder anderweitig belastet sind.

Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass die Auskopplung der Abwärme (selbst im Störfall) keinerlei Auswirkungen auf den Produktionsprozess haben darf. Mit modernen, bei Bedarf redundanten Systemen, die im Betrieb ohne Beaufsichtigung operieren, kann jedoch auch die Erfüllung dieser Anforderung sichergestellt werden.

Hemmnisse für den Einsatz in der Gießereibranche können in den relativ hohen Investitionsvolumen, den Amortisationszeiten zwischen 3 und 5 Jahren und einer begrenzten Risikobereitschaft der Unternehmen liegen.

Investitionskosten von Anlagen, die durch eine Verstromung von Abwärme Energieverbräuche und CO₂-Emissionen reduzieren, können mit 30 bis 40 Prozent (siehe Abschnitt 6) bezuschusst werden. Dabei bieten sich Vorteile durch bedarfsgerechte Contractingmodelle. Sie ermöglichen es, zwischen unterschiedlichen Finanzierungsoptionen zu wählen. Dem Contracting-Partner kann sogar der komplette Betrieb der Anlagen überlassen werden.

Tipp: Die besondere Ausgleichregelung (BesAR) ist durch die Abwärmeverstromung nicht gefährdet. Zwar sinkt die tatsächliche Stromkostenintensität für das Produkt, jedoch werden die fiktiven Kosten, die maßgeblich für die Privilegierung sind, aus der Summe an netzbezogener und eigenproduzierter elektrischer Energie mit dem branchenüblichen Preis berechnet. Die Stromkostenintensität im Sinne der BesAR bleibt dadurch unverändert.

05

**QUERSCHNITTS-
TECHNOLOGIEN**

Querschnittstechnologien zeichnen sich dadurch aus, dass sie branchenübergreifend einsetzbar sind. Ihr Energieeffizienzpotenzial liegt für Gießereien – je nach Technologie und Ausgangslage – im zweistelligen Prozentbereich. Die verschiedenen Einsatzmöglichkeiten werden im Folgenden kurz vorgestellt.

5.1 Antriebssysteme

Elektrische Systeme haben häufig ein Energieeffizienzpotenzial von 30 Prozent und mehr.⁴⁹ Zur systematischen Verringerung des Stromverbrauchs ist eine Betrachtung des gesamten Antriebssystems sinnvoll, da der Gesamtwirkungsgrad entscheidend ist. Dieser berechnet sich aus der Multiplikation der Teilwirkungsgrade der einzelnen Antriebskomponenten: Elektromotor, Kraftübertragung, Blindleistungskompensation, Arbeitsmaschine sowie Steuerung und Regelung.

Bei der Auswahl von elektrischen Motoren sollten sowohl die Antriebsaufgabe als auch der Energieverbrauch des Motors im Fokus stehen. Die Strom- und Instandhaltungskosten bestimmen die Höhe der Lebenszykluskosten. Durch den Einsatz hocheffizienter Motoren können die Stromkosten deutlich gesenkt werden.

Seit Juli 2021 gilt die „Verordnung zur Festlegung von Ökodesign-Anforderungen an Elektromotoren und Drehzahlregelungen“ der Europäischen Kommission (EU 2019/1781). In Abbildung 18 sind die derzeit und die zukünftig geltenden Mindestanforderungen an das Effizienzniveau (IE) in Abhängigkeit von der Nennausgangsleistung und der Polzahl aufgelistet.

Betrachtet man einen 55-kW-Motor (4-polig, 50 Hz) mit einer Betriebsdauer von 4.000 h/a, so lassen sich durch einen Motor der Effizienzklasse IE4 im Vergleich zur Klasse IE2 ca. 5.060 kWh/a einsparen. Der Ersatz alter Motoren beispielsweise im Bereich des Sandkreislaufs, an Formanlagen oder der Absaugung durch neue Motoren mit dem Effizienzniveau IE3 oder sogar IE4 spart entsprechend hohe Betriebskosten.

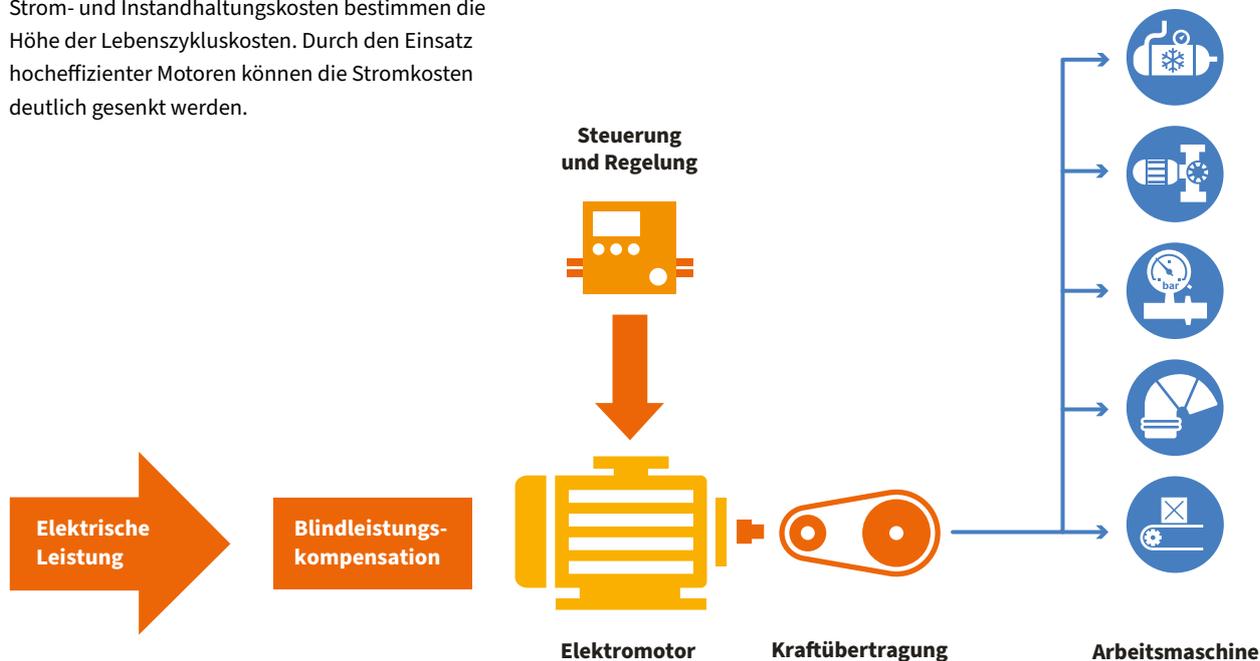


Abbildung 17: Komponenten eines elektrischen Antriebs. Quelle: dena

⁴⁹ dena (2013c), S. 5

		Mindestanforderung	Verpflichtend
Dreiphasenmotoren	Motoren mit Nennausgangsleistung 0,75 – 375 kW	Effizienzniveau IE3	Seit Januar 2017
	Drehzahlgeregelte Motoren mit Nennausgangsleistung 0,75 – 375 kW	Effizienzniveau IE2	
	Motoren mit Nennausgangsleistung 0,75 – 1.000 kW	Effizienzniveau IE3	Ab Juli 2021
	Motoren mit Nennausgangsleistung 0,12 – 0,75 kW	Effizienzniveau IE2	
	Motoren mit Nennausgangsspannung 0,75 – 200 kW	Effizienzniveau IE4	Ab Juli 2023
	Einphasenmotoren mit Nennausgangsleistung 0,12 – 1.000 kW	Effizienzniveau IE2	
	Einphasenmotoren mit Nennausgangsleistung mind. 0,12 kW	Effizienzniveau IE2	

Abbildung 18: Anforderungen an das Energieeffizienzniveau bei Elektromotoren gemäß Verordnung (EU) 2019/1781 der Kommission vom 01.10.2019. Quelle: dena

Tipp: Oft werden Motoren nicht bedarfsgerecht betrieben. Dies liegt häufig an zu hohen Sicherheitsfaktoren bei der Auslegung, einer fehlenden Leistungssteuerung für den Teillastbetrieb oder vermeidbaren Leerlaufphasen. Die Folgen sind ein unnötig hoher Energieverbrauch und somit hohe Betriebskosten. Hier können ein Frequenzumrichter und eine Steuerung für Motoren entgegenwirken. Dadurch lassen sich beispielsweise bei Kühlwasserpumpen oder Gebläsen bis zu 10 Prozent der Stromkosten einsparen.⁵⁰



Innovatives Verfahren

Antriebssysteme arbeiten teilweise hydraulisch oder unter Einsatz von Schmieröl. Eine innovative Lösung bietet ein Rekonditionierungsprozess, der das verbrauchte Öl auf seine ursprüngliche Qualität zurückführt und wieder für dieselbe Anwendung verwendbar macht. Durch die somit einzusparenden Ölwechsel kann der Ölverbrauch um bis zu 90 Prozent reduziert werden. Dies bedeutet eine Einsparung von bis zu 3 Tonnen CO₂-Emissionen pro nicht benötigter Tonne Öl, die Vermeidung von Produktionsstillständen und die Reduzierung von Verschleiß über die erhöhten Reinheitsgrade im Hydrauliköl.

⁵⁰ Wamsbach (2017), S. 59

5.2 Lüftungssysteme

Der Betrieb von Abluft- und Zuluftanlagen ist in den meisten Fällen der zweitgrößte Energieverbraucher in Gießereien – nach dem Schmelzen und Gießen des Metalls. Die wärmetechnische Optimierung und Wärmerückgewinnung aus Abluft bieten daher große Einsparpotenziale (siehe Abschnitt 4.2). Doch auch der Ventilator stellt mit Einsparpotenzialen im Gesamtsystem von ca. 2–10 Prozent einen wesentlichen Ansatzpunkt zur Energieeffizienzsteigerung dar.

Tipp: Für den bedarfsgerechten und energieeffizienten Betrieb sollten Absaugleistung und Drehzahl der Ventilatoren auf die Gießereiprozesse abgestimmt werden, so z. B. beim Auftragen von Trennmitteln beim Aluminium-Druckguss: Während sowie einige Sekunden nach dem Auftragen des Trennmittels bei Druckgussmaschinen wird mit voller Leistung abgesaugt, in der übrigen Zeit fährt der Ventilator auf eine einstellbare niedrigere Drehzahl zurück. Zu realisieren ist ein solcher Betrieb durch eine Steuerung in Verbindung mit Sensorik und Drehzahlregelung.

Filter, Wärmeübertrager und weitere Komponenten der Anlage sowie die Luftleitungen sind ebenfalls relevant für den Energieverbrauch, denn sie setzen der Luftbewegung Widerstände entgegen. So muss beispielsweise der Ventilator, der zur Erfassung und Behandlung der Abluft aus der Formmacherei eingesetzt wird, diesen Widerstand mittels Druckerhöhung kompensieren. Dabei ergibt die Summe aller Widerstände die aufzubringende Leistung des Ventilators. Insofern wirken sich Maßnahmen zur Reduzierung des Gesamtwiderstands und des Luftvolumenstroms unmittelbar auf den Energieverbrauch des Ventilatorsystems aus und können die Kosten maßgeblich senken.

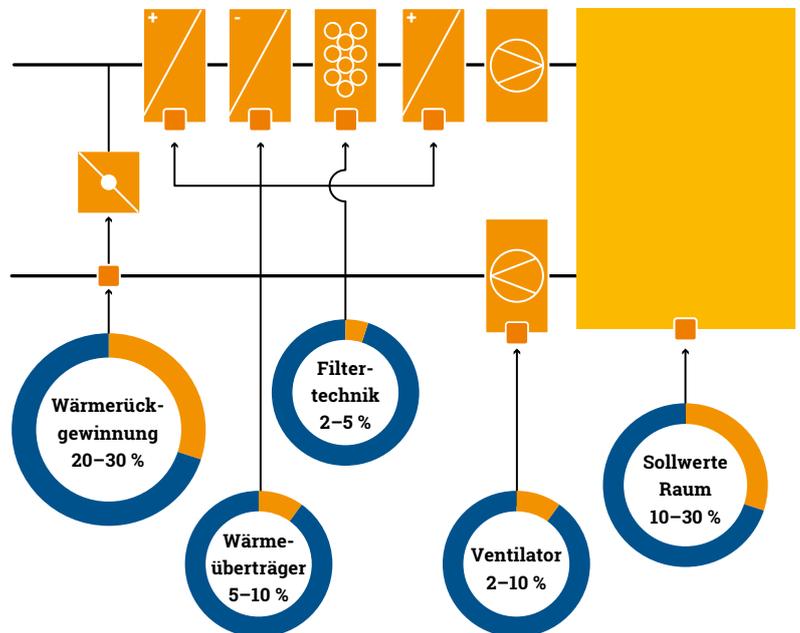


Abbildung 19: Energieeinsparpotenziale einzelner Komponenten im Lüftungssystem.
Quelle: dena

Tipp: Mit der Zeit setzen sich Filter zu, beispielsweise zur Abluftreinigung beim Schmelzprozess. Das führt zu einem erhöhten Energieverbrauch des Ventilators. Die regelmäßige Wartung des Systems ist erforderlich, um zugesetzte Filter, Ablagerungen und Defekte an Komponenten zu identifizieren und zu beheben. Dadurch lassen sich Mehrkosten im Betrieb vermeiden, denn die Energiekosten des Filters betragen bis zu 80 Prozent der Lebenszykluskosten.⁵¹ Der Einsatz selbstreinigender E-Filterssysteme kann eine Alternative zu Gewebefiltern darstellen.

⁵¹ dena (2014b), S. 16

5.3 Pumpensysteme

Energieeffizienzpotenziale bestehen in nahezu jedem Pumpensystem. Pumpen können bei schlechter Wartung bis zu 15 Prozent an Wirkungsgrad verlieren.⁵² Dies kann unterschiedliche Ursachen haben, etwa Korrosion und Ablagerungen in Rohrleitungen, undichte Armaturen, zugesetzte Filter oder ein Komponentenaustausch ohne anschließende Neuberechnung der Anlagenauslegung. Gut aufeinander abgestimmte Systembestandteile sind das Schlüsselement für geringe Gesamtkosten. Energieeffizienzmaßnahmen sollten zunächst dort vorgenommen werden, wo sie die größte Wirkung erzielen, etwa beim Rohrleitungssystem. Schrittweise arbeitet man sich dann zum Anfang der Systemkette vor, bis hin zum Antriebsmotor bzw. der Regelung.

Für den energieeffizienten Einsatz einer Pumpe ist die Betrachtung der sogenannten Pumpenkennlinie wichtig, die das Betriebsverhalten der Pumpe darstellt. Aus der Kennlinie wird ersichtlich, welche Volumenströme die Pumpe bei verschiedenen anstehenden Gegendrücken fördern kann. Die Anlagenkennlinie beschreibt das Verhältnis zwischen dem Förderstrom (Q) und der Förderhöhe (H) des Systems.

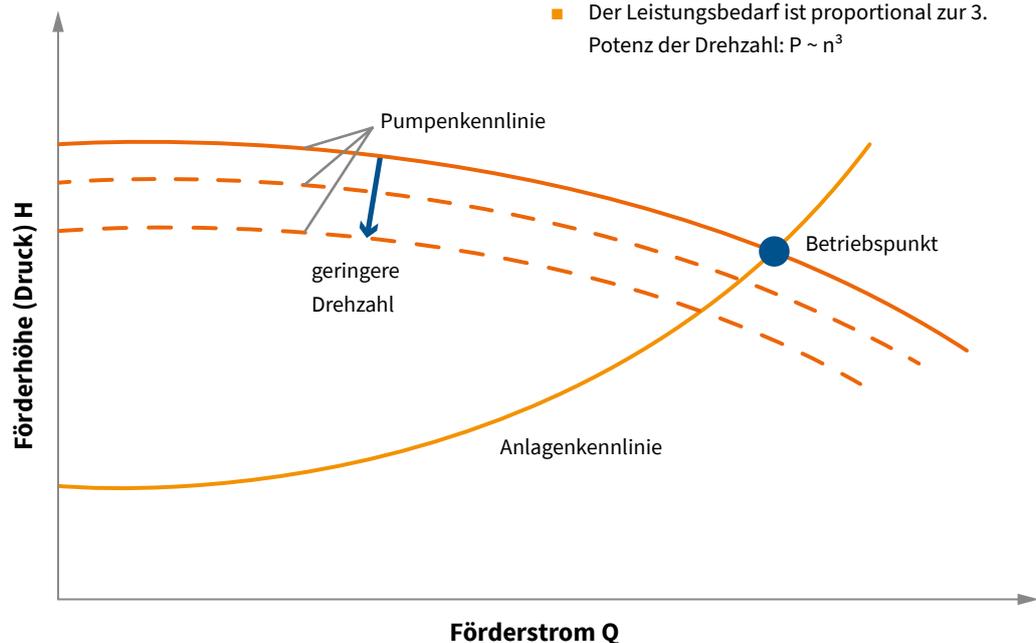


Abbildung 20: Verschieben der Pumpenkennlinie einer Kreiselpumpe durch Drehzahlregelung. Quelle: dena

Tipp: Wenn Kühlwasserpumpen in einer Wasserrückkühlanlage unabhängig vom Kühlbedarf mit voller Drehzahl laufen, wird z. B. beim Warmhalten der Schmelze oder dem Abkühlen des Ofens unverändert mit voller Kühlleistung gearbeitet. Diese unnötig hohe elektrische Leistung führt zu entsprechendem Energieverbrauch. Mit Frequenzumrichtern und einer bedarfsgerechten elektronischen Regelung kann der Energieverbrauch der Wasserrückkühlanlage kostengünstig, kurzfristig und mit geringem Montageaufwand um mehr als 30 Prozent gesenkt werden.⁵³

Der maximal benötigte Förderstrom und die entsprechende Förderhöhe definieren zusammen den Auslegungsbetriebspunkt der Pumpe. Dieser ist bei der Planung so exakt wie möglich festzulegen.

Die meisten Pumpen können mit geeigneter Regelung, wie beispielsweise Drehzahlregelung, einen weiten Betriebsbereich im Q/H-Diagramm abdecken. Über die Pumpendrehzahl n besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Förderstrom Q, Förderhöhe H und Leistung der Pumpe P:

- Der Förderstrom ist proportional zur Drehzahl: $Q \sim n$
- Der Druck ist proportional zum Quadrat der Drehzahl: $H \sim n^2$
- Der Leistungsbedarf ist proportional zur 3. Potenz der Drehzahl: $P \sim n^3$

⁵² dena (2013d), S. 5

⁵³ Dahmen (2016), S. 73

Wird im aktuellen Betrieb beispielsweise nur ein halb so großer Förderstrom benötigt, halbiert man mit einer entsprechenden Regelung die Drehzahl. Dadurch benötigt man nur noch ein Viertel des Drucks und ein Achtel der Leistung. Dieser Zusammenhang zeigt die Bedeutung der Energieeffizienzpotenziale durch Drehzahlregelung. Durch eine solche Optimierung der Regelung können schätzungsweise durchschnittlich 35 Prozent des Energieverbrauchs von Pumpensystemen eingespart werden.⁵⁴

5.4 Druckluftsysteme

Der Einsatz von Druckluft verbraucht in Eisen-, Stahl- und Tempergießereien sehr viel Energie. Der spezifische Anteil des Energieverbrauchs beträgt rund 70 kWh/t, was ca. 3 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs ausmacht.⁵⁵ Entsprechend bietet die Erneuerung bzw. Optimierung der Druckluftanlage inkl. Abwärmenutzung ein sehr großes Potenzial zur Energieeinsparung. Zunächst sollten die Verbraucher, die Druckluft nutzen, identifiziert und im Hinblick auf die Parameter Druck sowie Druckluftmenge und -qualität bewertet werden. Danach können die Systemkomponenten bestmöglich auf die Verbraucher eingestellt und das System als Ganzes optimiert werden.

Die unterschiedlichen Druckluft-Anwendungen benötigen oft verschiedene Druckniveaus. Erfordern einzelne Verbraucher einen höheren Druck, so sollte für sie ein eigenes Netz oder eine dezentrale Druckerhöhung verwendet werden. Durch 1 bar Druckabsenkung können Einsparungen von 6–10 Prozent realisiert werden.⁵⁶

Rund 90 Prozent der elektrischen Antriebsenergie von Druckluftkompressoren fallen in Form von Abwärme an. Diese Abwärme beträgt je nach Art des Kompressors zwischen 60 und 110 °C und kann nutzbar gemacht werden. Sie lässt sich in das Heizsystem einspeisen oder für die Trinkwassererwärmung verwenden.

Bei ölgeschmierten Schraubenverdichtern wird dafür das Öl aus dem Ölkühler über einen Wärmetauscher geführt, der das Heizungswasser bis auf 70 °C erwärmen kann. Die Nutzung zur Trinkwassererwärmung auf 60 °C ist das ganze Jahr über möglich.⁵⁷

Um einen Druckabfall im Netz zu verringern und auf diese Weise Materialabtrag und unnötig hohen Energieverbrauch zu vermeiden, sollte auf folgende Aspekte geachtet werden:

- Leckagen identifizieren und beseitigen
- Ablagerungen beseitigen
- Kurze Wege: Ringleitung statt Sternverteilung
- Übermäßig viele Rohrbiegungen vermeiden, z. B. Spiralschläuche in der Gussbearbeitung
- In großzügig dimensionierten Leitungen rostfreie Werkstoffe verwenden

Zusätzlich zu den oben genannten Aspekten sollten selbstentlüftende Schnellkupplungen aus Messing vermieden werden, da diese Druckverluste von 0,6–1,3 bar Fließdruck verursachen. Moderne Kupplungen nach dem Prinzip eines Kugelhahns reduzieren diese Verluste auf ca. 0,2 bar.⁵⁸ In einem gut ausgelegten Druckluftnetz betragen die Verluste innerhalb der einzelnen Leitungsabschnitte maximal 0,03 bar.⁵⁹



Innovatives Verfahren

Bei über Jahre gewachsenen Druckluftnetzen in Gießereien kann es hohe Leckageraten geben. Innovative Produkte tragen zur Automatisierung und Digitalisierung der Ortung sowie der Zustandsüberwachung bei. Zum Einsatz kommen hier flexible Module, die den Verbrauch überwachen, die Druckluft an produktionsfreien Tagen absperren und ein definiertes Stand-by-Drucklevel halten. Nach dem Absperren kann eine automatische Ortung und Erkennung von Leckagen erfolgen. Dadurch können i. d. R. 20–30 Prozent eingespart werden.⁶⁰

35%

des Energieverbrauchs von Pumpensystemen können durch eine Optimierung der Regelung durchschnittlich eingespart werden.

Durch 1 bar Druckabsenkung können Einsparungen von

6–10%

realisiert werden.

⁵⁴ dena (2013d), S. 17

⁵⁵ Fraunhofer IWU (2015), S. 21

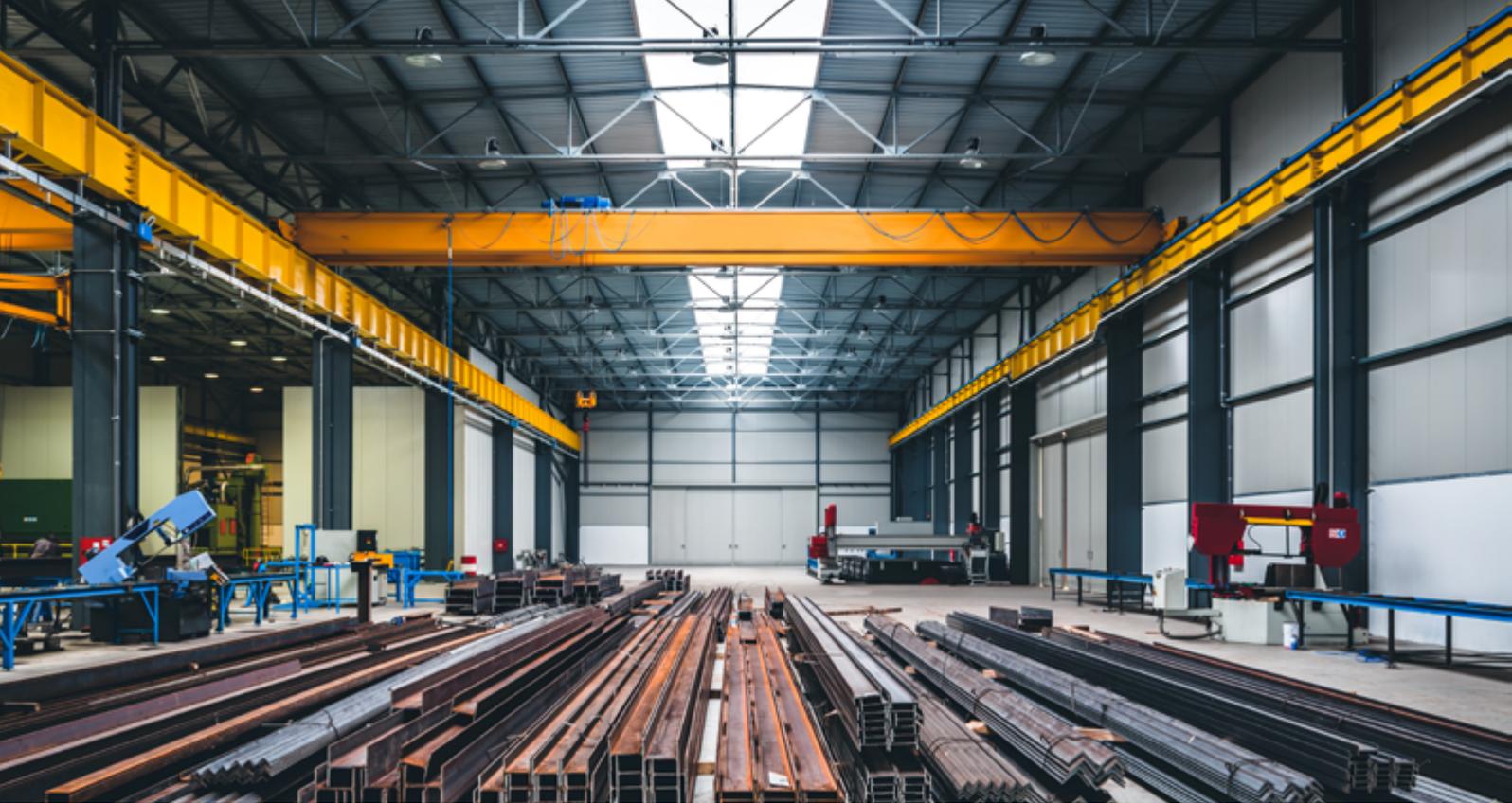
⁵⁶ Franke (2019), S. 92

⁵⁷ Bosse et al. (2016), S. 40

⁵⁸ Banse (2012), S. 60

⁵⁹ dena (2013d), S. 22

⁶⁰ Franke (2019), S. 92



Bis zu
70%

Energie- und Kosteneinsparungen lassen sich innerhalb des Beleuchtungssystems erzielen, wenn alle Potenziale einer technischen Umrüstung voll ausgeschöpft werden.

5.5 Beleuchtungssysteme

Die Beleuchtung ist in der Gießerei-Industrie für 1–4 Prozent des Gesamtstromverbrauchs verantwortlich. Energieeffizienzmaßnahmen in diesem Bereich haben den Vorteil, dass sie während des Betriebs und mit kurzen Amortisationszeiten umgesetzt werden können. Der Energieverbrauch lässt sich durch den Einsatz hocheffizienter Leuchtmittel wie z. B. LED-Lampen und Lampen mit Reflektoren und elektronischen Vorschaltgeräten deutlich reduzieren.

Die Optimierung einer Beleuchtungsanlage erzielt dann das beste Ergebnis, wenn möglichst alle Komponenten mit einbezogen werden: in der Lichtlenkung optimierte Leuchten, Lampen mit hoher Lichtausbeute, elektronische Vorschaltgeräte mit hohen Wirkungsgraden, intelligente Lichtsteuerung sowie eine optimale Tageslichtnutzung. Werden alle Potenziale einer technischen Umrüstung voll ausgeschöpft, so lassen sich dadurch innerhalb des Beleuchtungssystems Energie- und Kosteneinsparungen von bis zu 70 Prozent erzielen.⁶¹

An den Schmelzöfen von Gießereien herrschen extreme Bedingungen. Die Beleuchtung muss neben der Hitze zusätzlich Belastungen wie Staub oder Feuchtigkeit aushalten. Oft zögern

Gießereien angesichts dieser Produkt-Risiken, die entsprechenden Investitionen zu tätigen. Doch auch für anspruchsvolle Einsatzbereiche sind innovative Produkte und Lösungen vorhanden. LED-Industrieleuchten sind robust und für Umgebungstemperaturen von bis zu +70 °C ausgelegt. Durch Mietkonzepte bzw. Contracting entfallen Anschaffungs- und Reparaturkosten sowie der Wartungsaufwand. Ein zusätzlicher Vorteil besteht darin, dass die LED-Industrieleuchten am Ende der Mietzeit i. d. R. übernommen werden können.⁶²

Tipp: Oftmals werden im Bereich der Schmelzöfen nach wie vor die veralteten Halogen-Metall- und Quecksilberdampf Lampen verwendet. Das führt zu hohen Energie- und Wartungskosten. Die Umrüstung auf hitzebeständige LEDs kann hier bis zu 35 Prozent der Energie einsparen. Die bei der Umrüstung anfallenden Investitionskosten können über Mietkonzepte abgedeckt werden.⁶³

⁶¹ dena (2014a), S. 4

⁶² Deutsche Lichtmiete (2018), S. 94

⁶³ Deutsche Lichtmiete (2018), S. 94

06

FINANZIELLE FÖRDERUNG

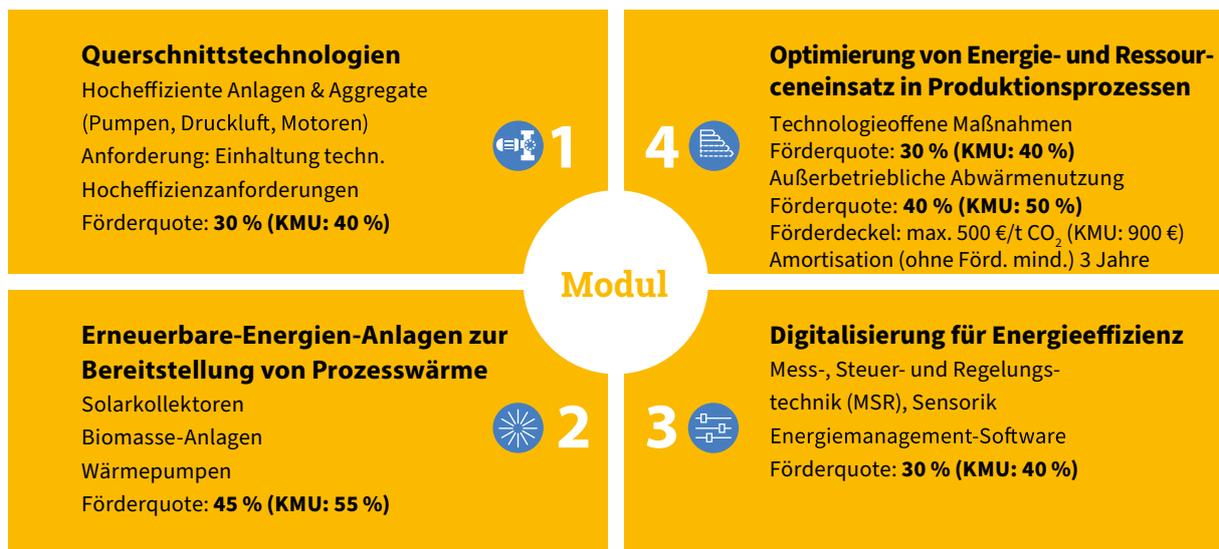


Abbildung 21: Die vier Module der Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft. Quelle: dena

Investitionen in energieeffiziente Technologien und Prozesse werden vom Staat umfangreich gefördert. Ein unbürokratisches Förderprogramm mit attraktiven Förderquoten stellt die Bundesförderung für Energie- und Ressourceneffizienz in der Wirtschaft dar. Sie richtet sich an alle Branchen, Betriebsgrößen und Investitionsvorhaben zur Einsparung von Energie und Ressourcen bzw. CO₂-Emissionen. Bei der zu beantragenden Förderung steht entweder ein direkter Investitionszuschuss beim BAFA oder ein Kredit mit Tilgungszuschuss bei der KfW zur Wahl. Eine weitere Förderoption bietet der Förderwettbewerb von VDI/VDE-IT, über den ebenfalls direkte Investitionszuschüsse ausgezahlt werden.

Insgesamt stehen vier Fördermodule zur Verfügung (siehe Abbildung 21). Bei den für Gießereien relevanten Modulen 1, 3 und 4 beträgt der Fördersatz jeweils 30 Prozent. Bei Maßnahmen zur außerbetrieblichen Abwärmenutzung beträgt der Fördersatz sogar 40 Prozent, während Prozesswärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien mit 45 Prozent der förderfähigen Investitionsausgaben gefördert wird. Kleine und mittlere Unternehmen erhalten zusätzlich einen Bonus in Höhe von 10 Prozent auf die förderfähigen Kosten.

Die Förderung ist bei Querschnittstechnologien auf 200.000 Euro pro Vorhaben, in den anderen

Modulen auf maximal 15 Mio. Euro pro Vorhaben begrenzt. Die Höhe des Darlehens kann bis zu 100 Prozent der förderfähigen Investitionskosten betragen, i. d. R. bis zu 25 Mio. Euro pro Vorhaben.

Der Förderwettbewerb beinhaltet die gleichen Fördertatbestände, bietet aber die Chance auf einen höheren Fördersatz. Dieser kann bei bis zu 60 Prozent liegen. Die Förderentscheidung orientiert sich an der sogenannten Fördereffizienz als Wettbewerbskriterium. Je höher die Einsparung und je geringer die beantragte Förderung ist, desto höher ist die Chance, innerhalb einer Wettbewerbsrunde zu den geförderten Projekten zu gehören. Die Höhe der Förderung ist auf maximal 10 Mio. Euro pro Vorhaben begrenzt.

Tipp: Weitere Bundes- sowie Landesförderprogramme enthält die Förderbank des BMWi. Für die Gießereibranche ist hier insbesondere das [Förderprogramm der KfW „Klimaschutzoffensive für den Mittelstand“](#) relevant, in dessen Rahmen auch die Herstellung klimafreundlicher Technologien wie beispielsweise Antriebskomponenten gefördert wird.



Tipp: Im Rahmen der „Bundesförderung der Energieberatung für Nichtwohngebäude, Anlagen und Systeme“ (EBN) werden Zuschüsse in Höhe von bis zu 80 Prozent für qualifizierte und anbieterunabhängige Energieeffizienzberatungen in KMU gewährt.

Tipp: Praktische Hinweise zur Bundesförderung Energieeffizienz, eine Informationsgrafik zu diesem Förderprogramm sowie eine Arbeitshilfe zur Ermittlung der förderfähigen Investitionsausgaben finden sich auf der dena-Projektwebsite [Leuchttürme CO₂-Einsparung](#).

Literaturverzeichnis

Banse, Stefanie (2012): Effizienzschraube Druckluft. Drucklufttechnik von Atlas Copco leistet Beitrag zur ISO 50001 und DIN EN 16247. In: GIESSEREI 104. 12/2017.

BDG – Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (2013a): Energieeffiziente Gattierung und Einfluss der Chargenzusammensetzung auf die Energieeffizienz. Düsseldorf.

BDG – Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (2013b): Feuerfeste Pfannenauskleidung zur Verbesserung der Energieeffizienz. Düsseldorf.

BDG – Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (2013c): Lastmanagement als Kontrollsystem für den Energieeinsatz und Lastspitzen von Induktionsöfen. Düsseldorf.

BDG – Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (2013d): Pfannenvorwärmung mittels Erdgas-Sauerstoff-Technologie. Düsseldorf.

BDG – Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (2013e): Pfannenvorwärmung mit Porenbrennern. Düsseldorf.

BDG – Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (BDG) (2020): Eigene Statistik. Düsseldorf.

BDG – Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (2021): CO₂-Leitfaden – Einstieg in die Ermittlung eines CO₂-Fußabdrucks in Gießereien. Düsseldorf.

Bosse, Manuel, Dippel, Martina, Kaczinsky, Thomas, Leischner, Frank und Steinhäuser, Mirko (2016): Prozesskettenorientierte Ermittlung der temperaturabhängigen Energieeinsätze und Abwärmepotenziale in der Gießereiindustrie. Unveröffentlichter Ergebnisbericht.

Bosse, Manuel (2018): DIN ISO 50003: Neue Pflicht zum Nachweis von Energieeffizienzmaßnahmen in Gießereien. In: GIESSEREI 105. 02/2018.

Dahmen, Michael (2016): Intelligentes, energieeffizientes Wasserrückkühlsystem für Induktionsschmelzanlagen. In: GIESSEREI 103. 10/2016.

dena – Deutsche Energie-Agentur (2012): Handbuch Lastmanagement. Vermarktung flexibler Lasten: Erlöse erwirtschaften – zur Energiewende beitragen.

dena – Deutsche Energie-Agentur (2013a): Ratgeber Druckluft und Druckluftsysteme. In: dena (Hrsg.), Handbuch energieeffiziente Querschnittstechnologien. Berlin.

dena – Deutsche Energie-Agentur (2013b): Ratgeber Energiemanagement. In: dena (Hrsg.), Handbuch energieeffiziente Querschnittstechnologien. Berlin.

dena – Deutsche Energie-Agentur (2013c): Ratgeber Motoren und Antriebssysteme. In: dena (Hrsg.), Handbuch energieeffiziente Querschnittstechnologien. Berlin.

dena – Deutsche Energie-Agentur (2013d): Ratgeber Pumpen und Pumpensysteme. In: dena (Hrsg.), Handbuch energieeffiziente Querschnittstechnologien. Berlin.

dena – Deutsche Energie-Agentur (2014a): Ratgeber Beleuchtung. In: dena (Hrsg.), Handbuch energieeffiziente Querschnittstechnologien. Berlin.

dena – Deutsche Energie-Agentur (2014b): Ratgeber Lüftung und Klimatisierung. In: dena (Hrsg.), Handbuch energieeffiziente Querschnittstechnologien. Berlin.

Deutsche Lichtmiete (2018): Hitzebeständige LED-Beleuchtung zur Miete. In: GIESSEREI 105. 05/2018.

Dötsch, Erwin (2013): Induktives Schmelzen und Warmhalten: Grundlagen, Anlagenaufbau, Verfahrenstechnik. Essen.

Dötsch, Erwin, Ibach, Robert, Rische, Marco und Yildir, Yilmaz (2016): Energieeffizienz im induktiven Schmelzbetrieb. Einfluss der leistungsoptimierten Fahrweise. In: GIESSEREI 103. 02/2016.

Dötsch, Erwin, Yildir, Yilmaz (2018): Induktionstechnologie für große Schmelzleistungen mit hoher Energieeffizienz. In: GIESSEREI 105. 03/2018.

Effizienz-Agentur NRW (2018): Modulare Fertigungslinie ermöglicht ressourcenschonende Produktion. Duisburg.

Felde, Jörg tom, König, Wolfgang, Kujath Marc, Michealis, Chris, Riedel, Eric, Sander, Bastian, Scharf Stefan, Seidel, Holger, Stein, Norbert, Stein, Hagen und Volkert, Jochen (2019): Innovatives Technologie- und Anlagenkonzept für eine nachhaltige Prozessgestaltung in Gießereien. In: GIESSEREI SPECIAL. 01/2019.

Franke, Simone (2019): Taschenbuch der Gießerei-Praxis 2020. Berlin.

Franke, Simone (2020): Taschenbuch der Gießerei-Praxis 2021. Berlin.

Fraunhofer IWU (2015): Energieeffizienzpotenzial in der Planung am Beispiel der Gießerei-Industrie. Studie im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft. Chemnitz, Dresden, Augsburg, Zittau.

Gassel, Christine (2012): Spezialschmelzofen spart Zeit und Energie mit Abwärme. In: GIESSEREI 99. 10/2012.

Gerhards, Ulrike, Renftle, Georg und Steffen, Niklaus (2019): Energiesparen mit verlustarmen Induktionsofen- spulen. In: GIESSEREI 106. 06/2019.

Hirschberg, Sven, Pröbstele, Günther, Ringleb, Ansgar, Schlüter, Wolfgang, Schneider, Dietrich und Wolfram, Stephan (2013): Rationeller Energieeinsatz in der aluminiumverarbeitenden Industrie. In: GIESSEREI 100. 06/2013.

Ketelaer, Thomas (2018): Lastmanagement im Gießereisektor. In: GIESSEREI 105. 03/2018.

LfU – Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (2005): Effiziente Energieverwendung in der Industrie – Teilprojekt Metallschmelzbetriebe. Effiziente Energienutzung in Nicht-Eisen-Metall-Schmelzbetrieben. Augsburg.

Möldner, Tobias (2018): Steigerung der Energieeffizienz beim Aluminiumschmelzen. In: GIESSEREI 105. 03/2018.

SolarNext (2019): chilli® Technologie. Unveröffentlichte Powerpoint-Präsentation. Bernau am Chiemsee.

Tanneberger, Ralf (2017): Mit Padicon steigenden Netzkosten entgegenwirken. In: GIESSEREI 104. 12/2017.

UBA – Umweltbundesamt (2004): Merkblatt über Beste Verfügbare Techniken in der Gießereiindustrie. Mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung. Dessau.

UBA – Umweltbundesamt (2012): Innovative Techniken: Beste verfügbare Techniken (BVT) in ausgewählten industriellen Bereichen. Teilvorhaben 3: Gießereien. Dessau-Roßlau.

UBA – Umweltbundesamt (2013): Ermittlung von branchenspezifischen Potentialen zum Einsatz von erneuerbaren Energien in besonders energieintensiven Industriesektoren am Beispiel der Gießerei-Industrie. Dessau-Roßlau.

Umweltbundesamt GmbH (2012): Stand der Technik der österreichischen Gießereien. Gesetzliche Rahmenbedingungen, technische Möglichkeiten und Gießereibetriebe in Österreich. Wien.

Wamsbach, Roman (2017): Windgebläse aus einem Guss. Moderne Antriebslösung spart Energie bei der Ofenbefeuerung in der Gießerei-Industrie. In: GIESSEREI 104. 07/2017.

Checkliste	Seite	Erledigt	Prüfen	irrelevant
Systematisch Energie Sparen				
Umsetzung eines Energiemanagementsystems	11	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nutzung einer Software für das Energiemonitoring	13	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Schulung der Mitarbeitenden zu den am Arbeitsplatz relevanten Energieeffizienzmaßnahmen	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einrichtung eines Vorschlagwesens für Mitarbeitende	16	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einberufung eines Teams zur kontinuierlichen Verbesserung der Produkte unter Ökodesignanforderungen	17	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prozesstechnologien in der Produktion				
Überprüfung der Möglichkeit einer Flüssigaluminiumanlieferung	21	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Steigerung der Energieeffizienz am Induktionsofen:				
■ Einsatz verlustarmer Induktionsofenspulen (Netzfrequenz-Induktionstiegelofen)	23	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
■ Einsatz der Mittelfrequenztechnik	23	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
■ Einsatz moderner IGBT-Frequenzumrichtertechnik	24	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nutzung von Oxy-Fuel-Diffusionsbrennern oder Porenbrennern zum Vorheizen der Pfannen	24	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einsatz von feuerfester Pfannenauskleidung	25	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nutzung von Abwärmequellen				
Ermittlung der Abwärmequellen und -potenziale	30	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einführung eines Umluftbetriebs bei der Abluftbehandlung	35	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Wärmerückgewinnung aus der Fortluft mittels Wärmetauschern (ggf. mit Wärmepumpe)	35	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nachrüstung einer Dämmung an wärmeführenden Bauteilen, Rohrleitungen und Anlagen	32	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Trennung der Kühlung für den Induktionsofen von der Leistungselektrik zur Abwärmee-nutzung und der dadurch erreichten höheren Temperatur der Induktionsofenkühlung	34	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einführung einer prozessinternen Abwärmee-nutzung zur:				
■ Brennerluftvorwärmung	33	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
■ Vorwärmung des zu erheizenden Gutes	33	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einführung einer betriebsinternen Abwärmee-nutzung zur:				
■ Heizung der Gebäude	32	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
■ Trinkwarmwasserbereitung	32	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
■ Kälteerzeugung	32	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
■ Trocknung von angelieferten feuchten Schrott oder Gussteilen	34	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nutzung von Abwärmee-verstromung inklusive Kraft-Wärme-Kopplung – ggf. durch Einbeziehen eines Contractors zur Umsetzung	36	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einführung einer außerbetrieblichen Abwärmee-nutzung	32 f.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Querschnittstechnologien				
Bedarfsgerechter Betrieb der Elektromotoren mit Leistungssteuerung für Teillastbetrieb	39	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Einsatz von hocheffizienten Elektromotoren des Effizienzniveaus IE 3 oder IE 4	38 f.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Regelmäßige Wartung von Filtern und Wärmeübertragern im Ventilatorsystem	40	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Kontrolle und ggf. Senkung des Druckniveaus aller Verbraucher (bei Bedarf Errichtung eines separaten Druckluftnetzes für Großverbraucher)	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Überprüfung des Druckluftsystems auf Leckagen bei Erzeugung und Aufbereitung, Verteilung, Anschlüssen und Anwendern	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Abwärmee-nutzung der Druckluftanlage	42	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Erneuerung des Beleuchtungssystems durch hitzebeständige LEDs	43	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Impressum

Herausgeber:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin
T: +49 (0)30 66 777-0
F: +49 (0)30 66 777-699
info@dena.de
www.dena.de

In Kooperation mit:

BDG – Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie e. V.
Hansaallee 203
40549 Düsseldorf
T: +49 (0) 211 68 71-0
F: +49 (0) 211 68 71-333
info@bdguss.de
www.guss.de

Autorinnen und Autoren:

Armin Kühn, Teamleiter, dena
Janica Bortloff, dena
Jens Jäger, dena
Aaron Sailer, dena
Tobias Rennings, BDG
Manuel Bosse, BDG Service GmbH
Christian Berg, Michael Schmidt, Rainer Schnur, Uniper Technologies GmbH (Abschnitt 4.3)

Redaktion:

Oliver Jorzik
Barbara Schroeder
Dr. Lena Thomsen

Konzeption & Gestaltung:

Heimrich & Hannot GmbH

Bildnachweise:

Titel – shutterstock.com/Stockonya, S. 3 – dena/photothek, S. 3 – Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie, S. 14 – shutterstock.com/Gorodenkoff, S. 21 – TRIMET Aluminium SE, S. 25 – promeos GmbH, S. 31 – shutterstock.com/Mark Agnor, S. 34 – shutterstock.com/sondem, S. 32 – Bosch Thermotechnik GmbH, S. 43 – shutterstock.com/Zivica Kerkez

Stand:

11/2021

Bitte zitieren als:

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2021): „Systematisch Energieeffizienz steigern und CO₂-Emissionen senken in der Gießerei-Industrie“

Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Die Veröffentlichung dieser Publikation erfolgt im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie. Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) unterstützt die Bundesregierung in verschiedenen Projekten zur Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele im Rahmen der Energiewende.