Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl (UFOPLAN) *3712 44 347*

Ermittlung von branchenspezifischen Potentialen zum Einsatz von erneuerbaren Energien in besonders energieintensiven Industriesektoren am Beispiel der Gießerei-Industrie

von

Dipl.-Kfm. Manuel Bosse, IfG Institut für Gießereitechnik gGmbH

Dipl.-Ing. Edmund Frost, IfG Institut für Gießereitechnik gGmbH

Dipl.-Ing. Dipl.-Volksw. Mandana Hazrat, Ecofys Germany GmbH

Dipl.-Ing. Jan-Martin Rhiemeier, Ecofys Germany GmbH

Dr.-Ing. Horst Wolff, IfG Institut für Gießereitechnik gGmbH

IfG Institut für Gießereitechnik gGmbH, Sohnstr. 70, 40237 Düsseldorf

Ecofys Germany GmbH, Am Wassermann 36, 50829 Köln

IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTES

Abschlussdatum *Dezember 2013*

Berichtskennblatt

Berichtsnummer	UBA-FB 00
Titel des Berichts	Ermittlung von branchenspezifischen Potentialen zum Einsatz von erneuerbaren Energien in besonders energieintensiven Industriesektoren am Beispiel der Gießerei-Industrie
Autor(en) (Name, Vorname)	Dipl.-Kfm. Manuel Bosse, IfG Institut für Gießereitechnik gGmbH Dipl.-Ing. Edmund Frost, IfG Institut für Gießereitechnik gGmbH Dipl.-Ing. Dipl.-Volksw. Mandana Hazrat, Ecofys Germany GmbH Dipl.-Ing. Jan-Martin Rhiemeier, Ecofys Germany GmbH Dr.-Ing. Horst Wolff, IfG Institut für Gießereitechnik gGmbH
Durchführende Institution (Name, Anschrift)	IfG Institut für Gießereitechnik gGmbH, Sohnstr. 70, 40237 Düsseldorf Ecofys Germany GmbH, Am Wassermann 36, 50829 Köln
Fördernde Institution	Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau
Abschlussjahr	2013
Forschungskennzahl (FKZ)	3712 44 347
Seitenzahl des Berichts	208
Zusätzliche Angaben	
Schlagwörter	Erneuerbare Energie; Gießerei; Deutschland

Report Cover Sheet

Report No.	UBA-FB 00
Report Title	Analysis of the renewable energy potential in the German foundry industry
Author(s) (Family Name, First Name)	Dipl.-Kfm. Manuel Bosse, IfG Institut für Gießereitechnik gGmbH Dipl.-Ing. Edmund Frost, IfG Institut für Gießereitechnik gGmbH Dipl.-Ing. Dipl.-Volksw. Mandana Hazrat, Ecofys Germany GmbH Dipl.-Ing. Jan-Martin Rhiemeier, Ecofys Germany GmbH Dr.-Ing. Horst Wolff, IfG Institut für Gießereitechnik gGmbH
Performing Organisation (Name, Address)	IfG gGmbH, Sohnstr. 70, 40237 Düsseldorf Ecofys Germany GmbH, Am Wassermann 36, 50829 Köln
Funding Agency	Umweltbundesamt Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau
Report Date (Year)	2013
Project No. (FKZ)	3712 44 347
No. of Pages	208
Supplementary Notes	
Keywords	Renewable Energy; Foundry; Germany

Kurzbeschreibung

Der Energieverbrauch sowie der spezifische Verbrauch, angegeben in Energieeinsatz je Tonne guter Guss, ist für Gießereien recherchiert und berechnet worden. Es gibt keine technischen Probleme Strom einzusetzen, der als erneuerbare Energie erzeugt worden ist, oder Biogas einzusetzen; etwa 97 – 98 % des Energiebedarfs kann in den meisten Gießereien mit erneuerbarer Energie gedeckt werden.

Wirtschaftlich gesehen ist es möglich, einen Teil der benötigten Gesamtenergie als erneuerbare Energie einzusetzen. Auch ist für viele Gießereien empfehlenswert, eine eigene Windkraftanlage zu betreiben.

Zukünftig wird der Verbrauch von erneuerbarer Energie in Gießereien auch davon abhängen, inwieweit die Gießereiprozesse zeitlich flexibel durchgeführt werden können – dies hängt auch von der Flexibilität der Beschäftigten ab.

Abstract

Total foundry energy consumption as well as specific energy consumption data, e. g. energy consumption per kilogram good castings, has been calculated.

There is no technical problem using electricity generated in renewable sources or using biogas in foundries; in most foundries roughly 97 – 98 % of the total energy can be green energy.

Economically it is possible to substitute a share of the total energy a foundry needs. Also for many foundries it will be beneficial having their own wind power plant.

In future the consumption of green energy in foundries will also depend on the flexibility of the foundry processes and of the foundry employees.

INHALTSVERZEICHNIS

Berichtskennblatt 2

Report Cover Sheet 3

Kurzbeschreibung 4

Abstract 4

Inhaltsverzeichnis 5

Abbildungsverzeichnis 9

Tabellenverzeichnis 12

1 Zusammenfassung 15

2 Summary 19

3 Einleitung 22

4 Ziel und methodisches Vorgehen 23

5 Die deutsche Gießereiindustrie und ihr Energieeinsatz 25

5.1 Übersicht über die deutsche Gießereiindustrie und Gussproduktion 25

5.2 Übersicht über den Energieeinsatz in deutschen und europäischen Gießereien 29

6 Erneuerbare Energien in Deutschland – Status Quo und Entwicklung 32

6.1 Windenergie 33

6.2 Photovoltaik 34

6.3 Solarthermie 34

6.4 Biomasse 35

6.5 Biogas 35

6.6 Wasserkraft 36

6.7 Geothermie 36

6.8 Abgleich der örtlichen Verteilung erneuerbarer Energien (Windkraft und PV) und Gießereien in der BRD 39

6.9 Möglichkeiten zur Stromspeicherung angesichts volatiler Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien 44

7 Energieeinsatz im Gießereiprozess 47

7.1 Verteilung des Energieeinsatzes in Gießereien 47

7.2 Fertigungsbereiche in Gießereien – derzeit und zukünftig 51

7.3 Entwicklung des zukünftigen Energieeinsatzes in Gießereien 53

7.4 Einsatzmöglichkeiten der erneuerbaren Energien in der Gießereiindustrie 55

7.4.1 Methodologie zur Bestimmung des Einsatzpotenzials erneuerbarer Energien in der Gießereiindustrie 57

7.5 Gegenwärtige regenerative Energienutzung in der Gießerei-Industrie 57

7.6 Schmelzbetrieb 64

7.6.1 Kupolofen 64
7.6.2 Induktionsofen 68
7.6.3 Lichtbogenofen 70
7.6.4 Übersicht über Schmelzöfen im Eisen- und Stahlguss 71
7.6.5 Brennstoffbeheizte Öfen im Nichteisenmetallguss 75
7.6.6 Elektrisch beheizte Schmelzöfen (im Nichteisenmetallguss) 76
7.6.7 Pfannenvorbehandlung, -wärmung 80
7.6.8 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien im Schmelzbetrieb 80
7.7 Form- und Kernherstellung 83
7.7.1 Nassguss-Verfahren 84
7.7.2 Formverfahren mit chemischen Bindemitteln 85
7.7.3 Formverfahren ohne Bindemittel 85
7.7.4 Herstellung von Serienkernen 85
7.7.5 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien in der Form- und Kernherstellung 91
7.8 Gießen bis Ausleeren 92
7.8.1 Nassguss-Verfahren 92
7.8.2 Verfahren mit chemischen Bindemitteln 92
7.8.3 Kokillengießen, Schleudergießen 92
7.8.4 Druckgießen 94
7.8.5 Feingießen und Genaugießen 98
7.8.6 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien im Fertigungsschritt Gießen 98
7.9 Formstoffaufbereitung und Formstoffregenerierung 99
7.9.1 Bentonitgebundener Formstoff 99
7.9.2 Chemisch gebundener Formstoff 101
7.9.3 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien in der Formstoffaufbereitung und Formstoffregenerierung 101
7.10 Gussnachbehandlung und Wärmebehandlung 102
7.10.1 Strahlen 102
7.10.2 Putzen von Rohguss 102
7.10.3 Wärmebehandlung 102
7.10.4 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien in der Putzerei und bei der Wärmebehandlung 102
7.11 Be- und Entlüftung, Luftreinhaltung 103
7.11.1 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien in der Be- und Entlüftung, Luftreinhaltung 104
7.12 Innerbetrieblicher Transport 104

7.12.1 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien im innerbetrieblichen Transport 104
7.13 Gebäudetechnik, Warmwasser, Beleuchtung 104
8 Potenzialanalyse erneuerbare Energien anhand von sechs Modellgießereien 109
8.1 Gießereien mit Sandguss-Verfahren 109
8.1.1 Gießereien mit Serienfertigung und automatischer Formanlage 109
8.1.1.1 Modellgießerei 1: Eisengießerei mit Serienfertigung 110
8.1.1.2 Modellgießerei 2: Aluminium- oder Messinggießerei mit Serienfertigung 115
8.1.2 Gießereien mit Einzelstück oder Kleinfertigung 118
8.1.2.1 Modellgießerei 3: Eisengießerei mit Einzelstück oder Kleinserienfertigung 120
8.1.2.2 Modellgießerei 4: Stahlgießerei mit Einzelstück oder Kleinfertigung.....123
8.2 Gießereien mit Dauerform-Verfahren 127
8.2.1 Modellgießerei 5: Kokillengießerei 129
8.2.2 Modellgießerei 6: Druckgießerei 132
8.3 Zeitliche Flexibilität in der Gießereiproduktion und ihr Einfluss auf einen intensiveren Einsatz von Erneuerbarer Energie 136
8.3.1 Art der Flexibilität nach ihrem Umfang 137
8.3.2 Art der Flexibilität nach technischen, wirtschaftlichen oder sozialen Kriterien 138
8.3.3 Einfluss von erhöhter zeitlicher Flexibilität auf die Wirtschaftlichkeit einer Gießerei mit durchschnittlicher Größe 140
9 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Einsatzes erneuerbarer Energien in der Gießereiindustrie 143
9.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Einsatzes erneuerbarer Energien in der Gegenwart 143
9.1.1 Strom 143
9.1.1.1 Aktuelle Preise für konventionellen Strommix für industrielle Verbraucher 143
9.1.1.2 Ökostrom.....144
9.1.2 Gas 148
9.1.2.1 Erdgas 148
9.1.2.2 Biogas.....148
9.1.2.3 Flächenverbrauch bei vollständiger Deckung des Gasverbrauchs der deutschen Gießereiindustrie durch Biomethan.....149
9.1.3 Mehrkosten des Einsatzes erneuerbarer Energien in der Gegenwart 150
9.1.3.1 Option Zukauf von EE - Datengrundlage.....150
9.1.3.2 Option Zukauf EE - Darstellung der Ergebnisse und Diskussion 151
9.1.3.3 Exkurs Windenergie: Restriktionen und Einspeisevergütung 153
9.1.3.4 Option Eigenerzeugung EE - Datengrundlage 155

9.1.3.5 Option Eigenerzeugung EE – Darstellung der Ergebnisse und Diskussion 156
9.1.3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse 159
9.1.3.7 Auswirkung einer zusätzlichen Steuerabgabe bei Eigenerzeugung EE 164
9.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Einsatzes erneuerbarer Energien in der Zukunft 170
10 Transfer und Umsetzung der Ergebnisse der Ausarbeitung zur Förderung des Einsatzes von Erneuerbarer Energie in Gießereien 174
11 Zusammenfassung und Ausblick 176
12 Quellenverzeichnis 183

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Spezifischer Energieeinsatz in europäischen Gießereien, hier: Eisengießereien 16
Abbildung 2: Specific energy consumption in European foundries, here iron foundries 20
Abbildung 3: Energy share inside European iron, steel or non ferrous foundries 20
Abbildung 4: Betriebsgrößenstruktur in der Deutschen Gießerei-Industrie [BDGUSS 2012] 25
Abbildung 5: Werkstoffstruktur in der Deutschen Gießerei-Industrie [BDGUSS 2012] 27
Abbildung 6: Gussproduktion in der Deutschen Gießerei-Industrie 28
Abbildung 7: Produktivität in der Deutschen Gießerei-Industrie 28
Abbildung 8: Abnehmerstruktur in der Deutschen Gießerei-Industrie [BDGUSS 2012] 29
Abbildung 9: Spezifischer Energieeinsatz in europäischen Eisengießereien 29
Abbildung 10: Spezifischer Energieeinsatz in europäischen Stahlgießereien 30
Abbildung 11: Spezifischer Energieeinsatz in europäischen Nichteisenmetallgießereien 30
Abbildung 12: Anteile der erneuerbaren Energien am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland 2012; [AGEE Stat 2013] 32
Abbildung 13: Struktur der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 2012; [AGEE Stat 2013] 33
Abbildung 14: Struktur der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 2012; [AGEE Stat 2013] 33
Abbildung 15: Örtliche Verteilung der Potenziale für die Geothermienutzung in Deutschland; Quelle: [AGEE 2010] 38
Abbildung 16: links: Deutschlandkarte mit örtlicher Aufteilung in die verschiedenen Postleitzahlgebiete Quelle: [IfG]; rechts: Deutschlandkarte mit Aufteilung nach Bundesländern 39
Abbildung 17: Örtliche Verteilung der Potenziale für Windenergienutzung und Verteilung der installierten Windenergieanlagen; Quelle [links: AGEE 2010; rechts: Fraunhofer IWES 2013] 41
Abbildung 18: Übersicht über die flächennormierte, kumulierte PV-Kapazität in Deutschland; 43
Abbildung 19: Technologien zur Stromspeicherung - Fähigkeiten, Kosten, Reifegrad [BCG 2013] 45
Abbildung 20: Verteilung des Energieeinsatzes in Eisen-, Stahl- und Tempergießereien [Energieeffiziente Gießerei 2009] 47
Abbildung 21: Verteilung des Energieeinsatzes in fünf deutschen Eisengießereien, angegeben in % [Energieeffiziente Gießereibetrieb 2009] 48
Abbildung 22: Jahresstromverbrauch in einer mittelgroßen, elektrisch schmelzenden Eisengießerei [Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009] 50
Abbildung 23: Lernkurvenbasierte Prognose von Stromgestehungskosten erneuerbarer Energien in Deutschland bis 2030; Quelle: [Fraunhofer ISE 2012] 56
Abbildung 24: Eine netzparallele Windkraftanlage am Gießereigelände 60

Abbildung 25: Eine Windkraftanlage zur Eigenstromerzeugung eines Gießerei-Standorts..... 60
Abbildung 26: Eine Photovoltaikanlage auf den Produktionsgebäuden einer Gießerei..... 62
Abbildung 27: Solarthermie an einem Verwaltungsgebäude einer Gießerei 63
Abbildung 28: Wasserkraftwerk am Gießereigelände 63
Abbildung 29: Darstellung des Gesamtenergiebedarfs in vier untersuchten Kupolöfen [IfG 2008] 65
Abbildung 30: Darstellung des Koksverbrauchs von vier untersuchten Kupolöfen in kg/t Flüssigeisen [IfG 2008] 65
Abbildung 31: Darstellung des Sauerstoffeinsatzes in m^3/t Flüssigeisen in den untersuchten Kupolöfen [IfG 2008] 66
Abbildung 32: Energiebedarf von Induktionsöfen in kWh/t Flüssigeisen [IfG 2008]..... 68
Abbildung 33: Versuchsanlage zur Carbonisierung..... 81
Abbildung 34: Materialien zur Carbonisierung..... 82
Abbildung 35: Gesamt-Energieeinsatz im Al-Druckguss – in Abhängigkeit von der Jahresproduktion [Energie Consulting Bühler 2012] 96
Abbildung 36: Verteilung des Energieeinsatz in Druckgießereien [Energie Consulting Bühler 2012]..... 97
Abbildung 37: Verteilung des Energieeinsatzes für eine typische Druckgießzelle [Energie Consulting Bühler 2012]..... 97
Abbildung 38: Kaltmechanische Regeneration durch Schleifen [Energieeffiziente Gießerei 2009] 100
Abbildung 39: Massebezogener Substrateinsatz in Biogasanlagen 2012; Quelle [FNR 2013] 149
Abbildung 40: Nachwachsende Rohstoffe in Biogasanlagen - Massebezogener Substrateinsatz 2012; Quelle [FNR 2013] 150
Abbildung 41: Standortqualitäten für 225 Windparkprojekte in den Jahren 2012/2013 [Daten: Deutsche WindGuard 2012].....155
Abbildung 42: Kostenvergleich für Modellgießerei 1 160
Abbildung 43: Kostenvergleich für Modellgießerei 5 160
Abbildung 44: Kostenvergleich für Modellgießerei 3 161
Abbildung 45: Kostenvergleich für Modellgießerei 4 162
Abbildung 46: Kostenvergleich für Modellgießerei 2 (Messingguss).....163
Abbildung 47: Kostenvergleich für Modellgießerei 6 163
Abbildung 48: Auswirkung einer steuerlichen Abgabe auf die Wirtschaftlichkeit der Modellgießerei 3.....165
Abbildung 49: : Auswirkung einer steuerlichen Abgabe auf die Wirtschaftlichkeit der Modellgießerei 4.....165
Abbildung 50: Auswirkung einer steuerlichen Abgabe auf die Wirtschaftlichkeit der Modellgießerei 2.....168

Abbildung 51: Auswirkung einer steuerlichen Abgabe auf die Wirtschaftlichkeit der Modellgießerei 6 168

Abbildung 52: Auswirkung einer steuerlichen Abgabe auf die Wirtschaftlichkeit der Modellgießerei 1 169

Abbildung 53: Auswirkung einer steuerlichen Abgabe auf die Wirtschaftlichkeit der Modellgießerei 5 170

Abbildung 54: Strompreisprognosen bis 2050 in Realpreisen bezogen auf das Jahr 2012 [Daten: BMU 2012b] 172

Abbildung 55: Kostenvergleich Modellgießerei 3: konventionell Energiebereitstellung, Zukauf EE, Eigenerzeugung EE-Strom 179

Abbildung 56: Kostenvergleich Modellgießerei 6: konventionell Energiebereitstellung, Zukauf EE, Eigenerzeugung EE-Strom 180

Abbildung 57: Auswirkung einer steuerlichen Abgabe (1, 2 oder 3 ct/kWh) auf die Wirtschaftlichkeit der Stromeigenerzeugung der Modellgießerei 5 181

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die deutsche Gießereiindustrie und die Gussproduktion in 2012 15

Tabelle2: Energieeinsatz in den Modellgießereien, hier Anteile von den wichtigsten Energieträgern Strom und Erdgas 17

Tabelle 3: Foundry industry and casting production in Germany in 2012 19

Tabelle 4: Energy consumption in the model foundries, share of the most important energy sources electricity and natural gas 21

Tabelle 5: Gussproduktion in Deutschland in 2012 26

Tabelle 6: Einsatz der Energieträger in deutschen Eisen-, Stahl- und Tempergießereien im Jahr 2006 31

Tabelle 7: Erneuerbare Energien - Ziele der Bundesregierung; eigene Darstellung nach BMU 2011 32

Tabelle 8: Örtliche Verteilung der Gießereibetriebe, die Mitglied im BDG sind, nach Postleitzahlgebieten [BDGUSS 2012] 39

Tabelle 9: Potenziale für die Windenergienutzung aufgeschlüsselt nach den deutschen Bundesländern; Quelle [BWE 2012] 42

Tabelle 10: Energieverteilung in europäischen Gießereien [Foundrybench 2012] 47

Tabelle 11: Energiekostenverteilung in europäischen Gießereien [Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009] 48

Tabelle 12: Verteilung des Energieeinsatzes und der Energieträger in einer modernen Eisengießerei [Foundrybench 2012] 49

Tabelle 13: Verteilung des Energieeinsatzes und der Energieträger in einer modernen Stahlgießerei (Herstellung von Sandguss und von Genauguss) [Foundrybench 2012]. 51

Tabelle 14: Darstellung der Flüssigeisentemperatur und der maximalen Leistung der untersuchten Kupolöfen [IfG 2008] 65

Tabelle 15: Klassifizierung eines Kaltwind-Kupolofen [DGV 2008] 66

Tabelle 16: Klassifizierung eines Heißwind-Kupolofen [DGV 2008] 67

Tabelle 17: Darstellung des Energiebedarfs von Induktionsöfen in kWh/t Flüssigeisen [IfG 2008] 68

Tabelle 18: Klassifizierung eines MF-Ofen (6 Tonnen) [DGV 2008] 69

Tabelle 19: Klassifizierung eines NF-Ofen (6 Tonnen) [DGV 2008] 69

Tabelle 20: Energieeinsatz in Schmelzbetrieben von Eisen- und Stahlgießereien 72

Tabelle 21: Spezifischer Energiebedarf von Kaltluftbrenner und Regeneratorbrenner für verschiedene Ofentypen [Effiziente Energieverwendung 2005] 75

Tabelle 22: Schmelzleistungen und Brennstoffverbrauch von Tiegelöfen für Rotguss und Bronze [Wenk 2006] 75

Tabelle 23: Schmelzleistungen und Brennstoffverbrauch von Tiegelöfen für Messing [Wenk 2006] 76

Tabelle 24: Mittlerer spezifischer Energiebedarf von Elektroschmelzöfen verschiedener Bauart für Aluminium-Legierungen [Effiziente Energieverwendung 2005] 77

Tabelle 25: Wirkungsgrade und Energieverbrauchswerte für Induktionsöfen zum Schmelzen von Aluminiumlegierungen [Effiziente Energieverwendung 2005] 77

Tabelle 26: Vergleich von Wirkungsgraden und Energieverbrauchswerten von Induktions-Tiegelöfen [Effiziente Energieverwendung 2005] 77

Tabelle 27: Vergleich von Wirkungsgraden und Energieverbrauchswerten von Induktions-Rinnenöfen [Effiziente Energieverwendung 2005] 77

Tabelle 28: Energieeinsatz in Schmelzbetrieben von Nichteisenmetallgießereien 78

Tabelle 29: Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energieträger im Schmelzbetrieb..... 83

Tabelle 30: Darstellung des Energiebedarfs einer Formerei (mit Formstoffaufbereitung) [DGV 2008] 84

Tabelle 31: Darstellung des Energiebedarfs einer Formerei mit automatischen 500 Liter-Kasten Formanlage (inklusive Formstoffaufbereitung) [DGV 2008] 84

Tabelle 32: Darstellung des Energiebedarfs bei einer 50 Liter Cold-Box-Kernschießmaschine [DGV 2008] 86

Tabelle 33: Darstellung des Energiebedarfs bei einer 20 Liter Cold-Box-Kernschießmaschine [DGV 2008] 87

Tabelle 34: Darstellung des Energiebedarfs bei einer 10 Liter Cold-Box-Kernschießmaschine [DGV 2008] 87

Tabelle 35: Darstellung des Energiebedarfs einer 10 Liter Kernschießmaschine [DGV 2008] 87

Tabelle 36: Vergleich von Testreihen zur Kerntrocknung unter Verwendung von Heißluft- oder Mikrowellenöfen [Umweltbundesamt 2004]..... 88

Tabelle 37: Energieeinsatz bei der Form- und Kernherstellung in Gießereien 89

Tabelle 38: Einsatz verschiedener Energieträger in einer Aluminium-Kokillengießerei mit einer Jahresproduktion von 31.000 t guter Guss (2008) [Foundrybench 2012] 93

Tabelle 39: Energieeffizienz-Kennzahlen für eine Aluminium-Kokillengießerei mit einer Jahresproduktion von 31.000 t guter Guss (2008) [Foundrybench 2012] 94

Tabelle 40: Einsatz verschiedener Energieträger in Aluminium-Druckgießerei mit einer Jahresproduktion von 25.600 t guter Guss (2008) [Foundrybeach]..... 95

Tabelle 41: Energieeffizienz-Kennzahlen einer Aluminium-Druckgießerei mit einer Jahresproduktion von 25.600 t guter Guss (2008) [Foundrybench 2012] 95

Tabelle 42: Energieeinsatz in Druckgießereien Gas- und Strombedarf je t guter Guss [Energie Consulting Bühler 2012]..... 96

Tabelle 43: Mittlerer Energieeinsatz und mittlere Energiekosten in Druckgießereien [Energie Cosulting Bühler 2012] 96

Tabelle 44: Energieeinsatz beim Sand-, Kokillen- und Druckgießen 97

Tabelle 45: Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energieträger im Fertigungsbereich Gießen 99

Tabelle 46: Betriebsdaten von 3 deutschen Referenzgießereien, die die thermische Sandregenerierung anwenden [Energieeffiziente Gießerei 2009] 101

Tabelle 47: Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energieträger in der Formstoffaufbereitung und Formstoffregenerierung 102

Tabelle48: Energieeinsatz bei Gussnachbehandlung, Wärmebehandlung, lüftungstechnischen Anlagen sowie Transport und Gebäudetechnik 106

Tabelle 49: Jahresenergieverbrauchsmengen der sechs Modellgießereien (MG) und jeweiliger Anteil, der durch Strom & Gas bereitgestellt wird (M: Messing) 143

Tabelle 50 zeigt die verschiedenen Steuern, Abgaben und Entgelte, welche im Strombezugspreis enthalten sind. 144

Tabelle 51: Ergebnisse der Befragung und Bewertung der Ökostromanbieter 147

Tabelle 52: Erdgaspreise für industrielle Verbraucher in Abhängigkeit von der Verbrauchsmenge für das Jahr 2012 [BMWi 2012] 148

Tabelle 53: Preise pro kWh Biogas (Biomethan) von verschiedenen Anbietern 148

Tabelle 54: Daten und Ergebnis der Flächenbedarfsberechnung 150

Tabelle 55: Datengrundlage zur Berechnung der Mehrkosten für den Zukaufsfall 151

Tabelle 56: Mehrkosten der Modellgießereien im Fall Zukauf Ökostrom und Biomethan (M: Messing) 152

Tabelle 57: Vergütung für Windstrom nach EEG 2012 (ct/kWh) 154

Tabelle 58: Laufzeiten der erhöhten Anfangsvergütung nach EEG 2012 154

Tabelle 59: Mögliche Kostenreduzierungen im Eigenerzeugungsszenario (M: Messing) 157

Tabelle 60: Mehrkosten der Gießereien im Fall Eigenerzeugung von Strom aus Windkraft (M: Messing) 158

Tabelle 61: Mehrkosten und Verschiebung des Break-Even-Punktes bei Entrichtung einer steuerlichen Abgabe für die Modellgießereien 1,2M,5 und 6 (M: Messing) 167

Tabelle 62: Preispfade für CO_2, Erdgas und Steinkohle [BMU 2012b] 173

Tabelle 63: Prognostizierte Industrie-Bezugspreise für Erdgas bei zwei unterschiedlichen Bezugsmengen und Preispfaden 173

Tabelle 64: Anteile verschiedener Energieträger an der Deckung des Energiebedarfs der sechs Modellgießereien (M: Messing) 177

1 Zusammenfassung

Ein Teil dieses Berichtes gibt einen Überblick über die deutsche Gießereiindustrie, die Gussteile und Gusswerkstoffe (Tafel 1).

Tabelle 1: Die deutsche Gießereiindustrie und die Gussproduktion in 2012

		2012	Anmerkungen
Eisenguss			
Produktion, in 1000t	Gusseisen mit Lamellengraphit	2393	
Produktion, in 1000t	Gusseisen mit Kugelgraphit	1641	
Produktion, in 1000t	Temperguss	32	
Stahlguss			
Produktion, in 1000t	Stahlguss	217	
Nichteisenmetallguss			
Produktion, in 1000t	Aluminium-Sandguss/Kokillenguss	359	
Produktion, in 1000t	Aluminium-Druckguss	437	
Produktion, in 1000t	Magnesium-Druckguss	16	
Produktion, in 1000t	Kupferguss, gesamt	77	
Produktion, in 1000t	Kupferguss, davon Sand-guss/Kokillenguss	37	
Produktion, in 1000t	Zinklegierung, gesamt	35	
			Quelle: CAEF, Commission No.7

Die Gießereitechnik hängt von der Gussproduktion ab. Im durchgeführten Projekt sind zahlreiche Energiedaten recherchiert und verarbeitet worden. Daten zum Gesamteinsatz von Energie und zum spezifischen Energieeinsatz, beispielsweise ausgedrückt in Energie je t guter Guss, sind verwendet worden **(Abbildung 1; Abbildung 4; Tabelle2)**.

Abbildung 1: Spezifischer Energieeinsatz in europäischen Gießereien, hier: Eisengießereien

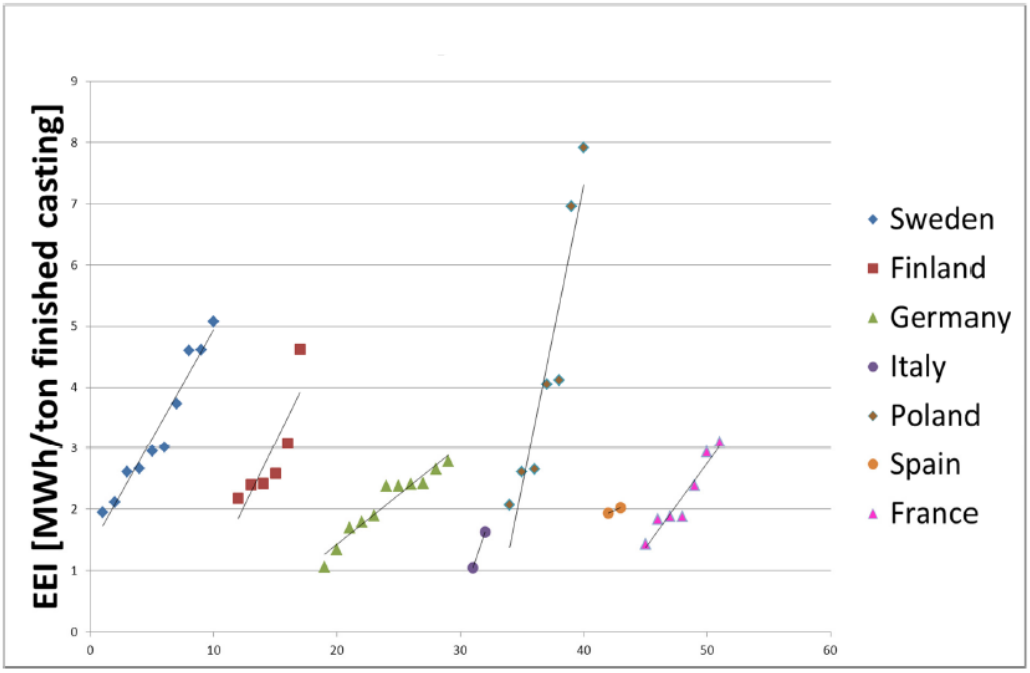


Abbildung 2: Verteilung des Energieeinsatzes in europäischen Eisen-, Stahl- und Nichteisenmetallgießereien

Unit processes	Iron foundry energy share, % and the range, ±%		Steel foundry energy share, % and the range, ±%		Nonferrous foundry energy share, %, the range , ±%	
Melting	55	±10	45	±5	65	±10
Annealing	1	±1	25	±2		
Drives	12	±4	9	±2	11	±5
CA-system	7	±3	5	±2	5	±3
Ladle preheat	4	±2	4	±2	3	±2
Venti-lation	14	±5	7	±5	10	±8
Heating	3	±2	2	±1	3	±2
Lighting	4	±1	3	±1	3	±1
Total		100		100		100

Sechs für Deutschland typische Modellgießereien (M1 – M6) sind definiert worden und bilden etwa 95% der deutschen Gießereiindustrie ab:

M1: Eisengießerei mit Kupolofenbetrieb und Formanlage (Nassguss-Verfahren), Serienfertigung

M2: Nichteisenmetallgießerei mit brennstoffbeheiztem Schmelzofen und einer Formanlage (Nass-guss-Verfahren), Serienfertigung

M3: Eisengießerei mit Induktionsofen, Handformerei (Kaltharzverfahren), Fertigung von großen Gussteilen

M4: Stahlgießerei mit Induktionsofen, Handformerei

M5: Aluminium-Schwerkraftkokillengießerei

M6: Aluminium-Druckgießerei

Der Energieeinsatz in diesen Modellgießerein ist berechnet worden (Tafel 2).

Tabelle2: Energieeinsatz in den Modellgießereien, hier Anteile von den wichtigsten Energieträgern Strom und Erdgas

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Strom [GWh/a]	102,5	4,65	10,0	18,6	120,75	13,2
Gas [GWh/a]	25,0	19,5	0,9	6,2	75,75	13,2
Energie, gesamt [GWh/a]	292,5	24,45	11,2	25,1	199,5	27,0
Anteil von Strom [%]	35,04	19,02	89,29	74,10	60,53	48,89
Anteil von Erdgas [%]	8,55	79,76	8,04	24,70	37,97	48,89
Anteile von Erdgas und Strom [%]	**43,59**	**98,78**	**97,32**	**98,81**	**98,50**	**97,78**

Für Gießereien gibt es keine technischen Hürden, Strom aus erneuerbaren Quellen (beispielsweise aus Windenergie) oder Biogas einzusetzen.

Darum kann in den Modellgießereien M2 – M6 etwa 97 – 98 % des Energiebedarfs mit erneuerbarer Energie gedeckt werden (Tafel 2).

In der Modellgießerei M 1 wird in einem Kupolofen Eisen geschmolzen, für dessen Kokseinsatz es derzeit keine Alternative gibt; möglicherweise wird es in Zukunft ein Verfahren geben, mit Koks durch vorbehandeltes Biomaterial zu ersetzen.

Die Bewertung wirtschaftlicher Aspekte beim Einsatz erneuerbarer Energie ist schwieriger. Es gibt verschiedene Arten von grünem Strom auf dem Markt angeboten. In manchen Angeboten ist grüner Strom wenig teurer als konventioneller (Strompreis ist 0.16 ct per kWh höher), in anderen Angeboten ist der Preis deutlich höher als konventioneller (Strompreis ist 0.6 ct per kWh höher).

Die Speicherung von Strom ist ein Problem – es gibt hierfür zwar einige technische Verfahren – aber bei den meisten ist der Wirkungsgrad niedrig und/oder sie sind zu teuer. Darum sollten zukünftig die Prozesse in Gießereien flexibler sein: beispielsweise ist die beste Zeit in einem Induktionsofen zu schmelzen, wenn es windig ist und Strom aus Windenergie gewonnen wird.

Voraussetzung für eine hohe Flexibilität bei den Prozessen ist die Bereitschaft der Gießereibeschäftigten, ebenfalls flexibel zu sein. Diskussionen hierzu sind auch auf gesellschaftlicher Ebene zu erwarten.

Die schwerpunktmäßigen Ergebnisse dieser Ausarbeitung sind:

- Es gibt keine technischen Probleme erneuerbare Energie (Strom, Biogas) in den meisten Gießereiprozessen einzusetzen; es gibt derzeit keine Alternativen (wie Biomasse) zu Gießereikoks.
- Wirtschaftlich gesehen ist es zu teuer, die gesamte Energie einer Gießerei aus erneuerbaren Quellen zu decken, aber in vielen Fällen kann ein Teil der eingesetzten Energie mittels erneuerbarer Energie gedeckt werden – dies wäre ein wichtiger Schritt in Richtung Klimaschutz – und es würde verdeutlichen, dass sich Gießerein dieser gesellschaftlichen Aufgabe stellen.
- Für viele Gießereien wird es vorteilhaft sein, eine eigene Windkraftanlage zu betreiben; in dieser Ausarbeitung sind Rechenmodelle enthalten, mit denen berechnet werden kann, unter welchen Bedingungen (Gießereiprozesse etc.) dies empfehlenswert sein wird.

- Zukünftig wird der Einsatz von grüner Energie auch von der Flexibilität der Gießereiprozesse und der Gießereibeschäftigten abhängen, weil derzeit die Speicherung von Energie unzureichend und/oder teuer ist.

2 Summary

Part of this report is a general view on the German foundry industry, its castings and casting materials **(Tabelle 3).**

Tabelle 3: Foundry industry and casting production in Germany in 2012

		2012	Remarks
Iron castings			
Production, in 1000t	Grey iron	2393	
Production, in 1000t	Spheroidal iron (Nodular iron)	1641	
Production, in 1000t	Malleable iron	32	
Steel castings			
Production, in 1000t	Steel	217	
Non ferrous castings			
Production, in 1000t	Aluminium sand or gravity die castings	359	
Production, in 1000t	Aluminium pressure die castings	437	
Production, in 1000t	Magnesium pressure die castings	16	
Production, in 1000t	Copper based alloy	77	
Production, in 1000t	Copper based alloy, share of sand or die castings	37	
Production, in 1000t	Zinc alloys, pressure die casting	35	
			Source: CAEF, Commission No.7

Foundry technology and energy consumption depend on the castings production.

In the project a lot of energy data have been researched and analysed. Total energy consumption as well as specific energy consumption data, e. g. energy consumption per kilogram good castings, has been calculated **(Abbildung 2; Abbildung 3; Tabelle 4).**

Abbildung 2: Specific energy consumption in European foundries, here iron foundries

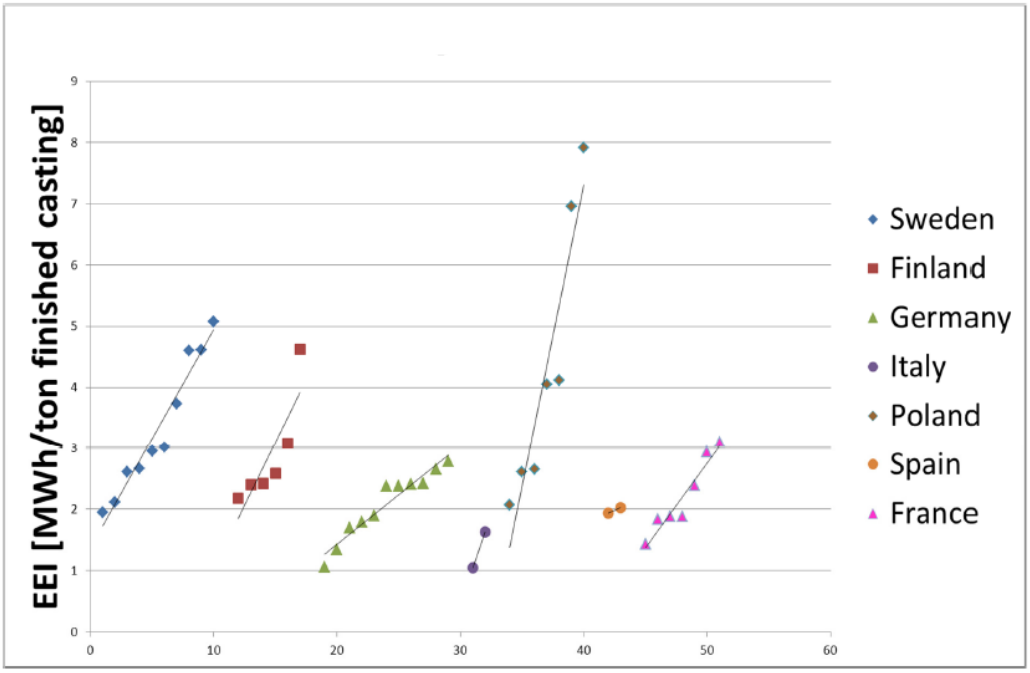


Abbildung 3: Energy share inside European iron, steel or non ferrous foundries

Unit processes	Iron foundry energy share, % and the range, ±%		Steel foundry energy share, % and the range, ±%		Nonferrous foundry energy share, %, the range , ±%	
Melting	55	±10	45	±5	65	±10
Annealing	1	±1	25	±2		
Drives	12	±4	9	±2	11	±5
CA-system	7	±3	5	±2	5	±3
Ladle preheat	4	±2	4	±2	3	±2
Venti-lation	14	±5	7	±5	10	±8
Heating	3	±2	2	±1	3	±2
Lighting	4	±1	3	±1	3	±1
Total		100		100		100

Six Model foundries (M1 – M6) have been defined which are typical for the German foundry industry, they represent roughly 95% of all German foundries:

M1: Iron foundry operating cupola and a moulding plant (green sand), serial production

M2: Non ferrous foundry operating a moulding plant (green sand), serial production

M3: Iron foundry with induction furnace, hand moulding (no bake sand), producing big parts

M4: Steel foundry producing, induction or arc air furnace, hand moulding (no bake sand)

M5: Aluminium foundry, gravity diecasting

M6: Aluminium foundry, high pressure diecasting

The energy consumption in the model foundries have been calculated (Table 2).

Tabelle 4: Energy consumption in the model foundries, share of the most important energy sources electricity and natural gas

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Electricity [GWh/a]	102,5	4,65	10,0	18,6	120,75	13,2
Gas [GWh/a]	25,0	19,5	0,9	6,2	75,75	13,2
Energy, total [GWh/a]	292,5	24,45	11,2	25,1	199,5	27,0
Share of electricity [%]	35,04	19,02	89,29	74,10	60,53	48,89
Share of natural gas [%]	8,55	79,76	8,04	24,70	37,97	48,89
Share of natural gas & electricity [%]	**43,59**	**98,78**	**97,32**	**98,81**	**98,50**	**97,78**

Using of electricity generated in renewable sources (e.g. generated in wind power plant) or using of biogas in foundries there is no technical problem.

So in model foundries type M2 – M6 roughly 97 – 98 % of the total energy can be energy generated in renewable processes (Table 2).

In model foundry M1 they melt in a cupola and there is still no alternative to coke; maybe in future there will be a technical process for preparing biomaterials as coke substitutes.

The assessment of economical aspects regarding renewable energy is more difficult. There are different kinds of green electricity offered by power suppliers. In some cases the energy costs in foundries increase only a little (electricity price: plus 0.16 ct per kWh), in other cases the energy costs are much higher (electricity price: plus 0.6 ct per kWh) – compared to energy costs using common energy.

Today the storage of electricity is a problem – there are some technical processes, but most of them have poor efficiency and/or they are too expensive. So in future the foundry process has to be more flexible: e.g. if its windy there is a lot of green electricity available generated by wind power plants - and that is the best time for energy intensive foundry operations like melting of metal in induction furnaces.

Precondition of such a high flexibility in casting processes are employees who have the willingness to be flexible too. In future there will be discussions on foundry and on society level.

The summarized key results in this study are:

- there is no technical problem to use renewable energy (electricity or biogas) in most of the foundry processes; but today there are no green alternatives (e.g. biomass) to substitute foundry coke.
- economically it will be to costly to substitute the total energy a foundry needs, but to substitute a part of it is possible in many cases – it is an important step forward regarding climate protection and it also demonstrates that the foundry is facing this social task.
- For many foundries it will be beneficial to have there own wind power plant to generate a share of the electricity they need; in the report there are calculations under which conditions (foundry processes etc.) it will be recommendable.
- In future the consumption of green energy in foundries will also depend on the flexibility of the foundry processes and of the foundry employees, because the efficiency of energy storage processes today is poor and/or these technologies are expensive.

3 Einleitung

Die Gießerei-Industrie gehört zu den energieintensiven Branchen, weil das Fertigungsverfahren Gießen per Definition mit dem Schmelzen von metallischen Werkstoffen verbunden ist, wozu schon aus physikalischen Gründen ein erheblicher Energieeinsatz notwendig ist.

Im Vergleich zu anderen Fertigungsverfahren, mit denen metallische Bauteile gefertigt werden, hat das Gießen deutliche Vorteile und Potenziale hinsichtlich des Materialeinsatzes und der Energieeffizienz, was auch für Betrachtungen der gesamten Wertschöpfungskette einschließlich von Endprodukten, wie Bauteilen für Fahrzeuge oder Maschinen, gilt. [LeiKom 2009; Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009].

So werden Gussteile endkonturnah gefertigt - d. h. die zu schmelzende Menge an Metall ist vergleichsweise gering. Dies gilt auch für die Menge an Metall, die bei der Bearbeitung abgetragen wird, um die Endkontur eines Bauteils zu erreichen.

Die hinsichtlich Werkstoffwahl und Design außerordentlich vielfältigen Möglichkeiten des Gießens erlauben es, Bauteile hinsichtlich Materialeinsatz und Energieeffizienz für jeden Anwendungsfall zu optimieren. Mit komplexen, teilweise nach bionischen Konstruktionsprinzipien gestalteten Bauteilen können diese in höchstem Maße anwendungs- und anforderungsgerecht als Leichtbaukonstruktionen gefertigt werden. Die Fertigung derartiger Leichtbaukonstruktionen ist aber sowohl bei der Fertigung der Bauteile (weniger Metall wird geschmolzen) als auch bei deren Verwendung – beispielsweise als Automobilbauteile – material- und energieökonomisch.

Bei dieser Anwendung tragen gegossene Leichtbaukonstruktionen außerdem zu einer deutlich gesteigerten Energieeffizienz bei: bei PKW kann der Kraftstoffverbrauch durch Leichtbauteile verringert werden, um etwa 0,2 l Kraftstoff je 100 kg PKW-Masse und je 100 km Fahrstrecke.

Die besonders hohe Gestaltungsfreiheit beim Bauteildesign ermöglicht es außerdem, nahezu jede noch so komplizierte Geometrie als Bauteil zu realisieren. Dies wiederum ermöglicht, neuartige gegossene Bauteile herzustellen, die mehrere Funktionen erfüllen und mehrere zuvor verwendete Bauteile ersetzen – dies trägt ebenfalls zur Erhöhung von Material- und Energieeffizienz bei.

Der Klimaschutz stellt eine Herausforderung dar, der sich die Gießereien zu stellen haben – und dies weitgehend auch bereits tun. Die Gießereien müssen – um die ambitionierten Ziele des Klimaschutzes in den nächsten Jahren und Jahrzehnten zu erreichen – alle derzeitigen und zukünftig erschließbaren Potenziale zur Erhöhung der Energieeffizienz und zum Einsatz erneuerbarer Energie nutzen. Im Projekt Erneuerbare Energie Gießerei werden derzeitige und anzustrebende Maßnahmen dargestellt und bewertet.

Zum Einsatz erneuerbarer Energien (EE) in Gießereien sind bis jetzt nur wenige Maßnahmen oder Ansätze bekannt, die auch in der folgenden Ausarbeitung berücksichtigt werden.

Als Hersteller von zentralen Bauteilen für Windkraftanlagen und anderer Bauteile von Anlagen zur Bereitstellung erneuerbarer Energie sind zahlreiche Gießereien dem Thema allerdings eng verbunden.

4 Ziel und methodisches Vorgehen

Zum Einsatz erneuerbarer Energien in Gießereien sollen die im Projekt angestrebten Ergebnisse

- den Gießereien und der Gießerei-Zulieferindustrie (beispielsweise Herstellern von Industrieöfen) deutlich machen, wie in größerem Umfang erneuerbare Energien in Gießereien eingesetzt werden können – je nach dem damit verbundenen Innovationspotenzial – kurz- oder mittelfristig oder bei der Einrichtung von Neuanlagen;
- Gießereien, Gießerei-Zulieferfirmen, Fachfirmen für Energietechnik, Forschungsinstituten auf den Gebieten Gießereitechnik, Maschinenbau, Elektrotechnik u. a. Hinweise und Ansätze für zielorientierte FuE liefern;
- Verantwortlichen, Sachverständigen und Interessierten in Politik, Verbänden und Gesellschaft nützlich sein, ihre Ziele und ihre Vorgehensweise im Klimaschutz für die Gießereibranche noch genauer entwickeln und definieren zu können. Dabei ist das Projekt Erneuerbare Energie Gießerei fokussiert auf die Gießereibranche – die Vorgehensweise in diesem Branchenprojekt und die zu erwartenden Ergebnisse können aber beispielhaft werden für andere Branchen, in denen erneuerbare Energien eingesetzt werden bzw. wo Einsatzpotenziale erschlossen werden können.

Im folgenden Zwischenbericht wird dargestellt,

- ein Überblick über die deutsche Gießereiindustrie;
- eine Darstellung zu erneuerbaren Energien in industriellen Prozessen;
- noch zu ergänzende Daten zum Einsatz der verschiedenartigen Energieträger in den verschiedenartigen Fertigungsbereichen und bei den verschiedenartigen Geräten, Maschinen und Anlagen in Gießereien;
- die Methodik zur Ermittlung des möglichen Potenzials für den Einsatz erneuerbarer Energien in einzelnen Gießereien und in der deutschen Gießereiindustrie – hierzu gehört auch die Verbreitung von Verfahren und Anlagen, bei denen ein Einsatz erneuerbarer Energien – bei dem derzeitigen Kenntnisstand im Projekt - grundsätzlich möglich erscheint;
- erste Voraussetzungen an die Energieträger und ihre Eigenschaften für den jeweiligen im Gießereiprozess;
- die derzeitige und absehbare zukünftige Bedeutung und Verbreitung von gießereitechnischen Verfahren und Anlagen in deutschen Gießereien – und der hieraus resultierende zukünftige Bedarf an erneuerbarer Energie.

Bei den folgenden Darstellungen wird auf eine ausführliche Beschreibung der verschiedenartigen Prozesse und Anlagen in Gießereien verzichtet. Ausführliche Beschreibungen sind Bestandteil der einschlägigen Kapitel der BREF „Integrated Pollution Prevention and Control Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry“. Hinweise auf entsprechende Abschnitte in der – im Folgenden kurz: Foundry-BREF genannten Veröffentlichung - werden in den folgenden Kapiteln gegeben. Damit ist ein schneller Zugriff auf ausführlichere Beschreibungen der jeweiligen Verfahren und Anlagenarten möglich.

Hinsichtlich der Verbreitung, Anwendungsbreite sowie erkennbarer gießereitechnischer Trends sei verwiesen auf die Ergebnisse des Projektes UFOPLAN [UFOPLAN 2013]. Diese Ausarbeitung folgt ebenfalls dem Aufbau in der Foundry-BREF.

In den Darstellungen zur Gießereitechnik liegt der Schwerpunkt auf dem Einsatz der verschiedenartigen Energieträger. Es wird deutlich, in welchen Prozessen und bei welchen Anlagen in Gießereien die verschiedenartigen Formen erneuerbarer Energie einsetzbar sein können. Dies stützt sich teil-

weise auf die Ergebnisse von Entwicklungen, Analysen und Beratungen, die das IfG in einzelnen Unternehmen oder für die Gießereibranche durchgeführt hat. Zusätzlich hat eine systematische Auswertung von Arbeiten und Veröffentlichungen stattgefunden.

Bei den vielfältigen Prozessen und Anlagen wird beschrieben, welche Formen erneuerbarer Energie in welchem Umfang einsetzbar erscheint. Zu diesem Teil der Ausarbeitung bringt ECOFYS seine Fachkompetenz zu erneuerbaren Energien ein.

Dieser Bericht bildet im laufenden Projekt einen Zwischenstand ab. Er ist Basis für die weiteren Arbeiten, die fokussiert sind auf den Einsatz erneuerbarer Energie in einzelnen Prozessschritten und bei einzelnen Maschinen und Anlagen in Gießereien.

5 Die deutsche Gießereiindustrie und ihr Energieeinsatz

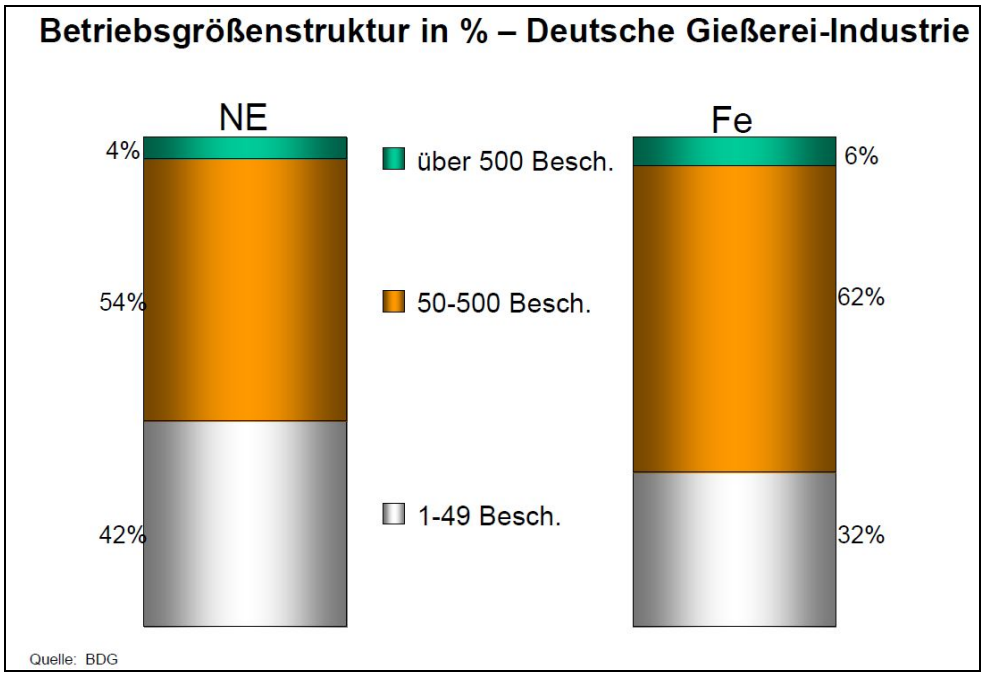
5.1 Übersicht über die deutsche Gießereiindustrie und Gussproduktion

Die deutsche Gießerei-Industrie ist eine klassische Mittelstandsbranche. Rund 95 % der Unternehmen beschäftigen bis zu 500 Mitarbeiter. Größere Betriebe machen lediglich 5 % der Gesamtbranche aus **(Abbildung 4).**

Die deutsche Gießereiindustrie besteht aus 612 Gießereien mit 77.953 Beschäftigten (Stand: 2011) [CAEF, Com. No. 7, 2012].

Zu Werkstoffen zugeordnet umfasst die deutsche Gießereiindustrie 215 Eisen- und Tempergießereien, 53 Stahlgießereien und 344 Nichteisenmetallgießereien.

Abbildung 4: Betriebsgrößenstruktur in der Deutschen Gießerei-Industrie [BDGUSS 2012]



(Fe: Eisen- und Stahlgießereien; NE: Nichteisenmetallgießereien)

Gusskomponenten finden als metallische Schlüsselprodukte Einsatz im deutschen Automobil- und Maschinenbau, in der Bauindustrie und der Verkehrstechnik, um nur einige besonders mengenrelevante Bereiche zu benennen.

Die Teilevielfalt in der Gussindustrie reicht von kleinen Struktur-Teilen für die Medizintechnik mit weniger als 1 Gramm und die Elektronikindustrie bis zu mehreren 100 Tonnen schweren Walzen und Pressenständern. Anforderungen der Gesellschaft an moderne Industrieprodukte sind auf den meisten Gebieten ohne Guss nicht zu erfüllen. Das zeigt sich an Beispielen aus der Motor- und Kraftwerkstechnik ebenso wie an Teilen der Windkrafttechnik, die höchsten technischen Anforderungen genügen müssen.

In 2011 betrug die Produktion an verkaufsfähigen Teilen (guter Guss) rund 4,3 Millionen Tonnen Eisen-, Stahl- und Temperguss sowie rund 1,0 Millionen Tonnen Nichteisenmetallguss. **Tabelle 5** und **Abbildung 5** zeigen die Werkstoffstruktur für Nichteisenmetallguss (NE) und Eisen-, Stahl- und Temperguss (Fe).

Tabelle 5: Gussproduktion in Deutschland in 2012

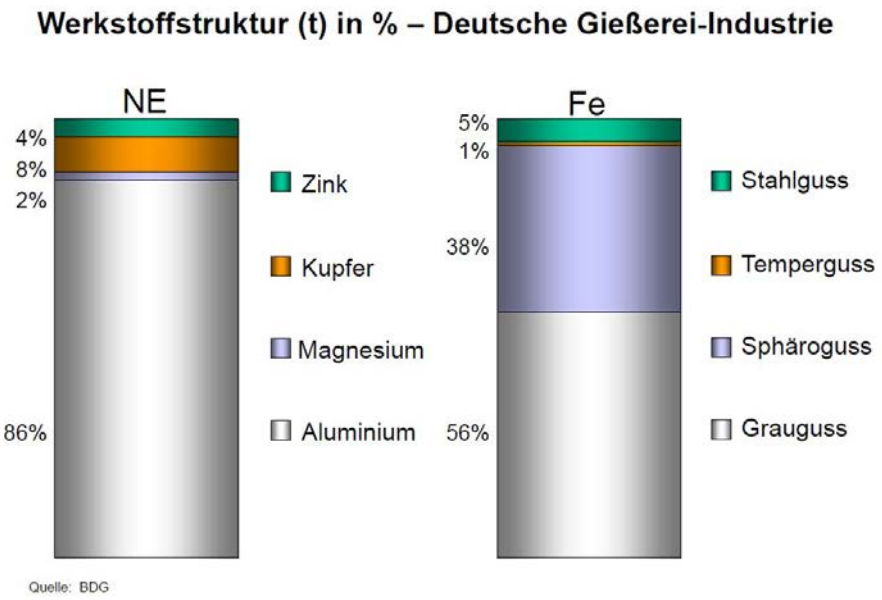
		2012	Anmerkungen
Eisenguss			
Produktion, in 1000t	Gusseisen mit Lamellengraphit	2393	
Produktion, in 1000t	Gusseisen mit Kugelgraphit	1641	
Produktion, in 1000t	Temperguss	32	
Stahlguss			
Produktion, in 1000t	Stahlguss	217	
Nichteisenmetallguss			
Produktion, in 1000t	Aluminium-Sandguss/Kokillenguss	359	
Produktion, in 1000t	Aluminium-Druckguss	437	
Produktion, in 1000t	Magnesium-Sand-/Kokillenguss	0	
Produktion, in 1000t	Magnesium-Druckguss	16	
Produktion, in 1000t	Kupferguss, gesamt	77	
Produktion, in 1000t	Kupferguss, davon Sand-guss/Kokillenguss	37	
Produktion, in 1000t	Zinklegierung, gesamt	35	
			Quelle: CAEF, Commission No.7

Betrachtungen der Produktion von Gussteilen hinsichtlich ihrer Masse sind nur bedingt aussagefähig für die Qualität der deutschen Gießereiindustrie. Im Besonderen Leichtbau-Gussteile und Bauteile mit mehreren integrierten Funktionen (siehe Kapitel 1) sind von höherem Wert als schwergewichtige Bauteile. Außerdem haben die verschiedenen metallischen Gusswerkstoffe unterschiedliche spezifische Gewichte. Bezüglich des Umsatzes betrug in 2011 die Produktion in der deutschen Gießereiindustrie rund 8,2 Millionen Euro in Eisen-, Stahl- und Tempergießereien sowie rund 5,4 Millionen Euro in Nichteisenmetallgießereien.

Die deutsche Gießereiindustrie ist die größte in Europa sowie die viertgrößte in der Welt. Ohne ein Wachstum, das sich in einer Steigerung der Produktion sowie der Produktivität widerspiegelt, ist die Zukunft der deutschen Gießereiindustrie nicht gesichert. Die Strategie des nachhaltigen Wirtschaftens ist in der deutschen Gießereiindustrie erkannt worden und wird umgesetzt. Mit ihr verbunden ist allerdings unter anderem auch die Sicherstellung eines hohen Niveaus im Umweltschutz und hinsichtlich der Arbeitsverhältnisse in Gießereien. Mehr Umweltschutz bedeutet in vielen Fällen allerdings auch den noch intensiveren Einsatz von ablufttechnischen Anlagen, was mit höherem Stromverbrauch verbunden ist. Eine Verbesserung der Materialeffizienz in Gießereien ist u. a. erreichbar durch das Einrichten einer zusätzlichen Prozessstufe „Sandregenerierung". Letztere ist mechanisch, teilweise auch notwendigerweise thermisch, und führt zu zusätzlichem Energiebedarf.

Hinzu kommt, dass in den letzten Jahrzehnten Prozesse in den Gießereien mechanisiert oder automatisiert worden sind – was mit erhöhtem Stromverbrauch verbunden ist. In vielen Fällen war das Ziel gewesen, schwere körperliche Arbeiten zu vermeiden oder zu vermindern. Das große Forschungsprogramm der Bundesregierung „Arbeit und Technik" (früher: „Humanisierung des Arbeitslebens") hatte einen großen Schwerpunkt in der Gießereitechnik und hat diesbezüglich geholfen, die Arbeitsverhältnisse in Gießereien zu verbessern.

Abbildung 5: Werkstoffstruktur in der Deutschen Gießerei-Industrie [BDGUSS 2012]

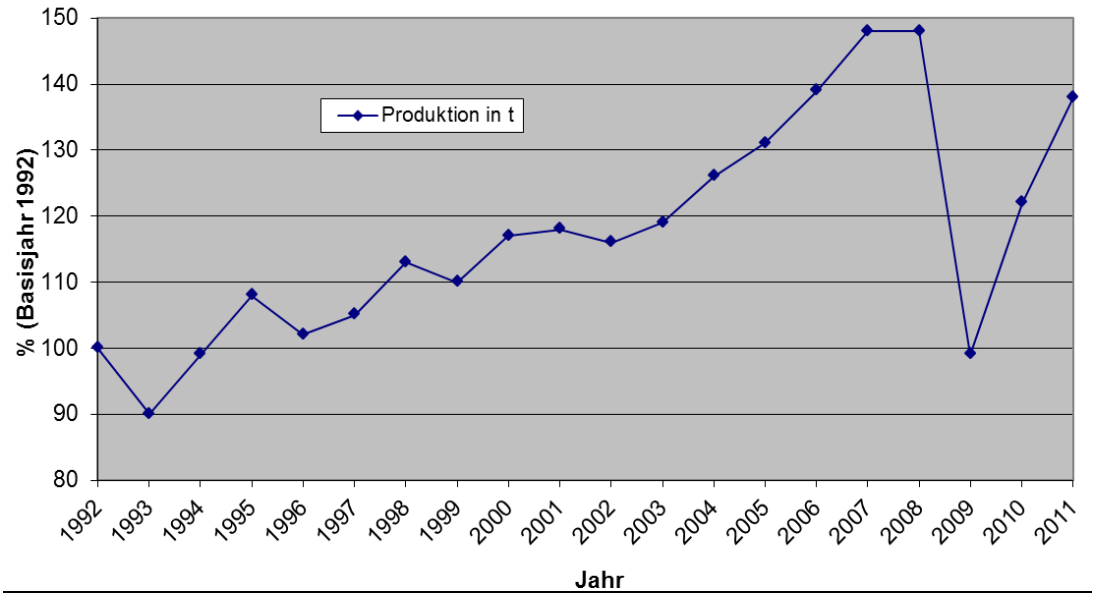


Die deutsche Gussproduktion verzeichnete in den letzten Jahren einen deutlichen Anstieg, der lediglich in der Weltwirtschaftskrise (2008/2009) unterbrochen wurde **(Abbildung 6).**

Wie die Gusserzeugung nahm auch die Produktivität kontinuierlich zu **(Abbildung 7).**

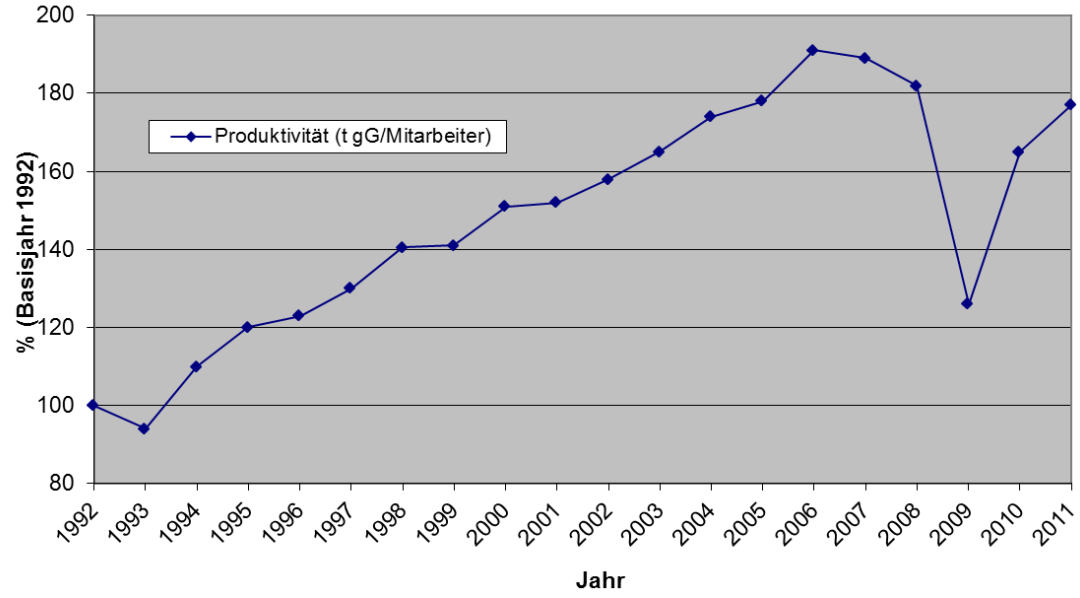
Bei Betrachtung des Energieeinsatzes der gesamten Gießereien ist eine Steigerung von etwa 10 % bei der Energieeffizienz (spezifischer Energieeinsatz je Tonne Gussprodukte) zu verzeichnen. Dies erscheint auf den ersten Blick bei der Länge des Betrachtungszeitraums wenig zu sein. Es ist allerdings zu sehen, dass eine Erhöhung der Produktivität in der Regel mit intensiverer Mechanisierung und Automatisierung verbunden ist – beides erhöht den Energieeinsatz (wie bereits ausgeführt).

Abbildung 6: Gussproduktion in der Deutschen Gießerei-Industrie



[Schumacher 2011; BDGUSS 2012]

Abbildung 7: Produktivität in der Deutschen Gießerei-Industrie

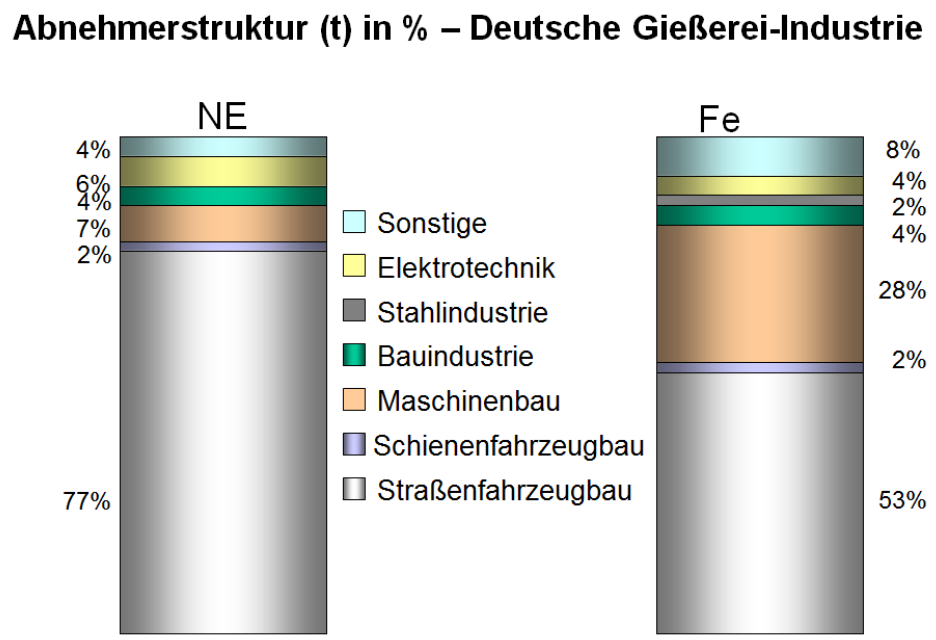


[Schumacher 2011; BDGUSS 2012]

Abnehmerstruktur

Die Kundengruppen der Gießereien sind weit gefächert. Autoindustrie und Maschinenbau nehmen etwa 80 % der deutschen Gussproduktion ab **(Abbildung 8).**

Abbildung 8: Abnehmerstruktur in der Deutschen Gießerei-Industrie [BDGUSS 2012]



Quelle: BDG

5.2 Übersicht über den Energieeinsatz in deutschen und europäischen Gießereien

Beim spezifischen Energieeinsatz, gemessen in eingesetzter Energie je Tonne guter Guss, nimmt die deutsche Gießereiindustrie in Europa eine sehr gute Position ein **(Abbildung 9 bis Abbildung 11**) [Foundrybench 2012].

Abbildung 9: Spezifischer Energieeinsatz in europäischen Eisengießereien

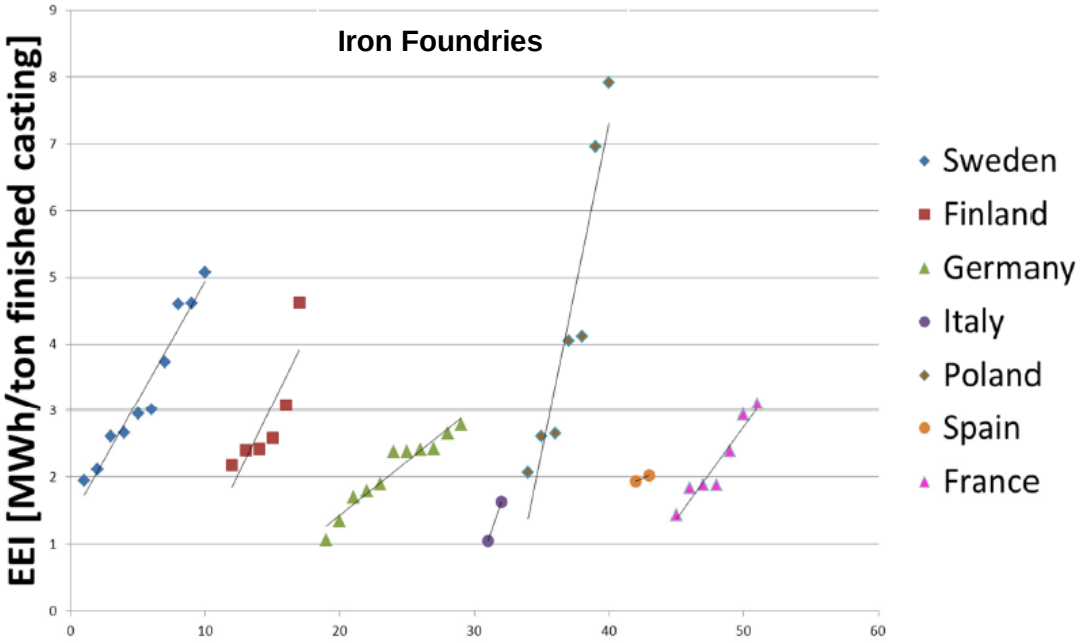


Abbildung 10: Spezifischer Energieeinsatz in europäischen Stahlgießereien

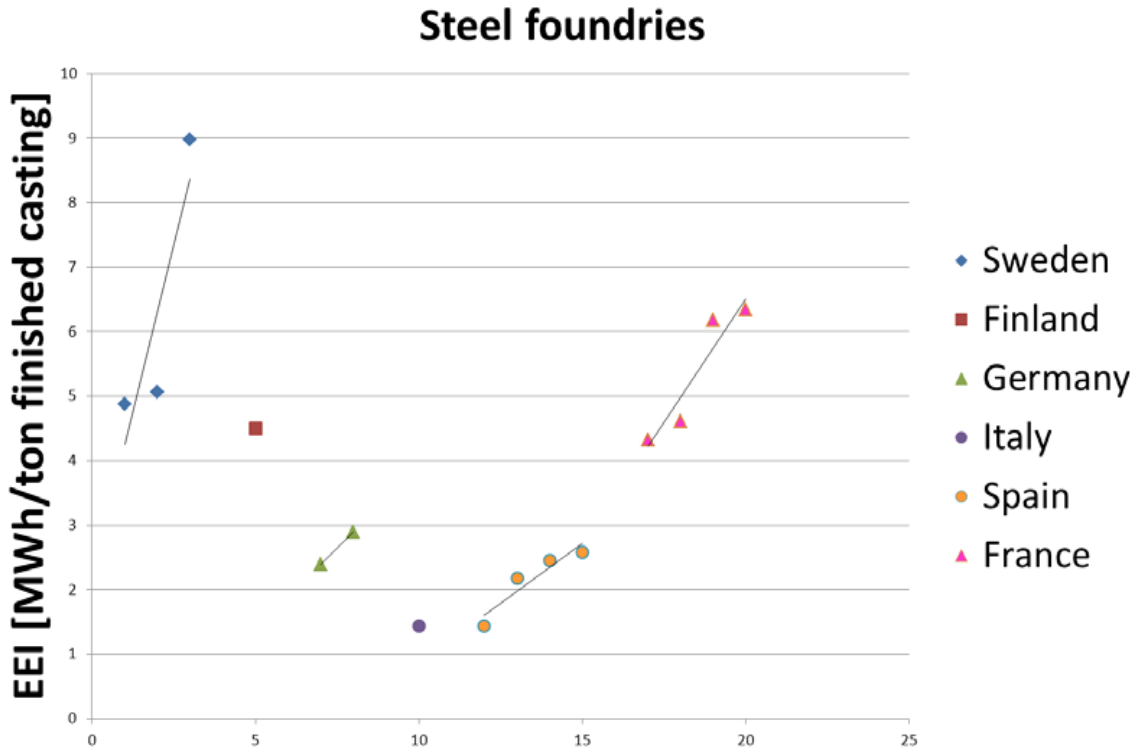
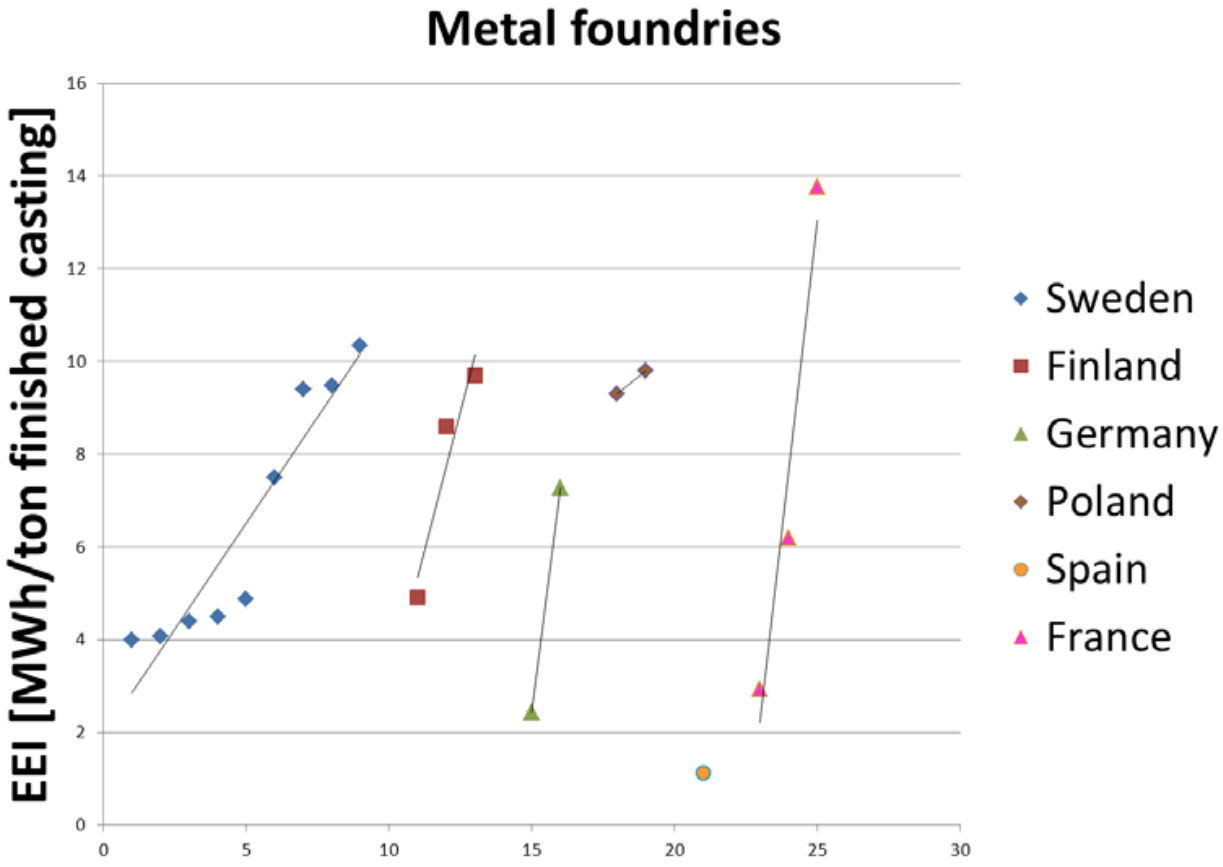


Abbildung 11: Spezifischer Energieeinsatz in europäischen Nichteisenmetallgießereien



Eine Zusammenstellung der spezifischen Verbräuche der einzelnen Energieträger zeigt **Tabelle 6.**

Zurzeit ist dies die aktuellste vollständige Übersicht, die vorliegt. In Verbindung mit **Abbildung 6** oder **Abbildung 7** kann allerdings der Schluss gezogen werden, dass sich die spezifischen Verbräuche nicht wesentlich zwischen 2006 und 2011 verändert haben.

Hierbei ist anzumerken, dass die hier angegebenen spezifischen Verbräuche Durchschnittswerte für die gesamte Gießereiindustrie sind. Die Angaben machen den Stellenwert der verschiedenen Energieträger in der Gießereiindustrie deutlich.

Tabelle 6: Einsatz der Energieträger in deutschen Eisen-, Stahl- und Tempergießereien im Jahr 2006

	Einheit	Eisen- und Temperguss	Stahlguss	Gesamt
Jahr		2006	2006	2006
Produktion	in 1000 t	4.300	216	4.516
Gießereikoks	in 1000 t in kg/t guter Guss	464,1 107,9	* *	464,1 107,9
Strom	in Mio. kWh in kWh/t guter Guss	3.947,7 918,1	515,0 2392,0	4.462,7 976,3
Gas	in Mio. m3 in m³/t guter Guss	168,8 39,3	75,0 348,5	243,9 53,4
Mineral- und Teeröle	in 1000 l in l/t guter Guss	6.664,1 1,5	1.599,7 7,4	8.263,8 8,9

Vorliegende Daten aus 2012 sind nicht mit den früheren vergleichbar, da teilweise Daten von Fe- mit NE-Gießereien gemischt worden sind.

Die Angaben in den folgenden Kapiteln sind detaillierter und deutlich besser geeignet, den Energieeinsatz in deutschen Gießereien zu beschreiben.

6 Erneuerbare Energien in Deutschland – Status Quo und Entwicklung

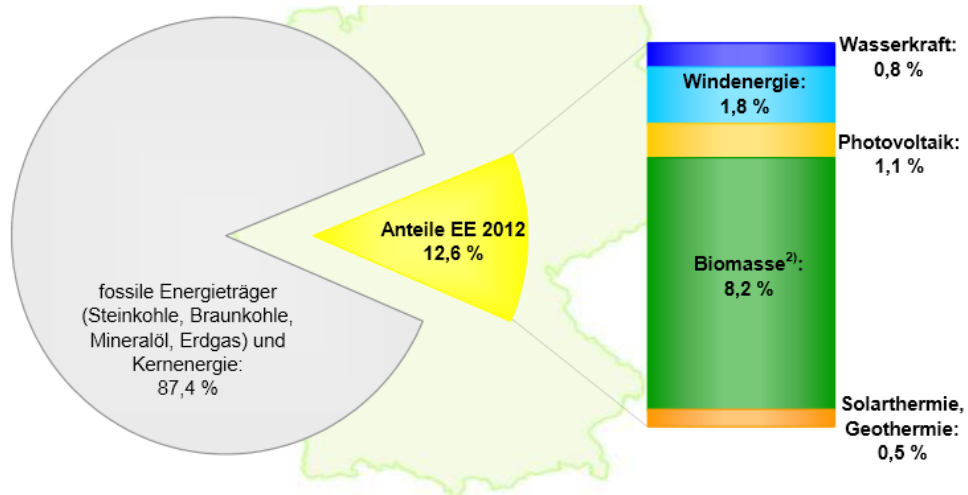
Der Ausbau der erneuerbaren Energien stellt ein Kernelement der energiepolitischen Strategie Deutschlands dar. Eine Vielzahl von Maßnahmen und Instrumenten hat dazu beigetragen, dass sich der Anteil der erneuerbaren Energien an der Deckung des Stromverbrauchs im Zeitraum von 1990 (3,1 %) bis 2012 (22,9 %) um das Siebenfache vergrößert hat [BMU 2012a; AGEE Stat 2013]. Entsprechend dem Energiekonzept, den Beschlüssen der Bundesregierung sowie den Gesetzen zur Energiewende soll der Ausbau der erneuerbaren Energien auch künftig weiter vorangetrieben werden. Danach soll der erneuerbare Stromanteil im Jahr 2020 35 % betragen, bis 2030 auf mindestens 50 % weiter ansteigen und im Jahr 2050 sollen gar 80 % des in Deutschland genutzten Stroms aus erneuerbaren Quellen stammen. In denselben Zeitspannen soll der Anteil der erneuerbaren Energien an der Bruttoendenergiebereitstellung von 18 % über 30 % auf 60 % im Jahr 2050 anwachsen [BMU 2011a].

Tabelle 7: Erneuerbare Energien - Ziele der Bundesregierung; eigene Darstellung nach BMU 2011

Jahr	Deckungsanteil am Stromverbrauch [%]	Deckungsanteil am Bruttoendenergieverbrauch [%]
2020	(mind.) 35	18
2030	(mind.) 50	30
2040	(mind.) 65	45
2050	(mind.) 80	60

Abbildung 12 ist zu entnehmen, dass die erneuerbaren Energien im Jahr 2012 in Deutschland rund 313,9 TWh Endenergie bereitstellten und somit 12,6 % des deutschen Endenergieverbrauchs deckten. Innerhalb der erneuerbaren liefert die Bioenergie bisher den größten Anteil an erneuerbarer Energie. In den Sektoren Wärme (41,8 %), Strom (13,0 %) und Kraftstoffe (10,7 %) macht sie insgesamt 65,5 % aus. Deutlich dahinter folgen die Windkraft (14,7 %), Solarthermie und Photovoltaik (8,9 %) sowie die Wasserkraft (6,8 %) [AGEE Stat 2013].

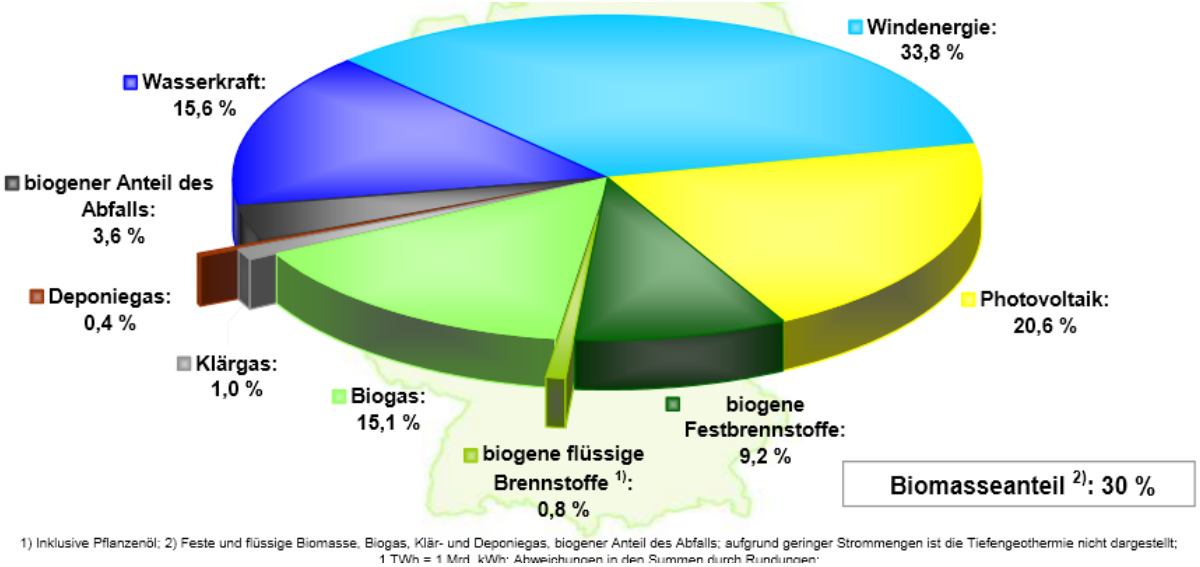
Abbildung 12: Anteile der erneuerbaren Energien am gesamten Endenergieverbrauch in Deutschland 2012; [AGEE Stat 2013]



) Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (AGEB); 2) Feste und flüssige Biomasse, Biogas, Klär- Deponiegas, biogener Anteil des Abfalls, Biokraftstoffe;

Betrachtet man die Aufteilung innerhalb der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien (**Abbildung 13**), sieht die Verteilung hingegen anders aus. Hier leistet die Windkraft mit 33,8 % den größten Beitrag. Die Bioenergie liegt mit 30,1 % auf Platz zwei, gefolgt von Photovoltaik (20,6 %) und Wasserkraft (15,6 %). Insgesamt wurden im Jahr 2011 136,1 TWh Strom aus erneuerbaren Energien bereitgestellt [AGEE Stat 2013].

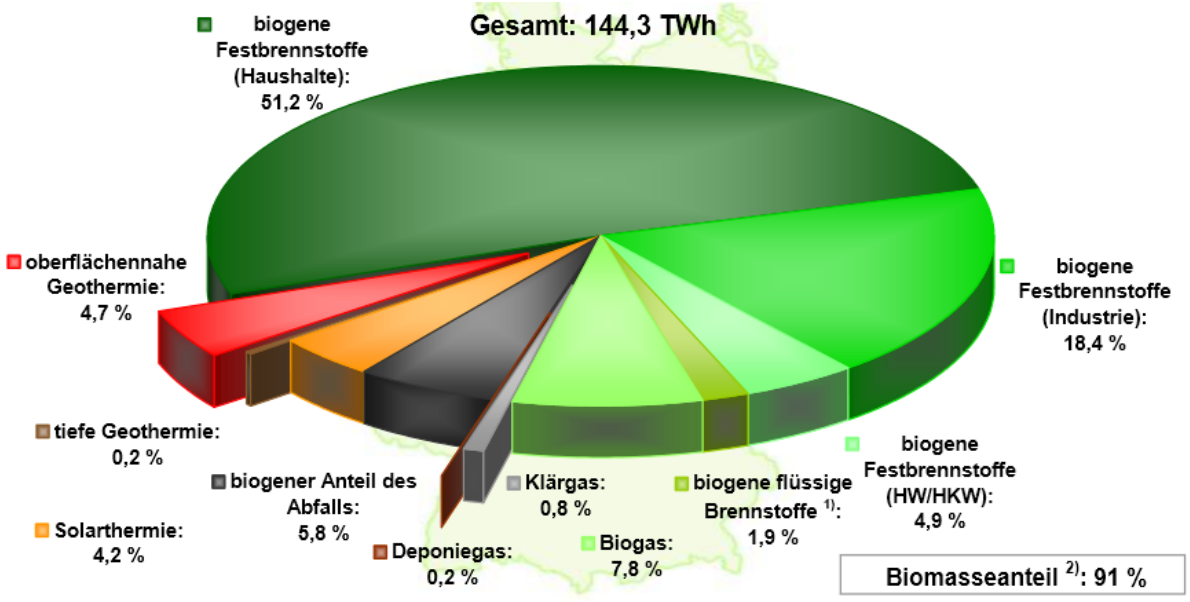
Abbildung 13: Struktur der Strombereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 2012; [AGEE Stat 2013]



1) Inklusive Pflanzenöl; 2) Feste und flüssige Biomasse, Biogas, Klär- und Deponiegas, biogener Anteil des Abfalls; aufgrund geringer Strommengen ist die Tiefengeothermie nicht dargestellt; 1 TWh = 1 Mrd. kWh; Abweichungen in den Summen durch Rundungen;

Die Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien erfolgt überwiegend aus Bioenergie. Im Jahr 2012 hatte diese an den generierten 144,3 TWh einen Anteil von 91,0 %. Die restlichen 9,0 % wurden zu etwa gleichen Teilen aus Solar- und Geothermie generiert (Abbildung 14).

Abbildung 14: Struktur der Wärmebereitstellung aus erneuerbaren Energien in Deutschland 2012; [AGEE Stat 2013]



1) Inklusive Pflanzenöl; 2) Feste und flüssige Biomasse, Biogas, Klär- und Deponiegas, biogener Anteil des Abfalls; 1 TWh = 1 Mrd. kWh;

Nachfolgend wird für die wichtigsten erneuerbaren Energieträger (Wind, Sonne, Biomasse und Wasser) kurz jeweils der derzeitige Stand sowie ein kleiner Ausblick hinsichtlich der künftigen Entwicklung gegeben werden. Als Quellen dienten hierfür insbesondere die BMU-Abhandlungen „Erneuerbare Energien – Einstieg in die Zukunft“ [BMU 2011a] und „Erneuerbare Energien – Innovationen für eine nachhaltige Energiezukunft“ [BMU 2011b] sowie die Graphiken und Tabellen „Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2012“ der AGEE Stat [AGEE Stat 2013].

6.1 Windenergie

Mit 22.692 Windkraftanlagen und einer installierten Leistung von 31.315 Megawatt im Jahr 2012 steht Deutschland nach China und den USA auf Platz drei im internationalen Vergleich der Windenergienutzung. In einem durchschnittlichen Windjahr liefert die Windkraft in Deutschland derzeit

ca. 46 TWh Strom. Damit hat sich die Stromerzeugung aus Windkraft innerhalb der Dekade 2000-2012 mehr als verfünffacht [AGEE Stat 2013; DEWI 2013]. Dies wurde u. a. auch dank der rasanten Entwicklung der Anlagentechnik und -größe möglich. Betrug im Jahr 1987 die durchschnittliche Anlagengröße von Windkraftanlagen noch 50 kW, sind heute im Durchschnitt Anlagen mit einer Leistung von rund 2 MW in Betrieb, wodurch eine bessere Potenzialausschöpfung windgünstiger Standorte erfolgen kann. Vor diesem Hintergrund erfolgt auch das sogenannte „Repowering", das Austauschen alter Windkraftanlagen durch neuere, leistungsstärkere Anlagen. Die größten Anlagen, die derzeit im Einsatz sind, besitzen eine Leistung von 7,5 MW.

Künftig soll der Ausbau der Windkraft insbesondere durch Offshore-Anlagen vorangetrieben werden. In Deutschland liegen die für die Offshore-Windenergie-Nutzung geeigneten Flächen vornehmlich in der sogenannten „Ausschließlichen Wirtschaftszone" (AWZ). Aktuell sind 29 Offshore-Windparks mit einer Gesamtleistung von 10.000 MW genehmigt, bis Ende 2010 waren allerdings nur zwei davon fertiggestellt. Ziel ist es, bis 2030 Offshore-Windkraftanlagen mit einer Gesamtleistung von 25.000 MW installiert zu haben. Wird dieses Ziel erreicht, könnten allein mit den Offshore-Anlagen 15 % des deutschen Strombedarfs gedeckt werden.

Die Erzeugungskosten für Windstrom bewegen sich derzeit je nach Standort in einer Preisspanne von 6-11 ct/kWh für Onshore-Anlagen und 12-15 ct/kWh für Offshore-Anlagen.

6.2 Photovoltaik

Photovoltaikanlagen (PV-Anlagen) erzeugten im Jahr 2012 mit einer installierten Leistung von 32,643 GW in Deutschland ca. 28,0 TWh Strom, was nicht nur half, etwa 5,2 % des deutschen Netto-Stromverbrauchs zu decken, sondern gleichzeitig eine Treibhausgasemissionsreduktion in Höhe von rund 18,4 Mio. t CO_2 mit sich brachte [BDEW 2013; ISE 2013].

Die Investitionskosten und somit auch die Gestehungskosten von PV-Strom verringerten sich in den letzten Jahren deutlich. Letztere sanken von 2010 bis 2012 um mehr als die Hälfte und bewegen sich aktuell je nach Anwendungsfall und Technologie in einer Spanne von 13-14 ct/kWh (bei Freiflächen-Anlagen) und 14-16 ct/kWh (bei kleineren Anlagen auf Einfamilienhäusern) [Fraunhofer ISE 2012]. Dies hat dazu geführt, dass allein in den letzten Jahren über 20 GW zugebaut worden sind. Neben Lernkurveneffekten aufgrund der stark gestiegenen Fertigungszahlen hat in den letzten zwei Jahren auch ein Überangebot infolge der vor allem im asiatischen Raum massiv ausgebauten Produktionskapazitäten zu den Preissenkungen beigetragen und eine erste große Konsolidierungswelle eingeleitet.

Im Zuge der EEG-Novelle 2012 wurde eine Deckelung der PV-Förderung bis zu einem Ausbauziel von 52 GW eingeführt. Demgegenüber geht die UBA-Studie „Energieziel 2050" von einer installierten PV-Leistung von 120 GW im Jahr 2050 aus.

6.3 Solarthermie

Im Jahr 2012 belieferten über 1,5 Mio. Solarthermieanlagen mit insgesamt 16,3 Mio. m^2 Kollektorfläche deutsche Haushalte, Wohnsiedlungen sowie Gewerbe- und Industriebetriebe mit 6,05 TWh Wärme [AGEE Stat 2013]. Der Einsatz von solarthermischen Anlagen wird vom Marktanreizprogramm (MAP) gefördert. Dachanlagen auf Ein- oder Mehrfamilienhäuern sind mittlerweile Standard im Programm der Heizungsindustrie und des Fachhandwerks [vgl. BMU 2012a]. Aber auch für Industrieunternehmen kann die Bereitstellung von Heizenergie, Kühlung oder Prozesswärme durch Solarthermieanlagen eine attraktive Option darstellen. In Deutschland wird daher intensiv an der Weiterentwicklung solarer Prozesswärme geforscht [BMWi 2010]. Eine Studie der Universität Kassel [Lauterbach et al. 2011] schätzt das technische Potenzial solarer Prozesswärme in Deutschland auf 15,6TWh/ Jahr, womit 3,1 % des industriellen Wärmebedarfs gedeckt werden könnten. Runde 21 %

des industriellen Wärmebedarfs liegen im für Solarthermieanlagen geeigneten Bereich unter 100°C. Weitere 10 % der industriellen Wärme werden im Temperaturbereich 100-250°C benötigt, welcher mit weiterentwickelten solarthermischen Komponenten bereitgestellt werden kann. Hierzu besteht allerdings noch Forschungs- und Entwicklungsbedarfs. Mittel- oder langfristig gesehen birgt die solare Wärme ein großes Potenzial für die nachhaltige Energieversorgung Deutschlands. 800 km² Dachfläche von Gebäuden bieten sich als Kollektorfläche an. Darüber hinaus eignen sich Südfassaden, Parkplatzüberdachungen oder Straßenböschungen als Aufstellort für Solarkollektoren. Somit stehen – unter Berücksichtigung, dass ein Teil der Dachflächen für PV-Anlagen reserviert ist – insgesamt 1.300km² mögliche Kollektorfläche zur Verfügung [BMU 2011b].

Aufgrund der technischen Fortentwicklung und Marktausweitung konnten die Preise für solarthermische Anlagen seit den 80er Jahren um die Hälfte gesenkt werden, wobei die Preise in den letzten Jahren stagnierten [BSW 2012]. Derzeit betragen die Kosten für eine Solarthermieanlage etwa 700-900 € pro m² Kollektorfläche (inklusive Verrohrung, Speicher und Montage). BMU [2012b] geht davon aus, dass bis zum Jahr 2050 die Kosten pro m² Kollektorfläche auf 332 € gesenkt werden könnten. Bei größeren Anlagen gestalten sich die Kosten wesentlich niedriger als bei kleineren. Im Hinblick auf eine Kostenreduktion ist der Zusammenschluss mehrerer Anlagen in Form eines Nahwärmenetzes mit gemeinsamem Speicher sinnvoll. Auf diese Weise kann Sommersonnenwärme zu vertretbaren Kosten bis in den Winter gespeichert werden.

6.4 Biomasse

Im Jahr 2012 wurden 8,2 % des deutschen Endenergieverbrauchs durch Biomasse (Fest- und Flüssigbrennstoffe, Biogas, biogene Abfallstoffe) gedeckt [AGEE Stat 2013]. Diese Strom- und Wärmemenge wird dabei von 255 Holzheizkraftwerken, 7.500 Biogasanlagen sowie mehreren Millionen kleinen Biomasseheizungen erzeugt [BMU 2011b; FNR 2013].

Biomasse kann als wichtigster und auch vielseitigster erneuerbarer Energieträger angesehen werden. Sie kann in fester, flüssiger wie auch gasförmiger Form zur Strom- und Wärmeerzeugung verwendet werden. Der in Deutschland mit Abstand wichtigste biogene Brennstoff ist Holz (Holzreste, Alt- und Gebrauchtholz, Abfälle aus Sägereien etc.). Daneben liefert die Landwirtschaft mit dem Rapsanbau zur Biodieselproduktion sowie durch die Bereitstellung von Biosubstraten zur Biogaserzeugung (z.B. Silomais, Gülle/ Festmist) einen wichtigen Beitrag zur Bioenergienutzung. Des Weiteren stellen insbesondere im Hinblick auf eine nachhaltige Bioenergienutzung auch andere Abfälle biogenen Ursprungs (z.B. Klärgas/ Deponiegas oder Bioabfälle) wertvolle Lieferanten dar. Vor dem Hintergrund der Diskussion um die Nachhaltigkeit der Biomassenutzung bzw. um eventuellen Nutzungskonflikten, die sich aus der stofflichen und energetischen Nutzung von Biomasse ergeben können, zu vermeiden, wird die energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe künftig stärker in den Fokus rücken. Das Ausbaupotenzial von Biomasse wird auf etwa 10 % des aktuellen deutschen Energiebedarfs geschätzt [BMU 2011b].

Die Kosten und damit die Wirtschaftlichkeit der Bioenergieerzeugung hängen in starkem Maße von den Bereitstellungskosten des Biobrennstoffs ab. Letztere können negativ sein, wenn durch die Nutzung Entsorgungskosten eingespart werden oder aber - etwa beim Einkauf von Getreidepflanzen - Preise von 160 €/t erreichen. Holzpellets kosten ca. 3,5-5 ct/kWh. Die Kosten von Strom oder Wärme, die in Biogasanlagen erzeugt wird, bewegen sich in einer Preisspanne von 12-28 ct/kWh. Bei Holzkraftwerken schwanken die Stromgestehungskosten zwischen 8 ct/kWh (großes Altholzkraftwerk) und 20 ct/kWh (kleines Kraftwerk mit naturbelassenem Holz) [BMU 2011b].

6.5 Biogas

Aus heimischen Rohstoffen gewonnenes Biogas kann zu Bioerdgas, häufig auch als „Biomethan“ bezeichnet, aufbereitet und anschließend ins Erdgasnetz eingespeist werden.

Von den knapp 5.900 Biogasanlagen in Deutschland speisten Ende 2012 108 Anlagen ca. 413 Mio. m^3 aufbereitetes Biogas in Erdgasqualität in das Gasversorgungsnetz ein. Ziel ist es, bis zum Jahr 2030 10 Mrd. m^3 Biogas pro Jahr einzuspeisen [BNetzA 2013].

Die Gestehungskosten für aufbereitetes Biogas in Erdgasqualität bewegen sich mit 1,8 ct/kWh bis 8,3 ct/kWh in einer recht großen Spannbreite. Vor dem Hintergrund, dass die Anlagen unterschiedliche Mengen und nicht alle ganzjährig einspeisen, ergeben sich bei mengenmäßiger Gewichtung durchschnittliche Herstellungskosten von 5,3 ct/kWh [BNetzA 2013].

Informationen zur Preisgestaltung für Biomethan finden sich im Kap. 9.1.2.2.

6.6 Wasserkraft

Die installierte Leistung an Wasserkraftwerken in Deutschland liegt derzeit bei 4.400 MW [AGEE Stat 2013]. Der wesentliche Anteil davon wird durch etwa 350 Wasserkraftwerke mit einer Leistung von mehr als 1 MW bereitgestellt. Daneben sind noch ca. 7.300 kleine Wasserkraftanlagen (< 1 MW) installiert, deren Anteil an der o.g. Gesamtleistung jedoch gering ist. Rund 90 % des Wasserkraftstroms werden in Bayern und Baden-Württemberg produziert, da sich dort aufgrund ergiebiger Niederschläge und starker Gefälle im Gebirgsland eine Vielzahl günstiger Standorte für die Wasserkraftnutzung befindet.

Die Potenziale der Wasserkraft sind in Deutschland weitgehend erschlossen, weshalb der Fokus nun verstärkt auf der Modernisierung großer Laufwasserkraftwerke sowie auf Neubauten an bestehenden Querbauwerken liegt. Das auch unter ökologischen Vorbehalten heute verfügbare Ausbaupotenzial für die Wasserkraft in Deutschland wird von verschiedenen Studien auf 5 TWh/ Jahr beziffert.

Neben Faktoren wie den örtlichen Randbedingungen oder der Fallhöhe beeinflusst vor allem auch die Anlagengröße die Kosten (Investitionskosten und Stromgestehungskosten) einer Wasserkraftanlage. Im Leistungsbereich 70-1.000 kW kostet jedes installierte Kilowatt 8.500-10.000 € und die Stromerzeugungskosten bewegen sich zwischen 10-20 ct/kWh. Bei Großanlagen (10-100 MW) sind die Investitionskosten pro installiertes Kilowatt (2.000-4.000 €/kW) sowie die Stromgestehungskosten (4,5-10 ct/kWh) geringer. Mit 2,5-7,0 ct/kWh lässt sich Wasserkraftstrom am günstigsten durch die Reaktivierung oder Modernisierung von Bestandsanlagen generieren [BMU 2011b].

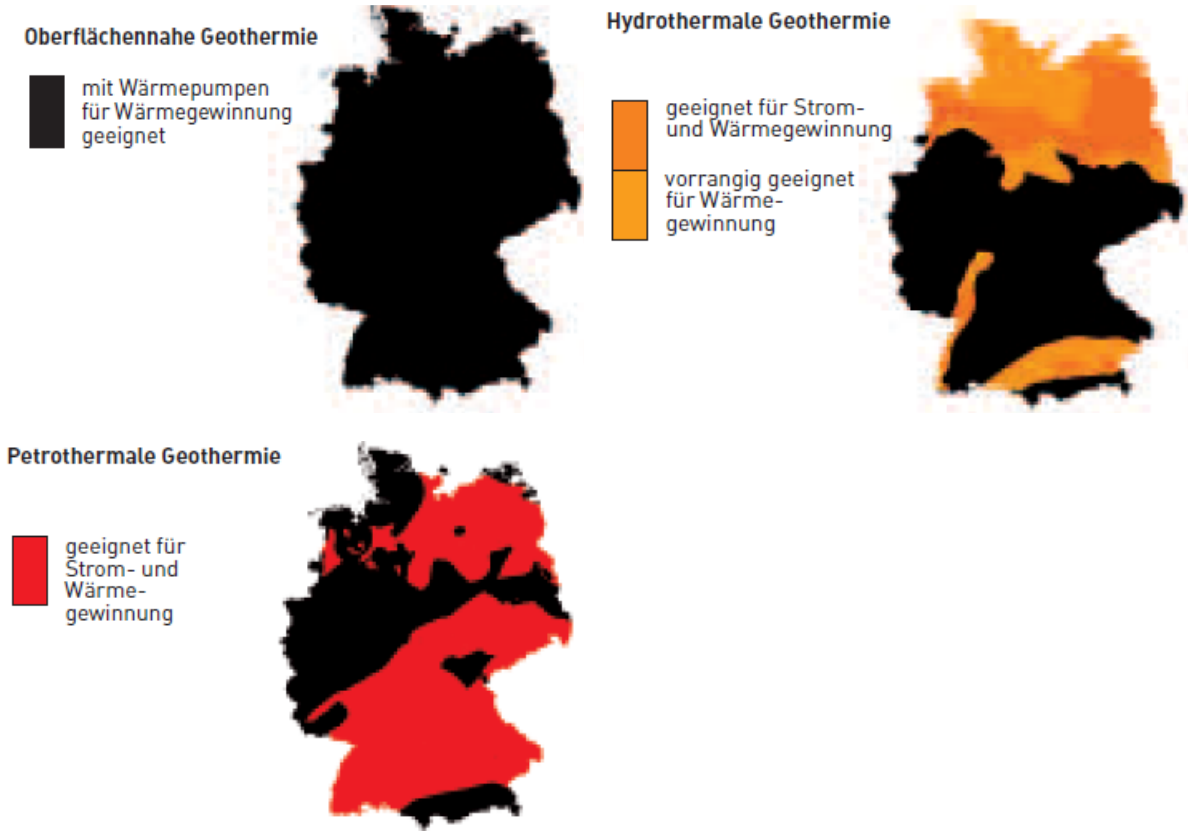
6.7 Geothermie

Die installierte geothermische Leistung (tiefe und oberflächennahe Geothermie) in Deutschland belief sich im Jahr 2012 auf über 2.500 MW, wobei 20 tiefengeothermische Anlagen (Heizwerke und Heizkraftwerke) 187 MW beisteuerten. Der Großteil der Geothermie-Anlagen ist dabei in Bayern installiert, gefolgt von Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Niedersachsen [Erdwärmeliga 2012]. Bei der Nutzung der Tiefengeothermie belegt Bayern mit rund 162 MW installierter Leistung noch deutlicher den ersten Platz.

Bei der oberflächennahen Geothermie werden Bohrungen bis in 400 m Tiefe abgeteuft, wo Temperaturen von max. 25°C herrschen. Mithilfe von Wärmepumpen wird das Temperaturniveau soweit angehoben, dass es zur Bereitung von Raumwärme und Warmwasser verwendet werden kann. Bei der Tiefengeothermie wird die Wärme in 400-6000 m Tiefe entzogen. Dabei wird entweder das heiße Wasser tiefgelegener Aquiferen hochgepumpt und verwendet (hydrothermale Geothermie) oder Wasser in das tiefe, heiße Gestein gepresst und das erwärmte Wasser wieder hochgepumpt und verwendet (petrothermale Geothermie (Hot-Dry-Rock (HDR-)-Verfahren)). Liegen die Temperaturen des Wassers oberhalb von 100°C, kann neben der Einspeisung der gewonnenen Wärme in Nah- und Fernwärmenetze auch die Stromerzeugung über Organic Rankine Cycle (ORC)-Turbinen attraktiv sein.

Der große Vorteil der Geothermie gegenüber anderen erneuerbaren Energiequellen ist, dass sie kontinuierlich und jahreszeitenunabhängig verfügbar ist. Dadurch eignet sich die Geothermie auch zur Grundlastversorgung. Dennoch geht der Ausbau der Geothermie in Deutschland recht langsam voran, was vornehmlich in den hohen Anfangsinvestitionskosten der Tiefengeothermie sowie aufwendigen Erkundungsmaßnahmen begründet liegt. Ferner gibt es Vorbehalte innerhalb der Bevölkerung, z. B. aufgrund von Erbeben, die in direktem Zusammenhang mit den Test- und Stimulationsmaßnahmen in Bohrlöchern geplanter Geothermieprojekte entstehen.

Abbildung 15: Örtliche Verteilung der Potenziale für die Geothermienutzung in Deutschland; Quelle: [AGEE 2010]



Aus **Abbildung 15** geht hervor, dass die oberflächennahe Geothermie mittels Wärmepumpen in der gesamten Bundesrepublik Deutschland genutzt werden kann (Abbildung o. links). Weiterhin kann ersehen werden, dass die örtliche Verteilung der für die petrothermale bzw. hydrothermale Geothermienutzung geeigneten Standorte vielerorts nebeneinander möglich ist.

Um die Energiebereitstellung aus Erdwärme voranzubringen, wären insbesondere in Bezug auf die Stromerzeugung, die Schaffung großer wärmetauschender Flächen im Untergrund (HDR-Verfahren), die Verbesserung des ORC-Verfahrens (Erhöhung des Wirkungsgrads der ORC-Turbinen) sowie der Bohrtechniken intensive Forschungs- und Entwicklungsarbeit nötig. Die Studie „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global“ [DLR et al. 2012] schätzt die Rolle der Geothermie auch bis zum Jahr 2050 als eher gering ein und führt Unsicherheiten über die breitere Realisierbarkeit als stromerzeugende Technologie als Hauptgrund hierfür an.

Je nach Temperaturniveau und Ergiebigkeit der Quelle liegen die Vollkosten der Wärmebereitstellung durch Tiefengeothermie bei 3-11 ct/kWh. Die Stromgestehungskosten liegen mit 17,6 – 27,9 ct/kWh [WFG 2011] deutlich höher. Das größte finanzielle Risiko bei Tiefengeo-thermieprojekten liegt in den bedeutenden Kalkulationsunsicherheiten bzgl. der Bohrkosten begründet. Diese liegen oft im zweistelligen Millionenbereich und sind im Durchschnitt für etwa 57 % der gesamten Investitionskosten verantwortlich. Potenzielle Investoren stehen vor der Schwierigkeit, dass die genauen wirtschaftlichen Parameter eines Tiefengeothermieprojekts erst nach Abteufen der Bohrungen und nach einem erfolgreichen Zirkulationstest bekannt sind.

Die spezifischen Kosten der Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen (oberflächennahe Geothermie) bewegen sich je nach Art, Größe und Standort zwischen 15-20 ct/kWh [BMU 2011b].

Durch die Realisierung der eingangs genannten Ausbauziele für die erneuerbaren Energien soll eine Reduktion der deutschen Treibhausgasemissionen um 40 % bis zum Jahr 2020 (bezogen auf das Jahr

1990) erwirkt werden. Bis zum Jahr 2050 sollen die Emissionen um 80-95 % (Referenzjahr 1990) gesenkt werden. Für die Erreichung dieser ambitionierten Ziele ist es zwingend erforderlich, dass die deutsche Industrie einen bedeutenden Beitrag hierzu leistet. Vor diesem Hintergrund soll in den Kapiteln 6 ff. untersucht werden, welche Möglichkeiten sich für den Einsatz erneuerbarer Energien in der Gießereiindustrie bieten.

6.8 Abgleich der örtlichen Verteilung erneuerbarer Energien (Windkraft und PV) und Gießereien in der BRD

Vor dem Hintergrund der Frage, inwieweit neben dem Zukauf die Eigenerzeugung erneuerbarer Energie für die deutsche Gießereiindustrie sinnvoll ist, erfolgte im Rahmen der vorliegenden Studie ein Abgleich der Gießereistandorte mit den Potenzialen für Windkraft und Photovoltaik in Deutschland. Geothermie wird in diesem Zusammenhang nicht betrachtet, da der Geothermie auch längerfristig keine tragende Rolle zugesprochen wird (siehe Kapitel 4.7).

Die **Tabelle 8** gibt die örtliche Verteilung der Gießereibetriebe, die Mitglied im BDG- Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie sind - aufgeschlüsselt nach Postleitzahlgebieten wieder. Die **Abbildung 16** zeigt, wie sich die Postleitzahlengebiete geographisch über die Bundesrepublik Deutschland verteilen. Es wird ersichtlich, dass sich in Nordrhein-Westfalen, Baden-Württemberg und Sachsen die größte Anzahl von Gießereibetrieben finden.

Tabelle 8: Örtliche Verteilung der Gießereibetriebe, die Mitglied im BDG sind, nach Postleitzahlgebieten [BDGUSS 2012]

PLZ	Eisengießereien		Nichteisengießereien		Anzahl Gießereien insgesamt
	Anzahl absolut	Anzahl [%]	Anzahl absolut	Anzahl [%]	
0	27	14,92	17	9,29	44
1	2	1,10	6	3,28	8
2	9	4,97	7	3,83	16
3	25	13,81	12	6,56	37
4	26	14,36	23	12,57	49
5	28	15,47	35	19,13	63
6	16	8,84	11	6,01	27
7	19	10,50	37	20,22	56
8	9	4,97	18	9,84	27
9	20	11,05	17	9,29	37
Summe	**181**	**100 %**	**183**	**100 %**	**364**

Abbildung 16: links: Deutschlandkarte mit örtlicher Aufteilung in die verschiedenen Postleitzahlgebiete Quelle: [IfG]; rechts: Deutschlandkarte mit Aufteilung nach Bundesländern

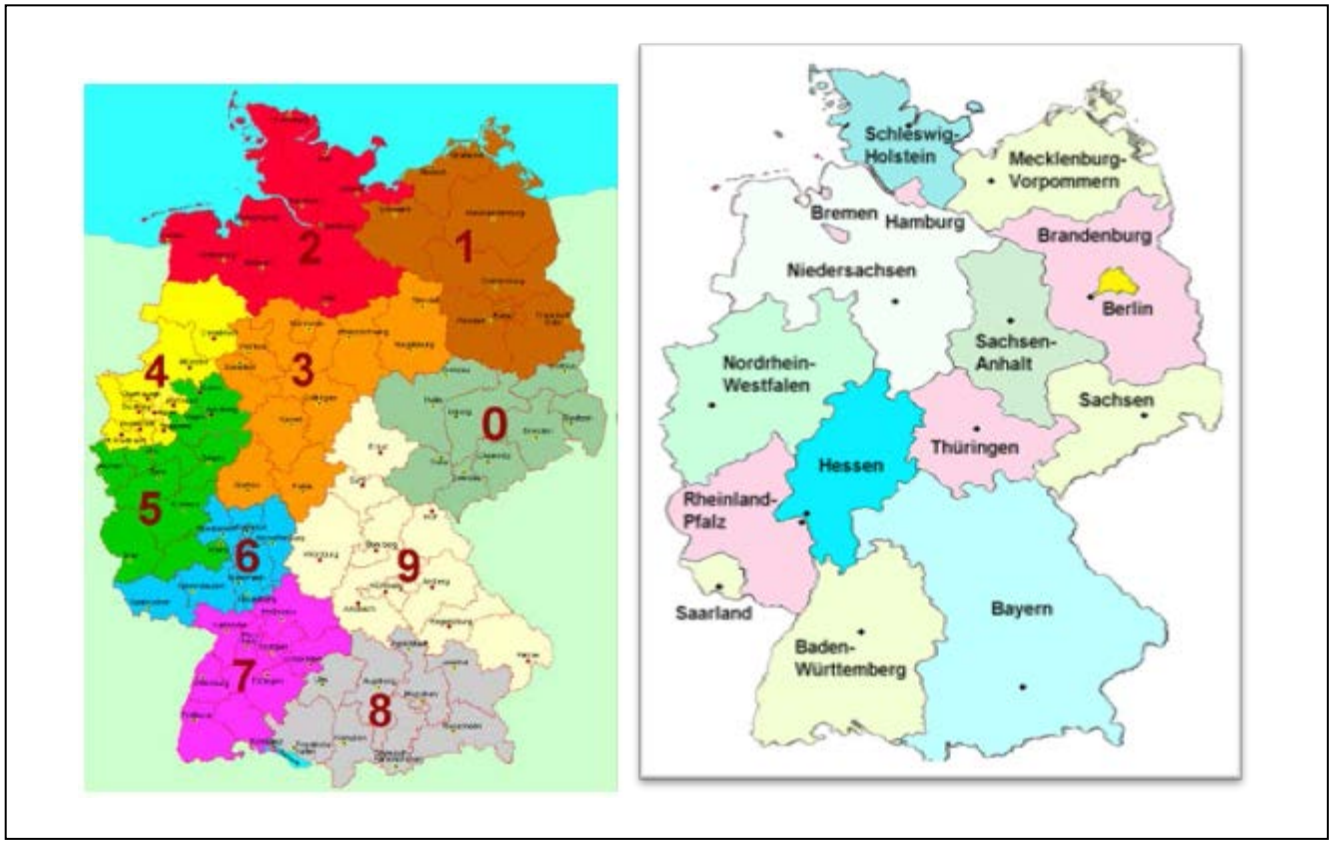
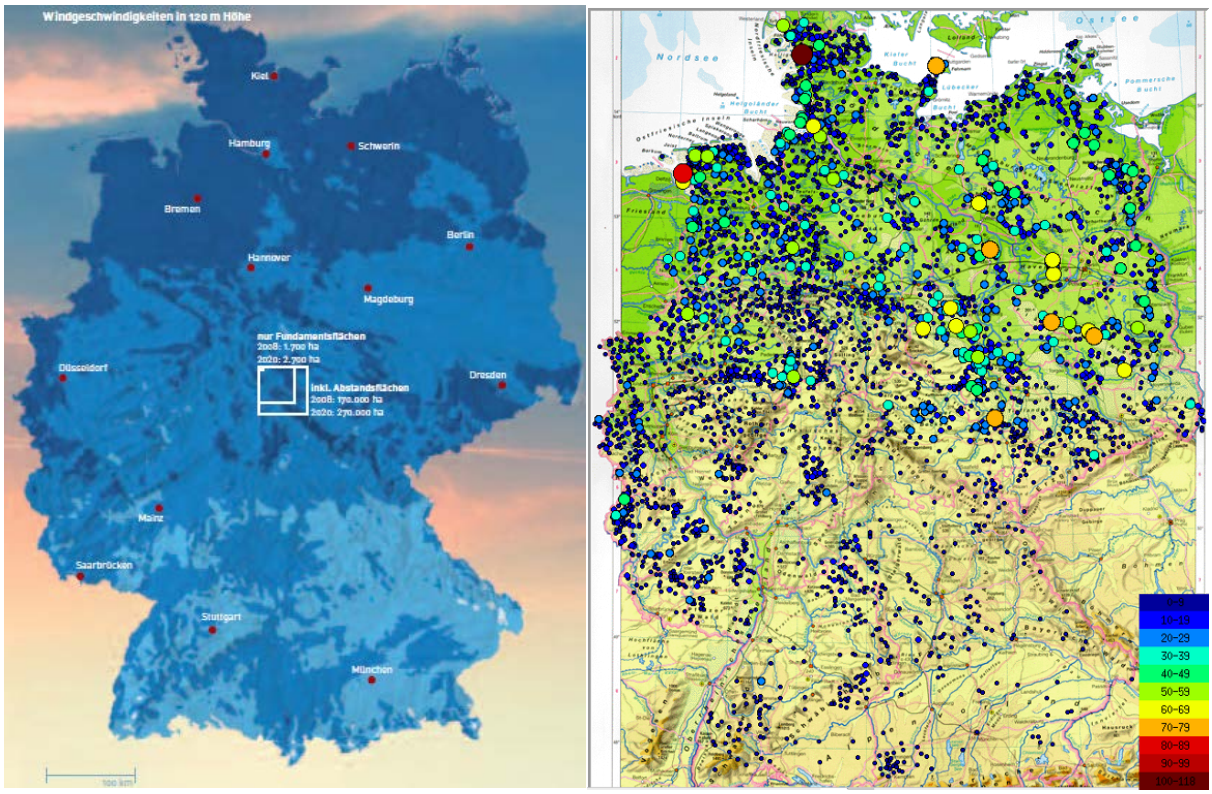


Abbildung 17 zeigt die Potenziale für die Windenergienutzung in Deutschland sowie die geographische Verteilung der installierten Windkraftanlagen (rechte Karte). Es wird deutlich, dass vor allem die Küstengebiete sehr gute Potenziale für die Windkraftnutzung aufweisen. Aber auch in Nordrhein-Westfalen, Sachsen und Teilen Baden-Württembergs besteht gutes Windkraftpotenzial.

Abbildung 17: Örtliche Verteilung der Potenziale für Windenergienutzung und Verteilung der installierten Windenergieanlagen; Quelle [links: AGEE 2010; rechts: Fraunhofer IWES 2013]



Allerdings sind nicht alle für die Windkraftnutzung geeigneten Flächen auch wirklich für diese nutzbar, da eine Reihe von Restriktionen wie z.B. Gewässer, Siedlungsflächen oder Abstandsregelungen einer Nutzung entgegenstehen können. Eine Studie des Bundesverbandes WindEnergie [BWE 2012] berechnete daher, wie groß die für Windkraft nutzbaren Flächen pro Bundesland sind und welches Energie- und Leistungspotenzial sich jeweils bei Nutzung von 2 % der Landesflächen ergeben würde. Als für die Windkraft nutzbar wurden dabei drei Kategorien von Flächen definiert: Flächen ohne jegliche Restriktionen, nutzbarer Wald ohne Schutzgebiet sowie nutzbare Schutzgebiete. Als nicht nutzbar deklariert wurden Flächen wie Nationalparks, Naturschutzgebiete, bebaute Flächen, Gewässer, Gletscher und dauerschneegebiete sowie in Gezeitenzonen liegende Flächen. Aufgrund der großen Waldflächen ist insbesondere in den südlichen Bundesländern Bayern, Rheinland-Pfalz, Hessen sowie Baden-Württemberg die Nutzung von Waldflächen inner- und außerhalb von Schutzgebieten für die Windkraftnutzung relevant. So sind in Baden-Württemberg 21 % der Landesfläche für die Windkraft nutzbar, wobei 16 % auf nutzbare Wald- und Schutzgebiete entfallen und nur 5% auf Flächen ohne Restriktionen. In Nordrhein-Westfalen sind 16 % der Landesfläche für die Windkraft nutzbar und in Sachsen sind es 14 % [BWE 2012]. Die nachfolgende Tabelle zeigt nach Bundesländern aufgeschlüsselt die Größe der für die Windkraft nutzbaren Flächen sowie welche Energie- und Leistungspotenziale sich bei Nutzung von 1% bzw. 2% der jeweiligen Landesfläche realisieren lassen (bei Zugrundelegung der in der Studie getroffenen Annahmen).

Tabelle 9: Potenziale für die Windenergienutzung aufgeschlüsselt nach den deutschen Bundesländern; Quelle [BWE 2012]

	Maximales Potenzial		Volllast-stunden	Nutzung von 1 % der Fläche		Nutzung von 2 % der Fläche	
	Gesamt	Flächen ohne Restriktionen		Leistung [GW]	Ertrag [TWh]	Leistung [GW]	Ertrag [TWh]
Deutschland	1581	722	2071	94	195	189	390
Summe der Bundesländer	1581	722	2071	100	206	198	410
Baden-Württemberg	163	46	1953	12	23	23	45
Bayern	316	115	1948	21	40	41	80
Berlin	0,3	0	1793	0,3	0,6	0,3 (0,6)	0,6
Brandenburg	139	55	1920	6,7	13	13	26
Bremen	0,2	0,1	2053	0,2	0,3	0,2 (0,4)	0,3
Hamburg	0,3	0,1	1936	0,3 (1,0)	0,6	0,3 (2,0)	0,6
Hessen	77	24	1965	7,1	14	14	28
Mecklenburg-Vorpommern	139	84	1985	5,7	11	11	23
Niedersachsen	292	160	2146	13	28	26	56
Nordrhein-Westfalen	86	45	2011	10	20	20	41
Rheinland-Pfalz	60	25	2037	6,1	12	12	25
Saarland	2,4	0,6	1933	1,4	2,7	2,4 (2,8)	4,6
Sachsen-Anhalt	91	47	2074	3,7	7,7	7,4	15
Sachsen	55	24	2027	4,9	10	10	20
Schleswig-Holstein	98	62	2605	4,3	11	9	23
Thüringen	64	34	1977	3,7	7,4	7,5	15

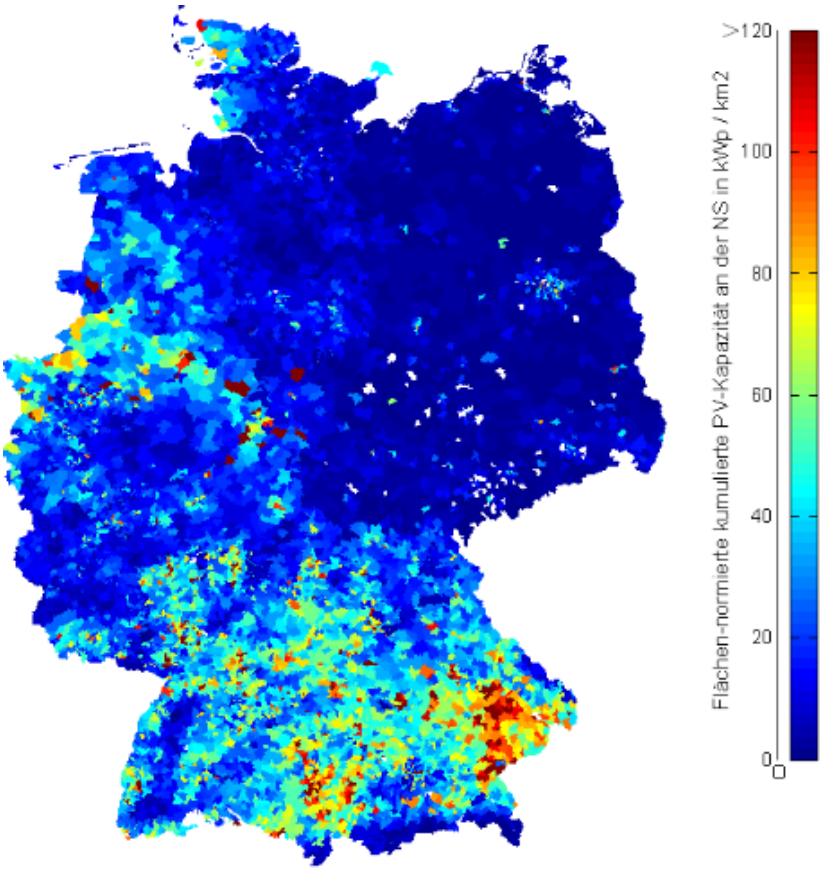
Der **Tabelle 9** ist zu entnehmen, dass in den Regionen mit größerer Gießereidichte bei einer Nutzung von 2 % der Landesfläche in Baden-Württemberg 23 GW Windkraftleistung, in Nordrhein-Westfalen 20 GW und in Sachsen 10 GW realisiert werden können.

Neben den oben genannten Restriktionen können allerdings noch verschiedene andere Aspekte bewirken, dass die theoretisch nutzbaren Flächen nur zu einem Teil genutzt werden können. Als Beispiele solcher Einflussfaktoren sind Besitzfragen, Vorkommen seltener Tierarten, Störungen des Bundeswehrradars oder auch einzelne Gebäude zu nennen, die nicht kartographisch erfasst sind (z.B. Bauernhöfe). Dadurch kann sich die jeweils für die Windkraft nutzbare Fläche mitunter etwas verkleinern. Die in **Tabelle 9** genannten Potenziale lassen sich jedoch mit hoher Wahrscheinlichkeit realisieren.

Abbildung 18 zeigt die Verteilung der flächennormierten kumulierten PV-Kapazität in Deutschland. Es wird deutlich, dass die größte Anzahl von PV-Anlagen in Süddeutschland installiert ist. Während die durchschnittliche Leistungsdichte für Deutschland 23kW_p/km^2 beträgt, liegt diese in einigen Regionen Bayerns bei 120kW_p/km^2. Die Verteilung entspricht dabei weitestgehend der Verteilung der Strahlungsintensität in Deutschland. Diese nimmt gen Süden bzw. Süd-Westen zu. Danach stehen Gießereistandorten in Bayern, Baden-Württemberg sowie im nördlichen Nordrhein-Westfalen weitaus höhere Strahlungsinstensitäten für die PV-Nutzung zur Verfügung als Gießereien in östlichen Regionen (z.B. Sachsen). Obgleich eine höhere Sonneneinstrahlung in der Regel auch zu höheren Erträgen in der Stromerzeugung führt, kann grundsätzlich jedoch überall in Deutschland der Bau von

PV-Anlagen sinnvoll und wirtschaftlich sein. Ein Vorteil von PV- gegenüber Windkraftanlagen ist darin zu sehen, dass die Errichtung von PV-Anlagen wesentlich weniger Restriktionen unterliegt.

Abbildung 18: Übersicht über die flächennormierte, kumulierte PV-Kapazität in Deutschland;



Quelle: [Fraunhofer IWES 2012]

So spielen insbesondere bei Dachanlagen limitierende Faktoren wie z.B. Abstandsregelungen, Schattenwurf, Artenschutz oder Flächenversiegelung keine Rolle. Ob und inwieweit Staubablagerungen bei Dachanlagen auf Gießereibetrieben Einfluss auf die Erträge haben, ist nicht bekannt. Mögliche Lösungsansätze, um etwaige negative Einflüsse zu minimieren, sind ein steilerer Aufstellwinkel oder die manuelle oder automatische Reinigung der Anlagen, was jedoch zu höheren Betriebskosten führt..

Der größte limitierende Faktor für den Beitrag von PV-Dachanlagen zum Strombedarf von Gießereibetrieben liegt jedoch im Flächenverbrauch begründet. Nach [Fraunhofer ISE 2013] beläuft sich der nominelle Wirkungsgrad von kommerziellen waferbasierten PV-Modulen[1] im Mittel auf 14-15 %, bei Spitzenmodulen auf 20 %. Damit erbringen die Module pro Quadratmeter eine Nennleistung von 140-150 W (bzw. 130 kWh), Spitzenmodule bis 200 W (bzw. 180kWh). Infolgedessen wäre für eine Nennleistung von 3 MW, welche eine einzige Windkraftanlage erbringen kann , eine Fläche von etwa 15.000 m² (Spitzen-PV-Module) bzw. 20.690 m² (normale PV-Module) notwendig. Auf flachen Dächern sowie im Freiland werden Module aufgeständert, um ihren Ertrag zu erhöhen. Aufgrund der dadurch notwendigen Beabstandung belegen die Module sogar das 2,5fache ihrer eigenen Fläche [Fraunhofer IWES 2013]. Berücksichtigt man diesen Umstand, so erhöht sich die Fläche, welche zur Erbringung von 3 MV-PV-Leistung erforderlich ist, auf 37.500 m² (Spitzen-PV-Module) bzw. 51.725 m² (normale PV-Module).

[1] Waferbasierte PV-Module sind Module mit Solarzellen auf Basis von Siliciumscheiben

Ungeachtet der Tatsache, dass selbst mit einer 3 MW-PV-Anlage lediglich ein Teil des Strombedarfs eines typischen Gießereibetriebs gedeckt werden könnte, dürfte eine so große Fläche auf den wenigsten Gießereibetrieben als Aufstellfläche für PV-Anlagen zur Verfügung stehen. Vor diesem Hintergrund wird deutlich, dass PV-Dachanlagen in Gießereibetrieben eher zur Bereitstellung des Strombedarfs der Verwaltungsgebäude als des eigentlichen Gießereiproduktionsbetriebes geeignet sind.

Soll ein Anteil des eigentlichen Strombedarfs im Megawatt-Bereich durch PV-Anlagen gedeckt werden, so kommen nur große Freiflächenanlagen in Frage. Allerdings stehen bei weitem nicht allen Gießereibetrieben angrenzende bzw. in räumlicher Nähe befindliche Freiflächen zur Verfügung, um darauf PV-Anlagen zur Stromeigenerzeugung zu errichten.

6.9 Möglichkeiten zur Stromspeicherung angesichts volatiler Verfügbarkeit der erneuerbaren Energien

Mit dem steigenden Anteil erneuerbarer Energien an der Energie- und Stromversorgung kommt den verschiedenen Speichermöglichkeiten, die es ermöglichen, die Schwankungen der Energieerzeugung den Schwankungen des Energieverbrauchs anzugleichen und auf diese Weise die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, zunehmend Bedeutung zu. Denn mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien sind in Zukunft wachsende Stromüberschüsse zu erwarten, die nicht unmittelbar genutzt werden können. Um künftig eine weitgehende Nutzung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu ermöglichen und um längere Phasen stark schwankender Stromproduktion zu überbrücken, gilt es daher, ausreichend Speicherkapazitäten bereitzustellen. Grundsätzlich lassen sich Kurzzeitspeicher und Langzeitspeicher unterscheiden. Kurzzeitspeicher werden vor allem dafür eingesetzt, um kurzfristige Schwankungen im Tagesverlauf auszugleichen (z.B. Tag-/Nachtausgleich bei der Stromerzeugung von Photovoltaikanlagen). Langzeitspeicher dienen dagegen dazu, über Wochen oder saisonale Zeitspannen hinweg Stromüberschüsse zu speichern, um sie in Zeiten unzureichender erneuerbarer Stromproduktion wieder zur Verfügung zu stellen und somit die Versorgungssicherheit in diesen stromarmen Zeiten zu gewährleisten.

Weiterhin lassen sich die verschiedenen Speichertechnologien hinsichtlich der gespeicherten Energieform (mechanische, chemische, thermische o. elektrische Energie), des verwendeten Energieträgers sowie des Prozesses zur Umwandlung und Speicherung von Energie unterscheiden [dena 2012b]. Zu den am meisten diskutierten Speichertechnologien zählen:

- **Pumpspeicherwerke:** überschüssiger Strom wird dafür verwendet, Wasser von einem niedrig in ein höher gelegenes Becken zu pumpen. Wird der Strom wieder benötigt, wird das Wasser über eine Turbine, die Strom generiert, wieder in das tiefergelegene Becken zurückgeleitet.
- **Druckluftspeicher:** mit überschüssigem, erneuerbarem Strom wird Luft in Kavernen gedrückt. Wird wieder Strom benötigt, wird die Luft über einen Generator entspannt und Strom erzeugt.
- **Akkumulatoren:** mobile Batteriespeicher, speichern den Strom elektrochemisch.
- **Chemische Speicher:** Akkumulator und Redox-Flow-Zelle. Überschüssiger Strom wird dafür genutzt, um eine chemische Reaktion anzutreiben. In Strombedarfszeiten kann die Reaktion umgekehrt ablaufen und dabei Strom erzeugen.
- **Power-to-Gas**: überschüssiger Strom wird dafür verwendet, durch Elektrolyse, ggf. ergänzt durch Methanisierung, EE-Gas (Wasserstoff oder Methan) herzustellen, welches in großen Mengen in Untertagespeichern vorgehalten werden und in Bedarfs
- zeiten wieder zur Strom- oder Wärmeproduktion genutzt werden kann.

Die nachfolgende **Abbildung 19** zeigt einen Vergleich der Fähigkeiten der verschiedenen Speichertechnologien in der Übersicht.

Abbildung 19: Technologien zur Stromspeicherung - Fähigkeiten, Kosten, Reifegrad [BCG 2013]

Technologielinie		Speicher-leistung	Kapazität	Spez. Investitions-kosten	Lebens-dauer	Reak-tions-zeit	Zyklen-wirkungs-grad	Flex. Stand-ortwahl	Modu-larität	Reife-grad
Stromspeicher		Kennzahlen (Stand heute)			Einsatzmöglichkeiten					
Ultrakurz-zeitpeicher	Mechanische und elektrische Spei-cher	< 2 MW	< 10 kWh	€ 200 – 300 /kW	20 Jahre	~ ms	80 %	Hoch	Hoch	Hoch
Kon-ventionell	Chemische Niedrigtempera-turspeicher	< 10 MW	< 10 MWh	€ 300 – 400 /kW[47]	8 – 15 Jahre	~ ms	80 %	Hoch	Hoch	Hoch
	Chemische Hoch-temperatur-speicher	< 50 MW	< 200 MWh	€ 200 – 1500 /kW[48]	15 – 20 Jahre	~ ms	80 %	Mittel	Hoch	Mittel
	Chemische Redox-Flow-Batterien	< 5 MW	< 10 MWh	€ 1100–1300 /kW[49]	15 – 20 Jahre	< 10 ms	70 %	Mittel	Hoch	Mittel
	Pumpspeicher	0,1 – 5 GW	5 – 30 GWh	€ 800 – 1600 /kW	> 50 Jahre	~ 1 min	70 – 80 %	Gering	Mittel bis gering	Hoch
	Druckluft	100 – 800 MW	< 2 GWh	€ 500 – 1000 /kW[50]	> 30 Jahre	s – min	45 – 70 %[51]	Gering	Mittel	Mittel
Langzeit-speicher	"Power-to-Gas"	100 – 800 MW	> 100 GWh	€ 2300–2600 /kW[52]	> 20 Jahre	s – min	30 – 40 %	Mittel	Hoch	Gering

47. Investitionskosten € 1.000 – 1.500 pro kWh.
48. Untere Grenze: NaNiCl-Batterien, obere Grenze: NaS-Batterien, Investitionskosten NaS € 360 – 440 pro kWh.
49. Investitionskosten € 60 – 80 pro kWh.
50. Investitionskosten € 100 – 200 pro kWh.
51. Inkl. adiabatischem Druckluftspeicher (z. B. ADELE-Projekt).
52. Investitionskosten ca. € 0,5 pro kWh.

Das Problem bzgl. der Stromspeicher ist derzeit der Umstand, dass für ausgereifte Technologien wie Pumpspeicherwerke in Deutschland lediglich ein begrenztes Ausbaupotenzial vorhanden ist, während Speichertechnologien mit hohem Ausbaupotenzial gegenwärtig noch nicht zu dem nötigen Reifegrad gelangt sind. Begrenzte Lebensdauer, geringe Speicherkapazitäten oder auch hohe spezifische Kosten lassen kurz- bis mittelfristig gesehen keinen großtechnischen und wirtschaftlichen Einsatz erwarten. Um die Speichertechnologien zur ausreichenden Marktreife zu führen, ist noch umfangreicher Forschungs- und Entwicklungsbedarf nötig.

Unter den o.g. Speichertechnologien gilt die Power-to-Gas-Technologie als vielversprechendste Lösung, um künftig große Mengen erneuerbaren Stroms langfristig zu speichern. Der Power-to-Gas-Ansatz verknüpft dabei Strom- und Gasnetz, indem überschüssiger Strom in Wasserstoff oder synthetisches Erdgas (auch Windgas oder EE-Gas genannt) umgewandelt und im Erdgasnetz gespeichert wird. In Strombedarfszeiten kann eine Rückverstromung in Gaskraftwerken erfolgen. Gespeichert werden kann dieses EE-Gas in bereits vorhandenen unterirdischen Erdgasspeichern, deren Kapazität bereits zum gegenwärtigen Zeitpunkt für eine regenerative Vollversorgung ausreichen würde.

Die Umwandlung in synthetisches Erdgas erfolgt dabei in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird mittels Elektrolyse Wasserstoff erzeugt, im zweiten Schritt folgt die Methanisierung durch Zugabe von CO_2. Der Schritt der Methanisierung ist einerseits wiederum mit einem Energieeinsatz und entsprechenden Verlusten behaftet, andererseits steigt der volumetrische Energieinhalt um bis zu 300 % gegenüber reinem Wasserstoff [Zfes 2012].

Auch ist die Direkteinspeisung von Wasserstoff in das bestehende Gasnetz nicht ohne Weiteres in unbegrenztem Umfang möglich, da sie an technische Restriktionen und Grenzen verschiedener technischer Regelwerke gebunden ist. So erlaubt das DVGW-Regelwerk derzeit Beimischungen nur

im einstelligen Bereich. Im Rahmen seiner laufenden „Innovationsoffensive Gastechnologie“ untersucht der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches (DVGW) jedoch etwaige Einflüsse auf Turbinen, Erdgasfahrzeuge, häusliche Endanwendungen sowie großtechnische Strukturen wie Speicher, um daraus die maximal mögliche Wasserstoffkonzentration im Erdgasnetz zu ermitteln. Eine Beimischung von bis zu 10 Volumenprozent wird bereits heute für unbedenklich erachtet, bis zu 20 Volumenprozent werden für künftig möglich gehalten. Im Rahmen des EU-Projekts NATURALHY wurden moderne Brennwertgeräte für den häuslichen Gebrauch über ein Jahr lang sogar mit einem Erdgas-Wasserstoff-Gemisch mit bis zu 40 Vol.-Prozent Wasserstoff betrieben, ohne dass Störungen auftraten. Allerdings wurden geringfügige Leistungseinbußen der Geräte festgestellt, was auf den niedrigeren Heizwert von Wasserstoff zurückzuführen ist. Weiterhin kann ein erhöhter Wasserstoffanteil aus materialtechnischer Sicht zu Problemen führen. Bei Rohrleitungen aus PVC und PE kommt es aufgrund des geringeren Moleküldurchmessers gegenüber Erdgas zu einer erhöhten Permeationsrate. Bei einigen Stählen kann es bei Wasserstoffkonzentrationen von >20 Vol.-Prozent zu einer Versprödung des Materials (wasserstoffinduzierte Korrosion) kommen, welche in der Folge zu einem beschleunigten Wachstum von Rissen führt [Hüttenrauch & Müller Syring 2010].

Obgleich vielversprechend, befindet sich die Power-to-Gas-Technologie heute noch im Forschungs- und Entwicklungsstadium. Die Investitionskosten für die Anlagentechnik liegen gegenwärtig deutlich über dem, was am Markt wirtschaftlich darstellbar wäre. Zudem gilt es einige Standortfaktoren zu berücksichtigen, soll die Umsetzung des Power-to-Gas-Konzepts im großen Maßstab nicht nur erfolgreich sondern auch ökologisch und ökonomisch sinnvoll erfolgen. Zu diesen Faktoren gehört die erforderliche Nähe der Power-to-Gas-Anlage zu erneuerbaren Stromquellen, da das Stromnetz maximal entlastet wird, wenn die Umwandlung des erneuerbaren Stroms in Wasserstoff oder synthetisches Erdgas nahe der erneuerbaren Stromerzeuger erfolgt. Auch sollten Power-to-Gas-Anlagen im Umfeld von Gasnetzanschlusspunkten errichtet werden, welche geeignet sind, die volatil erzeugte Wasserstoff- bzw. EE-Gasmenge aufnehmen zu können. Weiterhin sind die Kosten und Verfügbarkeit des für die Methanisierung benötigten Kohlenstoffdioxids bei Power-to-Gas-Projekten zu berücksichtigen. Nach Möglichkeit gilt es zu versuchen, Synergieeffekte mit anderen Prozessen zu schaffen und auszunutzen. So könnten beispielsweise (bestehende) Biogasanlagen CO_2-Quellen darstellen. Die Nähe zu potenziellen (industriellen) Abnehmern von Wasserstoff bzw. EE-Gas sowie die Möglichkeit, die Nebenprodukte Wärme und Sauerstoff absetzen zu können, tragen ebenfalls zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit sowie zur Erhöhung des energetischen Nutzungsgrads bei und stellen somit weitere, wichtige Standortfaktoren für Power-to-Gas-Anlagen dar.

Derzeit sind in Deutschland mehrere Pilotanlagen (z.B. E.ON Pilotanlage Falkenhagen, Audi-e-gas-Anlage Werlte, Etogas-Alpha-Anlage Stuttgart) in Betrieb, wobei weitere hinzukommen sollen, um die Entwicklung der Technologie voranzubringen und in der Folge Kostensenkungspotenziale zu realisieren. Es wird davon ausgegangen, dass die Power-to-Gas-Technologie ab 2020-2030 eine Rolle im industriellen Maßstab spielen wird [dena 2012; Zfes 2012].

Dass eine vollständig regenerative Elektrizitätsversorgung schon im kleineren Maßstab möglich ist, bewies eine Unternehmensinitiative auf Erzeugerseite mit Verknüpfung von 36 Kraftwerken zu einem virtuellen Kombikraftwerk. Dieser virtuelle Zusammenschluss repräsentierte ungefähr ein Zehntausendstel des gesamtdeutschen Kraftwerkparks. Das Projekt demonstrierte mit den Wind- und solaren Strahlungsverhältnissen des Beispieljahres 2006, „dass ein Kombikraftwerk, welches zu 100 % auf regenerative Quellen zurückgreift, schon heute voll funktionsfähig und bedarfsgerecht steuerbar ist.“ Allerdings zeigte sich auch, dass aufgrund erhöhter Produktion von erneuerbarer Energie die Anforderungen an bestehende Stromnetze und konventionelle Kraftwerke steigen. Gegenwärtig ermöglichen nur Pumpspeicherkraftwerke, größere überschüssige Strommengen zu speichern, um diese dann in sonnen- und windarmen Zeiten abzugeben. Ein Pilotprojekt untersucht gegenwärtig, ob die Elektrolyse in Aluhütten sich als „Energiespeicher“ eignet. Alle anderen Speicher sind heute noch nicht ausgereift oder im Forschungsstadium.

7 Energieeinsatz im Gießereiprozess

7.1 Verteilung des Energieeinsatzes in Gießereien

Abbildung 20 und **Tabelle 10** zeigen den Energieeinsatz in deutschen bzw. europäischen Gießereien. Hierbei ist die Verteilung in europäischen Gießereien als Ergebnis eines europäischen Projektes erst Anfang 2012 veröffentlicht worden. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Verteilung des Energieeinsatzes auch für deutsche Gießereien typisch ist

Abbildung 20: Verteilung des Energieeinsatzes in Eisen-, Stahl- und Tempergießereien [Energieeffiziente Gießerei 2009]

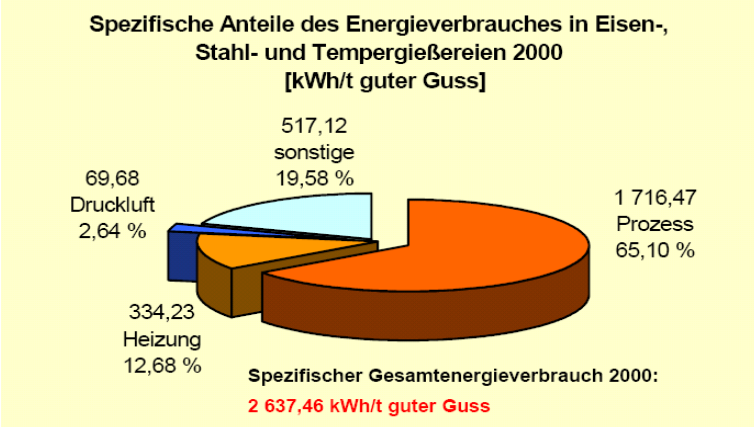


Tabelle 10: Energieverteilung in europäischen Gießereien [Foundrybench 2012]

Unit processes	Iron foundry energy share, % and the range, ±%		Steel foundry energy share, % and the range, ±%		Nonferrous foundry energy share, %, the range , ±%	
Melting	55	±10	45	±5	65	±10
Annealing	1	±1	25	±2		
Drives	12	±4	9	±2	11	±5
CA-system	7	±3	5	±2	5	±3
Ladle preheat	4	±2	4	±2	3	±2
Venti-lation	14	±5	7	±5	10	±8
Heating	3	±2	2	±1	3	±2
Lighting	4	±1	3	±1	3	±1
Total		100		100		100

In **Tabelle 10** gibt “Antriebe” (“Drives”) den Energieeinsatz bei allen motorbetriebenen Mischern, Kränen, Pumpen oder Gebläsen an. Der Wert enthält keine Verbräuche, die bei der Drucklufterzeugung auftreten; diese Verbräuche sind separat als „Druckluft“ („CA“) angegeben. „Luftreinhaltung“ („Ventilation“) umfasst die Be- und Entlüftung, ggf. mit Luftvorwärmung. „Heizung“ („Heating“) meint die Raumheizung mit Strahlern, Bodenheizung o.a.

Abbildung 21 zeigt für Eisengießereien, in welchen Schwankungsbreiten die Energieverteilung auftritt. Einflussgrößen sind die unterschiedlichen Prozesse und Anlagen, welche wiederum relevant von der Art, Größe und der produzierten Stückzahl an Gussteilen abhängen.

Abbildung 21: Verteilung des Energieeinsatzes in fünf deutschen Eisengießereien, angegeben in % [Energieeffiziente Gießereibetrieb 2009]

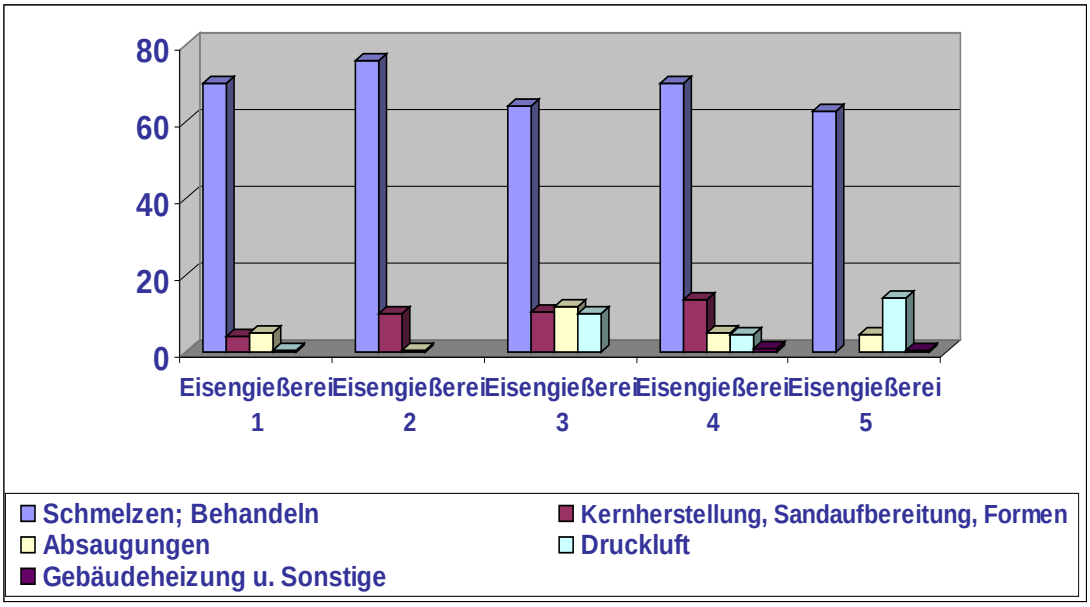


Tabelle 1 zeigt die Verteilung der Energiekosten für Eisen-, Stahl- und Nichteisenmetallgießereien in Europa.

Tabelle 11: Energiekostenverteilung in europäischen Gießereien [Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009]

Prozess	Anteil (%) an Energiekosten		
	Eisen	Stahl	Nichteisenmetalle
Schmelzbetrieb	50 -60	25 -35	40 - 55
Wärmebehandlung	0 - 5	25 - 35	0 - 2
Pfannenwirtschaft	10 -15	10 -15	5 -10
Formen	8 -12	5 - 9	10 - 20
Putzerei	5 -10	8 -12	10 -12
Be- und Entlüftung	7 -10	5 -10	5 - 8
Heizung	7 - 9	8 -10	10 -12

Die Verteilung des Energieeinsatzes und der einzelnen Energieträger in einer Eisengießerei, die Großserien aus Gusseisen mit Kugelgraphit für die Automobilindustrie herstellt, zeigt **Tabelle 12.**

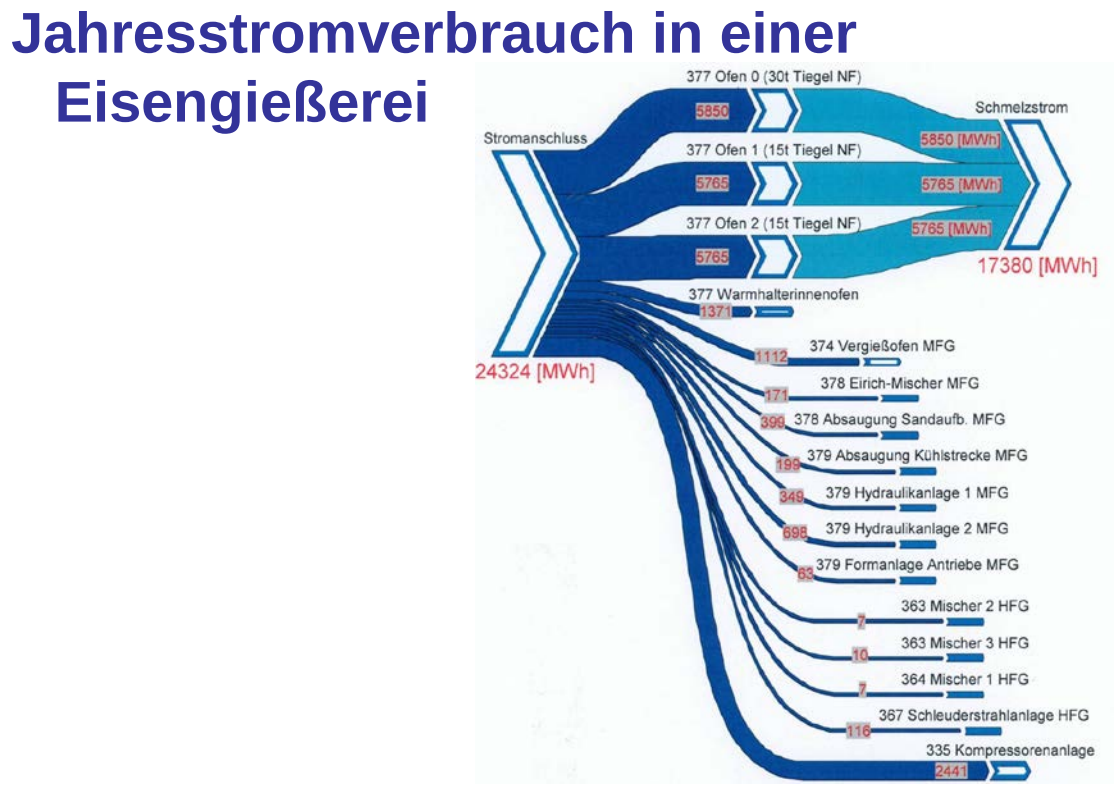
Tabelle 12: Verteilung des Energieeinsatzes und der Energieträger in einer modernen Eisengießerei [Foundrybench 2012].

Fertigungsbereich, Verbrauchergruppe	Energie-einsatz [GWh/a]	Verteilung [%]	Spez. Verbrauch in kWh/t Guter Guss	Weitere spez. Verbräuche in kWh/t output
Modellbau	0,3	0,1	2	
Kernherstellung	2,7	0,5	14	88 kWh/t Kerne
Schmelzen	388,4	73,0	1.971	990 kWh/t Flüs-sigeisen
Formen und Gießen	35,3	6,6	179	
Gussnachbehandlung, Strahlen und Putzen	1,7	0,3	9	
Bearbeitung(CNC)	2,4	0,5	12	
Nebeneinrichtungen	101,3	19,0	512	
Summe	**532,1**	**100,0**	**2.699**	

Fertigungsbereich, Verbrauchergruppe	Strom	Gas	Diesel	Koks	Flüssig Propan	Summe
Modellbau	0,25	0,05	0	0	0	0,3
Kernherstellung	1,1	1,6	0	0	0	2,7
Schmelzen	38,7	12	0	337,7	0	388,4
Formen und Gießen	28,9	6,4	0	0	0	35,3
Gussnachbehand-lung, Strahlen und Putzen	1,7	0	0	0	0	1,7
Bearbeitung(CNC)	2,3	0,07	0	0	0	2,4
Nebeneinrichtungen	37,6	51,8	0,9	0	11	101,3
Summe	**110,5**	**72**	**0,86**	**337,7**	**11**	**532,1**

Den Stromverbrauch in einer mittelgroßen Eisengießerei, in der mit Induktionsöfen geschmolzen wird, zeigt **Abbildung 22.**

Abbildung 22: Jahresstromverbrauch in einer mittelgroßen, elektrisch schmelzenden Eisengießerei [Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009]



Die Verteilung des Energieeinsatzes und der einzelnen Energieträger in einer Stahlgießerei, in der Gussteile für den Maschinenbau im Sandguss und im Genaugießverfahren hergestellt werden, zeigt **Tabelle 13.**

Tabelle 13: Verteilung des Energieeinsatzes und der Energieträger in einer modernen Stahlgießerei (Herstellung von Sandguss und von Genauguss) [Foundrybench 2012].

Verbrauchsbereich	Effizienzkenngröße
Gießereiprozesse	-
Schmelzen I	0,74 MWh/ t Fe_{fl}
Schmelzen II	2,12 MWh/ t gG
Pfannenfeuer	0,30 MWh/ t gG
Wärmebehandlung	0,61 MWh/ t gG
Druckluft	0,35 MWh/ t gG
Keramiköfen	2,98 MWh/ t gG
Lüftung	1,45 MWh/ t gG
Heizung (Gas) I	0,123 MWh/(m^2 * a)
Heizung (Gas) II	1,26 MWh/t gG
Beleuchtung (Strom) I	< 0,029 MWh/(m^2 * a)
Beleuchtung II	< 0,3 MWh/ t gG
Gesamtindex	**9,36 MWh/ t gG**

Medium	Verbrauch 2009 in MWh	Geldwert in €	Spez. Verbrauch in MWh/t gG	Grober Vergleich in MWh/t gG
Strom	4.710	446.000	5,358	siehe Grafik unten
Gas	3.510	182.200	4,000	
Druckluft	In Strom enthalten	(ca. 27.000)	-	
Gesamtverbrauch	**ca. 8.220**	**628.200 € +**	**9,36 MWh/t**	**überdurchschnittlich**

7.2 Fertigungsbereiche in Gießereien – derzeit und zukünftig

Die Gießereien werden in der Zukunft ganz eng in ein Produktionsnetzwerk eingebunden sein. Grundsätzlich wird es in Zukunft so sein, dass die Gießerei als Zulieferer mehr Aufgaben des Kunden übernimmt, aber gleichzeitig andere Bereiche innerhalb der Gießerei an Zulieferer oder Dienstleister abgibt.

Es wird von Gießerei zu Gießerei unterschiedlich sein, welche Leistungen im Betrieb selbst erbracht oder extern bezogen werden. Dies kann abhängen von Produkt, Marktsituation, Kundenstruktur und Finanzlage des Betriebes. Diese Betrachtungen waren Gegenstand in einem früheren BMBF geförderten Vorhaben [LeiKom 2009].

Bei einer Betrachtung der Gießereien wird deutlich, dass in Gießereien lediglich die sehr zentralen Fertigungsbereiche „Gießen, Abkühlen, Ausleeren“ und „Formherstellung“ und in Eisen- und Stahlgießereien der „Schmelzbetrieb“ immer vorhanden sind.

Die Optimierung der Wertschöpfungskette in den Gießereien führt zu vielfältigeren Formen als dies früher üblich war.

Im Folgenden werden die für den Energieeinsatz relevanten Produktionsbereiche einer Gussproduktion hinsichtlich ihrer derzeitigen und zukünftigen Verbreitung in Gießereien beleuchtet.

Modell- und Werkzeugbau

Der seit Jahren bestehende Trend, dass Gießereien Modelle und Werkzeuge bei Modell- und Formenbauern fertigen lassen und lediglich Reparaturarbeiten an den Modellen und Formen selbst ausführen oder auch diese extern ausführen lassen, wird sich weiter fortsetzen. Beim Modell- und Formenbau werden elektrisch betriebene Bearbeitungsmaschinen wie Fräsen eingesetzt.

Kernmacherei

Die Herstellung von Sandkernen ist und wird in den meisten Gießereien ein typischer Fertigungsbereich bleiben. Je komplexer die zukünftigen Gussgeometrien sein werden, umso größer wird der Einsatz von Kernen sein. Eine Kernherstellung arbeitet überwiegend bei Raumtemperatur. Einige wenige Kernherstellungsverfahren setzen Wärme ein.

In der Vergangenheit hat sich ein Trend in Richtung teilweiser bis hin zur kompletten Auslagerung der gesamten Kernfertigung (nicht nur zur Abdeckung von Produktionsspitzen) angedeutet. Die Gießereien, die ihre Kernfertigung komplett auslagern, werden allerdings auch zukünftig Einzelfälle sein.

Formerei

Die Formherstellung ist ein unverzichtbarer Fertigungsbereich in Gießereien. In nahezu allen Fällen werden Formen bei Raumtemperatur hergestellt. Mit zunehmender Mechanisierung und Automatisierung steigt der Stromverbrauch.

Schmelzbetrieb

In Eisen-, Stahl- und Buntmetallgießereien ist der Schmelzbetrieb als energieintensivster Fertigungsbereich ein immer vorhandener Bereich. In Aluminiumgießereien wird die Schmelze vollständig erschmolzen oder teilweise als Flüssigmetall von einem Hüttenbetrieb bezogen. Die Anlieferung von Flüssigaluminium ist energieeffizient und wird in Gießereien mit günstigem Transportweg zu einer Aluminiumhütte zukünftig intensiver zu prüfen sein.

In einer früheren Veröffentlichung wird der Einsatz von Flüssigaluminium mit 60.000 Jahrestonnen – bei einem Gesamtaluminiumbedarf von 800.000 und einer Aluminiumgusserzeugung von 500.000 Jahrestonnen beziffert [Wenk 2001].

Als Energieträger beim Schmelzen in Gießereien sind Brennstoffe wie Koks, Erdgas und Erdöl sowie Strom typisch.

Gießen, Abkühlen, Ausleeren der Form

Das Gießen, Abkühlen und Ausleeren der Form wird auch in Zukunft eine unablässige Kernkompetenz der Gießerei bleiben. Das Gießen kann in „verlorene Formen", wie Sandformen oder keramische Formen, stattfinden oder in Dauerformen aus Stahl, wie beim Kokillengießen oder Druckgießen. Je nach Anlagentyp wird Schmelze warmgehalten, werden Maschinen und Anlagen elektrisch oder mit Druckluft betrieben etc. Aufgrund typischer Emissionen sind elektrisch betriebene lufttechnische Anlagen üblich.

Gussnachbehandlung

Die Vermeidung von Gussnachbehandlung (Gussputzen) ist seit langem erklärtes Ziel in Gießereien und wird angestrebt, indem ständig die Fertigungsqualität weiter erhöht wird. Trotz zunehmender Vermeidung von Gussfehlern wird die Gussnachbehandlung voraussichtlich auch zukünftig ein Standardprozess sein.

Von zahlreichen Gießereien wird die Gussnachbehandlung zu erheblichem Anteil an Dienstleistungsunternehmen in Auftrag gegeben. Es ist zu erwarten, dass u. a. wegen der zukünftigen Fortschritte in der Automatisierungstechnik, derartige Arbeiten in den Gießereien ausgeführt werden; dies wird den Stromverbrauch der Gießerei erhöhen.

Bearbeitung

Die Endbearbeitung wird zunehmend Teil der Wertschöpfungsketten in Gießereien. In Betrieb sind elektrisch betriebene Bearbeitungsmaschinen. Wenn auch die Bearbeitung nicht mehr Bestandteil der Fertigungskette „Gießen“ ist, so ist die „Vorbearbeitung“ häufig von der Gussnachbehandlung nicht scharf zu trennen. Auch hier erhöht der Einsatz von Bearbeitungsmaschinen – zur Vor-und Endbearbeitung – den Strombedarf.

7.3 Entwicklung des zukünftigen Energieeinsatzes in Gießereien

Der derzeitige Energieeinsatz in Gießereien ist – gestützt auf teilweise einzelne Daten, teilweise auf die Ergebnisse breit angelegter Forschungsvorhaben, an denen das IfG beteiligt war - ausführlich dargestellt. Aus diesen Arbeiten sind typische Daten für den spezifischen Energieeinsatz der verschiedenartigen Energieträger abgeleitet worden: Für die verschiedenen Arten von Gießereien, ihren Gussteilen und -werkstoffen werden in Kapitel 6 die Energiedaten für mehrere modellhafte Gießereien abgeleitet.

Um neben dem derzeitigen Stand Prognosen zum Energieeinsatz in den deutschen Gießereien zu erstellen, sind plausible Annahmen für die zukünftige Entwicklung in Deutschland zu folgenden Größen, die unmittelbaren Einfluss auf den zukünftigen Energieeinsatz in Gießereien haben werden, zu treffen. Dabei kann man sich im IfG auf die vielfältigen Kenntnisse, Erfahrungen und Aussagen zu zukünftigen Entwicklungen in der Gießereibranche stützen:

- Gussproduktion: Gussteilspektrum (wie Leichtbau durch dünnwandigere Gussteile), Gusswerkstoffe;
- Gießereitechnik: Form- und Gießtechnik, Mechanisierung und Automatisierung, Arbeitssicherheits- und Umwelttechnik;
- Energieeffizienz, Spezifischer Energieeinsatz: Ausbringen (Verhältnis zwischen Masse von Flüssigmetall : Masse von gutem Guss), Abwärmenutzung.

Mit Blick auf die vergangenen 20 Jahre ist die Produktionsmenge in Masse guter Guss um etwa 50 % gestiegen, eine positive Entwicklung, die sich in Deutschland voraussichtlich nach Abklingen der Nachwirkungen der Weltwirtschaftskrise 2009 fortsetzen wird. Zu beachten ist dabei, dass bei den meisten statistischen Angaben zur Gießereiindustrie, die sich auf die Produktion beziehen, die Größe „Masse guter Guss“ verwendet wird. Dies ist auch in dieser Ausarbeitung der Fall, da die zur Verfügung stehenden Daten derartig sind, beispielsweise wenn der spezifische Energieeinsatz in „kWh je Tonne guter Guss“ angegeben wird.

Werden die Gussteile dünnwandiger und leichter, so nimmt der Energieeinsatz je Gussteil ab, aber je Tonne guter Guss zu. Von daher ist zu erwarten, dass sich die zukünftige positive Entwicklung der deutschen Gussproduktion deutlicher an ihrem Wert bzw. Erlös erkennen lassen wird und weniger an der produzierten Masse an gutem Guss.

In der Gussproduktion wird sich zukünftig der Trend in der deutschen Gießereiindustrie weiter fortsetzen, anspruchsvolle und hochwertige Gussteile zu produzieren. Von der Funktion und den Anforderungen her vergleichbare Gussteile werden leichter (masseärmer) sein als heute produzierte. Insbesondere der große Anteil an Gussteilen für den Straßenfahrzeugbau wird diese Tendenz widerspiegeln.

Leichtere Bauteile, beispielsweise konstruiert unter Nutzung von bionischen Konstruktionsprinzipien, sind masseärmer – und damit auch mit geringerem Energieeinsatz je Bauteil herzustellen: weniger Masse an Werkstoff hat zur Folge, dass man weniger Masse an metallischen Einsatzstoffen energieintensiv schmelzen muss.

Bei den Gusswerkstoffen hat es in der Vergangenheit bereits Umstellungen gegeben, wie beispielsweise die weitgehend abgeschlossene Umstellung von Temperguss auf Gusseisen mit Kugelgraphit – also von einem Werkstoff mit intensiver Wärmebehandlung auf einen Werkstoff ohne Wärmebehandlung.

Größere Verschiebungen zwischen den einzelnen Gusswerkstoffen zeichnen sich nicht ab. Dies gilt für die großen Gruppen der Eisen- und Stahlgießereien sowie der Nichteisenmetallgießereien.

Auf dem Gebiet der Gießereitechnik laufen seit einigen Jahren Entwicklungen, die teilweise zu einer Erhöhung und teilweise zu einer Verminderung des spezifischen Energieeinsatzes je Gussteil führen:

- mit immer weitergehendem Einsatz von Software zur Simulation von gießereitechnischen Prozessen nimmt das Ausbringen bei vielen Gussteilen zu, da die Massen an Schmelze, die für Speiser und Gießsysteme verwendet werden, abnehmen;
- ebenfalls durch derartige rechnergestützte Instrumente werden Ausschussraten geringer – also die Anteile an fehlerbehafteten, nicht auslieferbaren Gussteilen an Fertigungslosen werden kleiner - auch dies senkt den spezifischen Energieeinsatz je Tonne guter Guss (= verkaufsfähige Gussteile);
- die Aggregate in Gießereien sind zunehmend energieeffizienter geworden, da man Energieeffizienz zunehmend höhere Bedeutung bei Anschaffungen gibt; dies gilt für moderne Schmelzöfen gegenüber älteren sowie für andere Maschinen, wie Formstoffmischern u.v.a.m.
- die für die deutsche Gießereiindustrie existenziell wichtige kontinuierliche Produktivitätssteigerung (gemessen in produzierter guter Guss je Beschäftigten) erhöht den spezifischen Energieeinsatz einer Gießerei: Produktivitätssteigerung wird erreicht durch zunehmende

Mechanisierung, wie bei der Verwendung von Manipulatoren beim Handling von Rohgussteilen, oder

Automatisierung, wie beim Schleifen von Rohgussteilen durch von Robotern geführten Werkzeugen;

in diesen Beispielen werden neben einer Erhöhung der Produktivität erhebliche Arbeitserleichterungen für die Beschäftigten erreicht – was ebenfalls an vielen Arbeitsplätzen mit zu vermeidenden Tätigkeiten angestrebt wird; ähnliches gilt für umwelttechnische Maßnahmen, wie die Absaugung und Reinigung von beladener Abluft oder für die Regenerierung von gebrauchtem Formstoff – auch diese in Gießereien zunehmenden technischen Einrichtungen verbrauchen Strom, Druckluft (auch Stromverbrauch) oder Brennstoff.

In den vergangenen 20 Jahren, in denen diese, hinsichtlich ihres Einflusses auf den spezifischen Energieeinsatz von Gießereien gegensätzlich wirkenden Entwicklungen bereits liefen, hat dies nahezu zu gleichbleibender Energieeffizienz – mit leichter Verbesserung von etwa 10% - in den letzten 20 Jahren geführt [Schumacher 2011]. Es ist davon auszugehen, dass die Einflussgrößen der letzten Jahre auch die zukünftige Entwicklung in Gießereien weiterhin prägen werden. Dies ist aus den wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen sowie den Forschungsaktivitäten, die zu zukünftigen betrieblichen Maßnahmen führen sollen, abzuleiten. Die Energieeffizienz in Gießereien wird zukünftig voraussichtlich aber mehr als die durchschnittlich 0,5% pro Jahr wachsen, wie dies in der jüngeren Vergangenheit der Fall gewesen ist.

Hauptgrund ist, dass die Sensibilität für energieeffizientere Maschinen, Anlagen und Prozesse in den meisten Gießereien „angekommen“ ist. Es verbreiten sich zunehmend Energiemanagementsysteme, die einfordern, dass eine Verbesserung der Energieeffizienz in betrieblichen Prognosen definiert und

planmäßig angestrebt wird. Auch Möglichkeiten der Abwärmenutzung gewinnen mehr und mehr an Bedeutung – Entwicklungsprojekte sind in Vorbereitung. Entwickler und Hersteller von Gießereimaschinen und –anlagen gehen mit dem Verkaufsargument einer hohen Energieeffizienz auf den Markt.

Einzelne Gießereien streben Verbesserungen von mehreren Prozent mittelfristig an. In den Niederlanden hat die dortige Gießereiindustrie für verschiedene Gießereiprozesse Steigerungen der Energieeffizienz von etwa 20 bis 30 % für den Zeitraum von 2005 bis 2030 prognostiziert – also eine für die Branche durchschnittliche Steigerung von etwa 1,0% je Jahr [AVNEG 2012].

Seitens der Bundesregierung soll bis 2020 der Primärenergieverbrauch gegenüber 2008 um 20 % und bis 2050 um 50 % sinken. Das erfordert pro Jahr eine Steigerung der Energieproduktivität um durchschnittlich 2,1 % bezogen auf den Endenergieverbrauch. Die Bundesregierung strebt an, bis 2020 den Stromverbrauch gegenüber 2008 in einer Größenordnung von 10 % und bis 2050 von 25 % zu vermindern.

Für die deutsche Gießereiindustrie hat M. Schumacher – in Abstimmung mit anderen Fachleuten in der Branche – die Erwartung geäußert, dass eine derartige Steigerung der

Energieeffizienz eine große Herausforderung darstellt, deren Erreichen als Branchenwert nicht als gesichert gelten kann [Schumacher 2011].

Für den zukünftigen Einsatz von EE in Gießereien bedeutet dies, dass im Vergleich zu heute von einem geringeren spezifischen Energieeinsatz ausgegangen werden kann; als jährliche Steigerung der Energieeffizienz für die deutsche Gießereiindustrie wird ein Wert von rund 1,0 % je Jahr für die nächsten Jahre angenommen. Langfristig wird dieser Wert kleiner werden – nicht zuletzt weil die Enthalpie der metallischen Werkstoffe und der Stromverbrauch der zunehmend mechanisierten/automatisierten Gießereianlagen Grenzen darstellen, denen sich nicht-linear angenähert wird.

7.4 Einsatzmöglichkeiten der erneuerbaren Energien in der Gießereiindustrie

Die Realisierung der im Kapitel 4 genannten Ausbauziele für erneuerbare Energien (EE) und der damit wachsende Anteil von EE-Strom stellen das gesamte Energiesystem vor bedeutende Herausforderungen. So ist u. a. zu erwarten, dass in verstärktem Maße Netzengpässe die Einspeisung von EE-Strom limitieren werden [BMU 2008]. Insbesondere aufgrund der Volatilität der Verfügbarkeit von Strom aus Windkraft- oder Solaranlagen stellt die Integration der erneuerbaren Energien ein Problem dar. Vor diesem Hintergrund ist es unerlässlich, das gesamte Energie- und Stromsystem in den kommenden Jahren grundlegend zu modernisieren, um den sich neu ergebenden Anforderungen gerecht zu werden. Der Umstand, dass das bestehende Stromsystem aus diversen Gründen ohnehin saniert werden muss (überalterte Kraftwerke, Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung, Atomausstieg etc.) stellt die Chance dar, die zur Netzintegration der erneuerbaren Energien notwendigen Maßnahmen in die Modernisierung des bestehenden, konventionellen Systems zu integrieren.

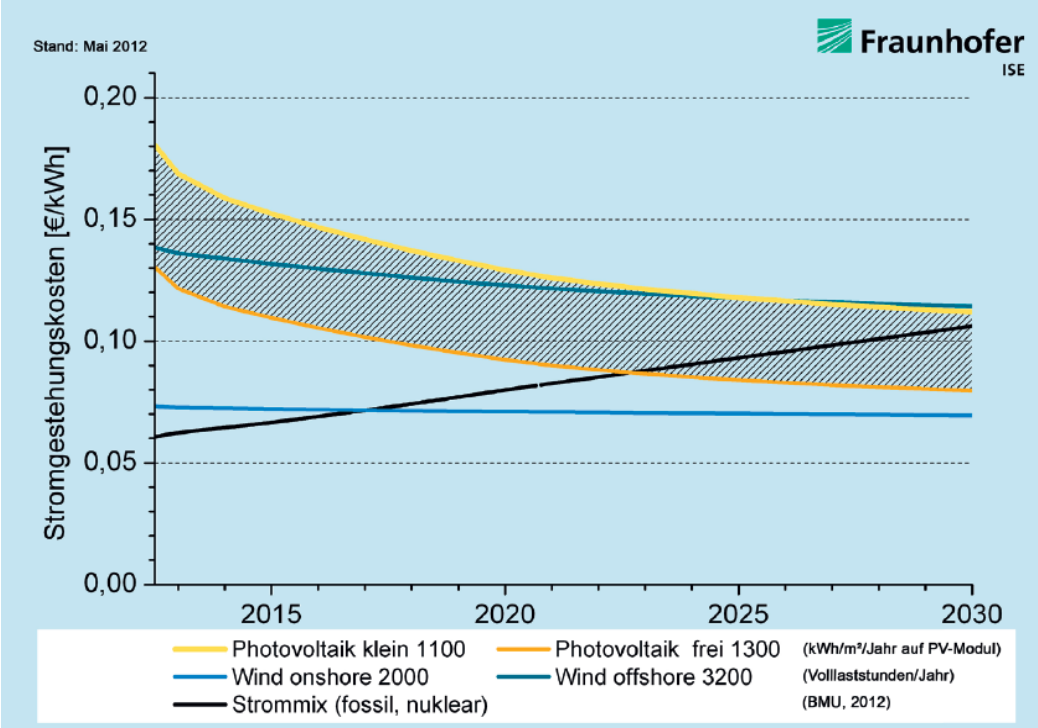
Darüber hinaus gilt es, auf Konsumentenseite Optimierungsmaßnahmen hinsichtlich der Anlagensteuerung und des Lastmanagements zu ergreifen sowie die Weiterentwicklung und den Einsatz von Speichertechnologien voranzutreiben.

Hinsichtlich der Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien ist anzumerken, dass generell die Wärmebereitstellung durch Biogas, welches auf Erdgasniveau aufbereitet werden kann, technisch möglich ist. Die direkte (Co-) Verfeuerung von Biomasse kann dagegen allenfalls Temperaturen im Bereich von 850-1.000°C bereitstellen, was die Einsatzmöglichkeiten im Schmelzbetrieb stark beschränkt. Mittlerweile geht man davon aus, dass die deutschen Biomasse-Potenziale in den letzten Jahren stark überschätzt wurden. Vor dem Hintergrund einer immer intensiver werdenden Tank-vs.-Teller-Debatte und zunehmenden ökologischen Bedenken propagieren Wissenschaftler zunehmend eine Fokussierung auf biogene Reststoffe und eine Kaskadennutzung von Biomasse, bei der die stoffliche Nutzung Vorrang vor der energetischen hat [Leopoldina 2012]. Auch die derzeit noch sehr

preiswerte und stark ansteigende Wärmeerzeugung aus Holz könnte Schätzungen zufolge in naher Zukunft zu einer „Holzlücke“ in Deutschland führen, und der Import von Holz oder anderweitigen biogenen Rohstoffen ist unter Nachhaltigkeitsgesichtspunkten als fragwürdig einzustufen. Ein Nachhaltigkeitszertifikat für Biomasse könnte helfen, Biomasse-Importe ökologischer zu gestalten. Erfolgt eine nachhaltige Bewirtschaftung von Biomasse in bevölkerungsarmen und gleichzeitig waldreichen Ländern wie beispielsweise Russland oder Schweden, könnten sich Biomasse-Exporte auch unter ökologischen Gesichtspunkten als durchaus sinnvoll erweisen. Die Einführung eines solchen Zertifikats wird seit geraumer Zeit diskutiert, allerdings ist man bislang nicht zu einer Einigung gelangt. Ungeachtet dessen ist die (vermehrte) Verbrennung von Holz unter dem Emissionsgesichtspunkt kritisch zu betrachten. Bilanziell gesehen erfolgt die Verbrennung zwar CO_2-neutral, da nur das CO_2 frei wird, welches zuvor gebunden wurde. Faktisch gesehen kommt es jedoch zu CO_2-Emissionen, die mit zunehmender Menge verbranntem Holz ansteigen. Das Potenzial der Bioenergie kann daher als verhältnismäßig begrenzt eingeschätzt werden und dürfte vor allem im Bereich der Biokraftstoffe, der Raumwärme sowie der elektrischen Regelenergieerzeugung genutzt werden, da hier deutlich höhere Energiepreise als im Bereich der industriellen Prozesswärme realisiert werden können [Leopoldina 2012].

Das größte Potenzial der erneuerbaren Energien in der Gießereiindustrie dürfte daher in der Bereitstellung von elektrischer Energie liegen. Grundsätzlich kann aus Biomasse, Wasserkraft, Sonnen- und Windenergie Strom gewonnen werden. Neben dem der Biomasse ist jedoch auch das (Ausbau-)Potenzial der Wasserkraft als begrenzt zu bewerten. Denn wie in Kapitel 4 ausgeführt, sind die Potenziale der Wasserkraft in Deutschland bereits weitestgehend erschlossen. Daher bieten sich insbesondere die Photovoltaik (PV) sowie die Windkraft als Stromlieferanten an. **Abbildung 23** zeigt die prognostizierten Stromgestehungskosten für erneuerbare Energien (EE) im Vergleich zum konventionellen Strommix (fossil und nuklear), welcher gleichzeitig die Preisbasis für die industriellen Strombeschaffungskosten darstellt.

Abbildung 23: Lernkurvenbasierte Prognose von Stromgestehungskosten erneuerbarer Energien in Deutschland bis 2030; Quelle: [Fraunhofer ISE 2012]



Aus **Abbildung 20** geht hervor, dass erneuerbarer Strom aus Onshore-Windkraftanlagen als Erstes Preisparität mit den fossilen Stromgestehungskosten erlangt (Schnittpunkt schwarze und blaue Ge-

rade). Als Nächstes, aber rund eine Dekade später, dürften PV-Anlagen auf Freiflächen die Wirtschaftlichkeit erreichen.

Allerdings ist die Stromerzeugung sowohl aus Sonnen- als auch aus Windenergie, wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, mitunter großen Schwankungen unterworfen. Aufgrund ihrer fluktuierenden Verfügbarkeit können diese erneuerbaren Energieträger zunächst nur einen gewissen Anteil der benötigten Energie bereitstellen, während zur Sicherstellung des Gesamtbedarfs weiterhin regelbare Energieträger benötigt werden. Durch eine räumliche Streuung von Wind- und PV-Kraftwerken und deren Verschaltung zu einem virtuellen Kraftwerk können diese Fluktuationen teilweise kompensiert werden. Regelbare Erneuerbare (z.B. Bioenergie oder EE-Gas) und Speicher können diese Schwankungen zusätzlich ausgleichen, während auf der Verbraucherseite zu prüfen ist, inwieweit sich der Energiebedarf der Produktionsprozesse den verbleibenden Schwankungen der Strombereitstellung anpassen lässt. Diesem als Demand-Side-Management (DSM) bezeichneten Vorgang wird allgemein eine hohe Bedeutung für die Realisierung eines Energiesystems mit hohen Anteilen fluktuierender Energieträger beigemessen. Gleichzeitig ist über das DSM eine Teilnahme am Regelenergiemarkt und damit grundsätzlich das Erzielen von Zusatzerlösen möglich.

Neben einer Vielzahl von Speichertechnologien wird derzeit EE-Gas, auch bekannt unter dem Begriff „Power-to-Gas“ als eine mögliche Schlüsselkomponente der Energiewende diskutiert. Darunter versteht man die Herstellung von Brenngasen durch Elektrolyse, welche mit Strom aus erneuerbaren Energien betrieben wird. Der im ersten Schritt aus Wasser produzierte Wasserstoff kann in begrenztem Umfang in der vorhandenen Gasinfrastruktur gespeichert oder durch Reaktion mit CO_2 in Methan umgewandelt werden, welches sich dann unbegrenzt in der vorhandenen Gasinfrastruktur speichern und transportieren lässt. Beide Brenngase können dann zur bedarfsgerechten Strom- und Wärmeproduktion genutzt oder als Kraftstoff im Mobilitätsbereich eingesetzt werden, wobei Letzteres derzeit die höchsten Erlöse verspricht. Erste Demonstrationsanlagen sind bereits in Betrieb, während Anlagen im industriellen Maßstab kurz vor der Inbetriebnahme stehen. Dem großen Vorteil der bereits vorhandenen Gasinfrastruktur als Transport- und Speichermedium stehen derzeit allerdings noch sehr hohe Kosten für die Elektrolyse-Einheiten sowie Verbesserungspotenziale hinsichtlich des Wirkungsgrads gegenüber, welcher derzeit für die Umwandlung von Strom zu Methan bei etwa 60 % liegt [dena 2012].

7.4.1 Methodologie zur Bestimmung des Einsatzpotenzials erneuerbarer Energien in der Gießereiindustrie

Aus vorangegangenen Ausführungen wurde deutlich, dass die erneuerbaren Energien diverse Eigenschaften aufweisen, die ihren Einsatz als Energie- bzw. Stromlieferant in der Gießereiindustrie beschränken. Vor diesem Hintergrund wird im vorliegenden Bericht für jeden Fertigungsschritt des Gießereiprozesses untersucht, inwieweit der Einsatz von thermischer oder elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen möglich ist. Hierzu wird jeweils betrachtet, wie viel, in welcher Form (Wärme oder elektrische Energie), in welchem Intervall (zyklisch oder kontinuierlich) und in welchem Bereich (Temperatur bzw. Spannung) die Energie im einzelnen Fertigungsschritt benötigt wird. Darauf aufbauend soll jeweils eine Empfehlung hinsichtlich des geeigneten erneuerbaren Energieträgers abgegeben und daraus in der Summe das Gesamtpotenzial erneuerbarer Energien in der Gießereiindustrie bestimmt werden. Die Potenzialbetrachtungen finden sich jeweils am Ende der Kapitel 5.6 bis 5.13.

7.5 Gegenwärtige regenerative Energienutzung in der Gießerei-Industrie

Die Systematik der Unterpunkte wurden parallel zu Kapitel 4 gewählt, in denen Status Quo und Entwicklung von erneuerbaren Energien in Deutschland erläutert wurden. Da gegenwärtig keine Best-

Practice-Beispiele zu Biomasse- und Biogas-Verwendung in der Gießerei-Industrie existieren, werden diese Themen nicht nochmal separat in einem Unterkapitel erläutert.

Während fossile Grundlastkraftwerke unabhängig von der Netzbelastung mit Ausnutzungsdauern über 6.000 Volllaststunden elektrische Energie erzeugen, produzieren Photovoltaik- und Windkraftanlagen im Gegensatz dazu aufgrund fluktuierenden Sonnen- und Windangebots im Jahresverlauf unregelmäßig Strom. Um Systemstabilität bei der Stromversorgung zu garantieren, erfordert dies stets ein Gleichgewicht bei Erzeugung und Verbrauch erzeugter Strommengen. Was auf Kraftwerksebene gilt, müsste auch auf Gießereiebene für die Stromerzeugung gelten, wenn der Standort autark mit Eigenstrom- und Wärmeversorgung realisiert werden soll. Da Gießereien sowohl Strom als auch Wärme benötigen, besteht eine Möglichkeit in der dezentralen Stromerzeugung in Kraftwerken und Wärmeversorgung aus Heizwerken. In Deutschland wird die gleichzeitige Wärme- und Stromerzeugung in großen Heizkraftwerken und kleineren Blockheizkraftwerken gefördert, weil sich bei gekoppelter Erzeugung bis zu einem Drittel Primärenergie gegenüber getrennter Erzeugung einsparen lässt. Eine Gießerei nutzt bereits heute die erzeugte Elektroenergie und Wärme in einem erdgasbetriebenen Blockheizkraftwerken vollständig in der eigenen Gießerei [Karl Casper Guss 2012].

Eine signifikantere Reduzierung von Emissionen innerhalb des Gießerei-Prozesses ermöglicht die Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energiequellen, die während der Stromproduktion CO_2-frei arbeiten und somit keine Treibhausgase ausstoßen. Holzhackschnitzel- oder Biogas-Blockheizkraftwerke können eine dezentrale und vor allem unabhängige und CO_2-neutrale Strom- und Wärmeversorgung auf Basis von erneuerbaren Einsatzstoffen garantieren. Weitere Gießereien planen daher die Installation von Blockheizkraftwerken mit sogenannten Microturbinen, in denen sich sowohl Erdgas, Diesel als auch Biogas einsetzen lässt. Letztgenannter Energieträger könnte zukünftig die CO_2-neutrale Strom- und Wärmeerzeugung ermöglichen. Der Einsatz von Biomasse wird vor allem im Bereich des Kupolofens erforscht. Ergebnisse aus dem Forschungsprojekts des IfG lassen sich in Kapitel 5.6.7 finden. Die vollständige Substitution fossiler Energieträger in Gießereien wird jedoch nicht zeitnah umsetzbar sein. Jedoch empfiehlt sich schon heute die Durchführung von Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz, um zukünftig den Energiebedarf an erneuerbaren Energien zu vermindern.

Zentrales Instrument zur Förderung von Stromerzeugung aus regenerativer Energie in Deutschland ist das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG). Analysierte Gießereien in Deutschland speisen erneuerbare Elektroenergie aus netzparallelen Anlagen in öffentliche Versorgungsnetze ein und erhalten dafür eine festgeschriebene Vergütung über 15 bis 20 Jahre. Eigenenergiebedarf der Gießereien wird wiederum durch Strom aus dem öffentlichen Netz gedeckt, was bei gleicher Einspeisemenge bilanziell zur regenerativen Stromversorgung führt. Die Kosten, die durch Vergütungen entstehen, zahlen Letztverbraucher über eine EEG-Umlage je Kilowattstunde (kWh) für bezogenen Strom. Somit wird der regenerativ erzeugte Strom, der ins öffentliche Netz eingespeist und vergütet wird, im deutschen Strommix erfasst, da es gemäß § 56 EEG unzulässig ist, diesen Strom doppelt zu vermarkten. Eine Gießerei, die bilanziell eine regenerative Stromversorgung aufweist, wird diesen Umstand aber bei einer kritischen externen Prüfung nicht ausweisen können.

Windenergie

oder der Bau von Windenergieanlagen auf dem Produktionsgelände.

Große Windkraftanlagen haben eine Leistung bis zu 7,5 Megawatt und können an windhöffigen Gebieten bis zu 18 GWh Strom erzeugen, was den Bedarf einer „idealtypischen Eisengießerei“ decken würde. Diese großen Anlagen sind bis zu 200 Meter hoch. Eine Gießerei versucht seit einiger Zeit eine Genehmigung für zwei Windkraftanlagen mit 3 MW zu bekommen, jedoch scheiterte die Installation der Anlagen schon an diesem ersten Schritt beim Genehmigungsverfahren. Im Jahr 2014 soll dort ein neuer Anlauf genommen werden. Eine andere Gießerei hat seit dem Jahr 2004 eine 500 kW Windkraftanlage direkt am Werkgelände positioniert, die jährlich ungefähr 986.700 kWh Elektro-

energie ins öffentliche Stromnetz einspeist. An diesem größeren Gießereistandort würde dies aber nur zur Abdeckung von 2 Prozent des Gesamtstrombedarfs genügen.

Abbildung 24: Eine netzparallele Windkraftanlage am Gießereigelände

Der innovativste Ansatz in der Gießerei-Industrie wird gegenwärtig in einem Unternehmen mit zwei Gießerei-Standorten entwickelt. Im Sommer 2013 wurde der Bau einer Windkraftanlage der 3-MW-Klasse abgeschlossen, die an diesem Standort ungefähr 7 GWh Strom jährlich produzieren wird. Im Gegensatz zu allen anderen beschriebenen Beispielen wird die elektrische Energie primär ins Werksnetz eingespeist. Nur wenn mehr Strom erzeugt als benötigt wird, erfolgt eine Abgabe des Stroms ins öffentliche Netz. Am Gießereistandort der Windkraftanlage könnten dadurch bilanziell etwa 50 Prozent des Strombedarfs gedeckt werden. Die Überlegungen gehen sogar dahin, dass mittelfristig die Gussproduktion und der Schmelzbetrieb an „das Wetter“ angepasst werden und langfristig der gesamte Strombedarf der beiden Standorte durch Eigenerzeugung abgedeckt wird („Schmelzen, wenn der Wind weht“). Deshalb werden Verhandlungen mit dem Betriebsrat und den Mitarbeitern im Schmelzbetrieb angestrebt, um den Schmelzbetrieb an das Windangebot anzupassen, wofür dann sogar Prämien ausgelobt werden [Reuter 2012]. Aber auch andere elektrische Großverbraucher, wie z. B. die Sandregenerierung, könnten zukünftig gezielt an die Windvorhersage angepasst werden.

Abbildung 25: Eine Windkraftanlage zur Eigenstromerzeugung eines Gießerei-Standorts

Photovoltaik

Möglichkeiten zur regenerativen Stromerzeugung in Gießereien bieten Photovoltaikanlagen auf den Dächern der Produktionshallen. Die direkte Nutzung von Solarenergie ermöglicht sowohl Strom- als auch Wärmeerzeugung. Photovoltaikmodule wandeln Sonnenlicht über den Photoeffekt in elektrischen Strom um, Solarkollektoren hingegen nutzen die Sonnenenergie zur Wärmegewinnung. Aufgrund der hohen Vergütungssätze für Photovoltaik durch das Erneuerbaren-Energien-Gesetz wird bei geeigneten Flächen dieser Technologie der Vorzug gegenüber Solarthermie gegeben. Gleichzeitig sind für Photovoltaikanlagen der Endkundenpreis für fertig installierte Aufdachanlagen von 5.100 Euro pro kW_p im Jahr 2006 auf etwa 1700 Euro kW_p Anfang 2013 gesunken. Die Peakleistung (Spitzenleistung) unter Standardtestbedingungen wird in der Realität nur selten erreicht. Zwar sind Einstrahlungswerte von 1.000 Watt pro m^2 in Deutschland durchaus messbar, jedoch erwärmen sich in Folge der Einstrahlung die Module auf über 25 °C. Bei einem Temperaturanstieg um weitere 25 °C resultiert bei kristallinen Solarzellen daraus eine verminderte Leistung um 10 %. Gerade auf Produktionsgebäuden der Gießhallen kommen zusätzliche Wärmesenken, z. B. Abluftsysteme, vor, die einer guten Hinterlüftung der Module zur Realisierung von niedrigeren Modultemperaturen im Betrieb entgegenstehen. Neben hohen Temperaturen führt auch Verschattung zu Leistungsverlusten bei PVA. Standort- und entwurfsbedingte Verschattung durch Aufbauten und Bäume werden schon in der Planungsphase unterbunden. Mit temporärer Verschattung durch Verschmutzungen auf den Modulen muss im Gießereibetrieb gerechnet werden, z. B. durch erhöhte Staubfrachten in Eisengießereien, was zu niedrigeren Erträgen führt. Für eine bessere Selbstreinigung durch Regenwasser muss eine höhere Neigung der Solarmodule durch Aufständerung realisiert werden. Nach Auskunft von Planungsfirmen müssten etwa 20 Prozent höhere Betriebskosten angesetzt werden, um den fehlenden Selbstreinigungseffekt durch automatische Reinigungsanlagen oder manuelle Reinigung zu kompensieren. Ferner muss bei Investorenmodellen für Photovoltaikanlagen neben einem Grundbucheintrag auch eine Dachnutzungsgarantie für 20 Jahre gegeben und bestimmte Erträge garantiert werden. Entwurfsbedingte Verschattung müsste konsequent vermieden werden, ein Neubau von Nachbargebäuden wäre ausgeschlossen und größere Umbaumaßnahmen an der bestehenden Produktionshalle sind somit für 20 Jahre ausgeschlossen.

Die nachteiligen Voraussetzungen zur Installation von Photovoltaik- und Solarthermiemodulen auf Produktionshallen von Gießereien haben dazu geführt, dass beide Technologien überwiegend auf Verwaltungsgebäuden Anwendung finden. Erste Erfahrungen mit der Gewinnung von elektrischer Energie ist in einer Gießerei mit einer netzparallelen Anlage auf einem Verwaltungsgebäude mit 29 Photovoltaikmodulen gemacht worden. Die Anlage wurde offiziell am 19. Dezember 2008 in Betrieb genommen, hat eine Nennleistung von 4,57 kW_p und erzeugt durchschnittlich 4.610 kWh im Jahr und im Jahre 2011 waren es sogar 4.741 kWh. Die Gießerei am Standort hat einen Energiebedarf von etwa 9.000.000 kWh, was eine „bilanziellen Abdeckung des Strombedarfs“ im Durchschnitt von etwa 0,05 Prozent ergibt.

Zusätzlich wurden Ende des Jahres 2010 auf drei Produktionshallen mit einer Dachfläche von 3000 m^2 insgesamt 3142 Solarmodule installiert, die eine Spitzenleistung von ungefähr 244 kW_p aufweisen. Die Photovoltaikanlage erzeugten im ersten Jahr nur etwa 10.400 kWh elektrischer Energie anstatt konservativ geschätzter 200.000 kWh im Jahr.

Abbildung 26: Eine Photovoltaikanlage auf den Produktionsgebäuden einer Gießerei

Auf Basis dieses prognostizierten Werts und der im Jahr 2011 erzeugten Strommenge durch die Wasserkraftanlage könnten etwa 16 Prozent des Gesamtstrombedarfs der Standorte gedeckt werden. Während die Photovoltaikanlage bilanziell nur etwa 0,8 Prozent des Strombedarfs deckt, zeigen Gießereien in anderen Ländern mit Einstrahlungswerten von deutlich mehr als 1.000 Watt pro m^2, dass auch höhere Strommengen produziert werden können. In Italien hat eine Gießerei zwei Photovoltaik-Systeme mit einer Spitzenleistung von 408 KW_p installiert, welche bis zu 10 Prozent des Gesamtstrombedarfs erzeugen.

Auch eine Gießerei im Großraum Los Angeles (Kalifornien) kann mit 1.190 Photovoltaikmodulen etwa 10 Prozent der benötigten elektrischen Energie abdecken [Pacific Alloy 2012]. In dieser Gießerei waren Reinigungsarbeiten einmal im Jahr in die Amortisationsrechnung miteinbezogen worden, jedoch stellte sich heraus, dass der Energieertrag schon nach 14 Tagen ohne Reinigung signifikant sank. Somit wird zusätzlich jede zwei Wochen die Oberfläche etwa fünf Stunden lang mit demineralisiertem Wasser gereinigt. Auch die volatile Stromerzeugung von Photovoltaikanlagen wird bei dieser Beispielgießerei deutlich: Während am Abend keine Elektroenergie durch die Anlage zur Verfügung steht, wird am Nachmittag im schmelzfreien Zeiten mehr Strom produziert als in der Gießerei überhaupt benötigt wird.

Solarthermie

In wenigen Gießereien kommen Solarkollektoren, z. B. zur teilweisen Warmwasserversorgung in Sanitärräumen, zum Einsatz. Häufig sind diese Räume nicht unmittelbar an den Produktionshallen im Verwaltungstrakt, so dass sich Abwärmenutzungskonzepte nicht wirtschaftlich realisieren lassen. Im Bild dargestellt sind sechs Flachkollektoren, die in Richtung Süden ausgerichtet sind. Nach Aussagen des Betreibers werden im Sommer etwa 80 Prozent der benötigten Wärme für den Warmwasserspeicher bereitgestellt. Die restlichen Monate im Jahr und die fehlenden Prozente im Sommer werden die Solarkollektoren durch einen Heizsystem unterstützt.

Abbildung 27: Solarthermie an einem Verwaltungsgebäude einer Gießerei

Wasserkraft

Sofern die Gießerei in der Nähe von fließenden Gewässern liegt, kann der Bau von Laufwasserkraftwerken erwogen werden.

Eine andere Gießerei hat ihr Wasserkraftwerk auf dem Werksgelände Anfang der Nullerjahre verkauft. Die netzparallele Anlage hat eine Nennleistung von 90 kW und erzeugt jährlich ungefähr 680.900 kWh, womit ungefähr 4 Prozent des Eigenstrombedarfs gedeckt werden könnten.

Ein anderes Unternehmen hat zwei etwa zehn Kilometer auseinanderliegende Standorte mit Gießerei und Stahlwerk. Historisch gewachsen ist am Standort des Stahlwerks schon seit dem 18. Jahrhundert eine Kornmühle, die im 20. Jahrhundert zu einem Wasserkraftwerk umgebaut wurde. Seit dem Jahr 1992 wird dieses Wasserkraftwerk mit vier Turbinen netzparallel betrieben. Die Gesamtspitzenleistung der Anlage beträgt 660 kW und insgesamt werden durchschnittlich 2.292.804 kWh pro Jahr erzeugt. Im Jahr 2011 waren es sogar 3.892.961 kWh Elektroenergie, die in Stromnetz eingespeist wurden.

Abbildung 28: Wasserkraftwerk am Gießereigelände

Geothermie

Zur regenerativen Wärmeversorgung eignet sich die oberflächennahe Geothermie mit Bohrtiefen unter 400 Meter, wohingegen die tiefe Geothermie zur Stromversorgung mit Bohrtiefen über 400 Metern aufgrund von einer deutschlandweit installierten Leistung von 12,1 MW_{el} gegenwärtig nicht relevant für Gießereien ist.

Oberflächennahe Geothermie mit zwölf Bohrlöchern in 125 Meter Tiefe zur Wärmeerzeugung und Kühlung nutzt eine Feingießerei, wodurch die CO_2-Emissionen um etwa 50 Prozent und die Betriebskosten gegenüber einer vergleichbaren Klimatisierungsanlage um etwa 60 Prozent sinken. Insgesamt kann eine Heizleistung von 30 Kilowatt und eine Kühlleistung von 35 Kilowatt bei 1.800 bzw. 1400 Betriebsstunden erreicht werden.

7.6 Schmelzbetrieb

Schmelzöfen sind zum Schmelzen und Warmhalten von flüssigem Metall. Die Erwärmung der metallischen Werkstoffe auf Temperaturen deutlich über den Schmelzpunkt bzw. Schmelzbereich ist der energieintensivste Prozess in einer Gießerei.

Mit ihren verschiedenen Varianten sind Kupolöfen und Induktionsöfen nahezu die einzigen Schmelzofenarten in deutschen Eisen-, Stahl- und Tempergießereien. Lichtbogenöfen sind in Deutschland nur in Stahlgießereien im Einsatz. In Deutschland sind in Eisengießereien Drehtrommelöfen nur noch selten im Einsatz.

Etwa 70% der Öfen in Nichteisenmetallgießereien werden mit Brennstoff, mit Erdgas oder mit Öl beheizt, und etwa 30% werden elektrisch beheizt.

In den meisten Leichtmetallgießereien werden öl- oder gasbeheizte Tiegelschmelzöfen eingesetzt. Im Buntmetallguss ist der Einsatz von Induktionsöfen größer als im Leichtmetallguss.

Ist die Schmelze für das Gießen in eine Form vorbereitet, so wird sie typischerweise vom Ofen in eine Pfanne übergeben, mit der sie zur Form transportiert wird. Diese Pfannen müssen intensiv vorgewärmt werden.

7.6.1 Kupolofen

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.4.1

Ein Kupolofen ist ein Schachtofen, in den wechselnde Lagen von Stahlschrott/Eisen und Koks eingebracht werden.

Hauptenergieträger ist der Koks. In den meisten Fällen wird Gießereikoks eingesetzt. Hochofenkoks kann ebenfalls eingesetzt werden, der Koksverbrauch ist damit aber meist etwas höher. Der Koksatz liegt zwischen 9% und 15% des metallischen Einsatzes, abhängig von Stahlschrottanteil, der Schrottgröße, der Heißwindtemperatur, der Koksqualität, den Zuschlagsstoffen und der Feuerfestzustellung des Ofens **(Abbildung 29;**

Abbildung 30; Tabelle 14).

Abbildung 29: Darstellung des Gesamtenergiebedarfs in vier untersuchten Kupolöfen [IfG 2008]

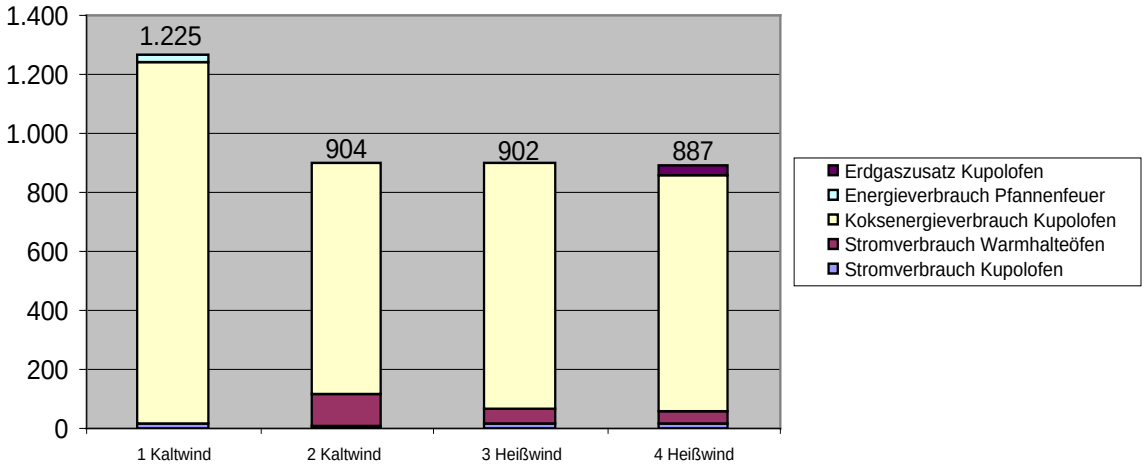


Abbildung 30: Darstellung des Koksverbrauchs von vier untersuchten Kupolöfen in kg/t Flüssigeisen [IfG 2008]

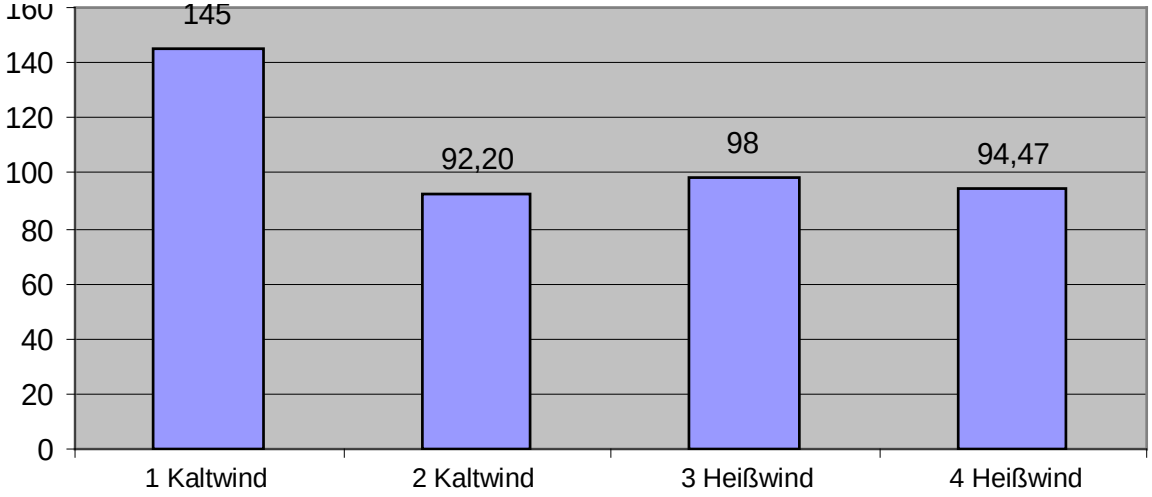
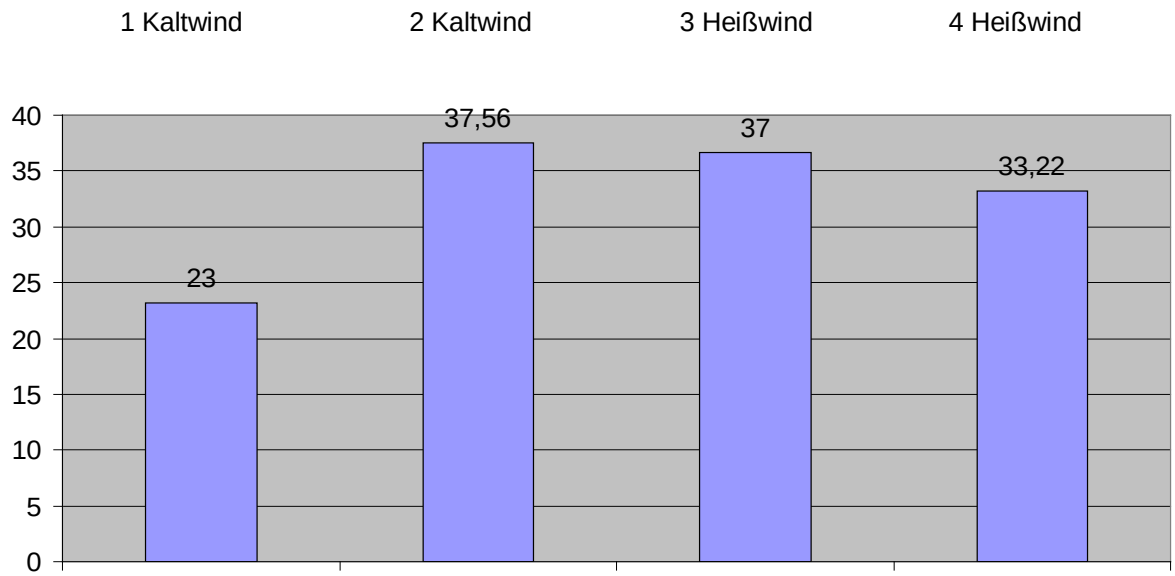


Tabelle 14: Darstellung der Flüssigeisentemperatur und der maximalen Leistung der untersuchten Kupolöfen [IfG 2008]

		1 Kaltwind	2 Kaltwind	3 Heißwind	4 Heißwind
Flüssigeisentemperatur	°C	1500	1480 - 1530	1540 - 1560	1490 - 1510
Max. Leistung	t/h	7,5	9	32	100

Abbildung 31: Darstellung des Sauerstoffeinsatzes in m³/t Flüssigeisen in den untersuchten Kupolöfen [IfG 2008]



Aus **Abbildung 31** wird deutlich, dass der Einsatz von Sauerstoff in Kupolöfen verbreitet ist. Dies ist eine neben anderen Einflussgrößen, wie Kontinuität des Ofenbetriebs, Größe des Ofens, Bauart etc., die unterschiedlichen Kokssatz beim Kupolofenschmelzen verursachen.

Aus Erhebungen in Gießereien der betrieblichen Abteilung des Deutschen Gießereiverbands – inzwischen eine Abteilung des IfG – liegen Angaben für wichtige Fertigungsbereiche von Gießereien vor.

Bei diesen Energiebedarfsdaten ist zu beachten, dass sie sich nicht ausschließlich auf das Primär-Schmelzaggregat beziehen, sondern den Energieverbrauch des gesamten Fertigungsbereiches umfassen.

Tabelle 15: Klassifizierung eines Kaltwind-Kupolofen [DGV 2008]

	Mengen	Einheit
Kraftstrom	715.000	kWh
Feste Brennstoffe	2.150	Tonnen
Gasförmige Brennstoffe	700.000	kWh
Flüssige Brennstoffe	45.000	Liter
Wasser	2.450	cbm

Tabelle 15 gibt Werte an für einen Kaltwind-Kupolofen mit folgenden betrieblichen Daten: 15.000 Tonnen Flüssigeisen pro Jahr ohne Sekundärwind. Die Daten sind in Zusammenhang mit den nachfolgend beschriebenen Informationen zu sehen.

- Der Kraftstrom beinhaltet u. a. auch Strom für Schrägaufzug, Gattierungs- und Transportkräne, Staubabsaugung
- Der Verbrauch fester Brennstoffe, wie Schmelz- und Satzkoks, bezieht sich direkt auf den Schmelzofen
- Die gasförmigen Brennstoffe müssen zusammen gesehen werden und beinhalten u. a. den Energiebedarf für die Pfannentrocknung und -vorwärmung, Arbeitsplatzbeheizung, evtl. Schrottvorwärmung
- Die Wasserdaten beziehen sich auf Prozesswasser und Brauchwasser

Als flüssiger Brennstoff wird Öl eingesetzt. Der durchschnittliche Heizwert von Öl wird mit 10,2 kWh/l angesetzt. Als fester Brennstoff wird Steinkohlenkoks eingesetzt. Der durchschnittliche Heizwert von Steinkohlenkoks wird mit 30.000 kJ/kg angesetzt.

Durchschnittlich ergibt sich ein Energiebedarf von 1343,3 kWh/t. Mit Sekundärwind reduziert sich, den Angaben entsprechend, der Koksverbrauch um 10 %.

Tabelle 16: Klassifizierung eines Heißwind-Kupolofen [DGV 2008]

	Mengen	Einheit
Kraftstrom	875.000	kWh
Feste Brennstoffe	2.000	Tonnen
Gasförmige Brennstoffe	850.000	kWh
Flüssige Brennstoffe	34.000	Liter
Wasser	4.250	cbm

Tabelle 16 beschreibt einen Heißwind-Kupolofen mit den nachfolgenden betrieblichen Daten: 15.000 Tonnen Flüssigeisen pro Jahr ohne beheizten Vorherd. Die Daten beziehen sich, wie die Daten zum Kaltwindkupolofen **(Tabelle 15),** auf den gesamten Fertigungsbereich mit seinem Energieeinsatz.

Durchschnittlich ergibt sich ein Energiebedarf von 1271,5 kWh/t.

Das IfG ist an einem von der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsgemeinschaften AiF geförderten Vorhaben beteiligt, das bis April 2013 läuft und dessen Ziel alternative Brennstoffe zu Koks aus nachwachsenden Rohstoffen sind [IfG 2012].

In einem früheren, vom Bundesforschungsministerium geförderten Vorhaben ist ein System entwickelt worden, bei dem Erdgas als Zusatzbrennstoff und Sauerstoff eingeblasen werden

[Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009].

Ein nur mit Erdgas betriebener Kupolofen konnte sich in den vergangenen 20 Jahren nicht durchsetzen. Die Gründe liegen u.a.in der geringen Eisentemperatur, die einen nachgeschalteten E-Ofen erforderlich macht. Die Entwicklung dieser Technologie soll aber laut Hersteller fortgeführt werden [Lemperle 2012]. Da auch bei koksbetriebenen Kupolöfen nachgeschaltete Induktionsöfen – primär zum Warmhalten – üblich sind, wäre zu prüfen, inwieweit hiermit eine zu niedrige Eisentemperatur auf die zu erreichende Temperatur eingestellt werden könnte. Die Thematik „Koksloser Kupolofen“ ist metallurgisch, anlagentechnisch und unter Energieaspekten sehr komplex – es ist zu diskutieren, ob sich die bisherige Entwicklung der sehr geringen Verbreitung von kokslosen Kupolöfen fortsetzen oder umkehren wird – für letzteres gibt es derzeit allerdings noch keine Anzeichen.

Einsatz von Erdgas als Zusatzbrennstoff findet statt **(Abbildung 29).**

Hierbei ist der Energienutzungsgrad zu beachten, wie im von Neumann [1999, S.54ff.] ausführlich erläutert wird.

Bei Verbrennung von Erdgas entsteht neben CO_2 auch H_2O, genauer gesagt, es entstehen nur 1/3 CO_2 und 2/3 H_2O. Neumann gibt Einblick hinsichtlich der Verbrennungswärme von Kohlenstoff und Methan; bei vollständiger Verbrennung von CH_4 werden 35840 kJ/m^3 und von Kohlenstoff 33240 kJ/kg C freigesetzt. Bei Bezug auf 1 kg Koks (statt 1 kg Kohlenstoff) mit 0,9% C reduziert sich letzterer Wert auf 29916 kJ/kg Koks. Das Wärmeäquivalent für 1 kg entspricht somit 0,9 m^3 CH_4. Unter der Berücksichtigung, dass eine Teillreduktion von CO_2 und H_2O unter Wärmeverbrauch stattfindet, was durch das sogenannte Verbrennungsverhältnis η_v ausgedrückt wird, vermindert sich der Wärmegewinn deutlich.

Neumann führt im Weiteren detailliert aus, wo Randbedingungen für den Einsatz von Brenngas bei Kupolöfen sind.

7.6.2 Induktionsofen

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.4.3

Man unterscheidet Induktionsöfen nach ihrem Bau in Induktionstiegelöfen oder Induktionsrinnenöfen - oder man unterscheidet sie nach der Frequenz in Mittelfrequenz- oder Netzfrequenz-Induktionsöfen.

Induktionsöfen sind oft in Verbindung mit einem Kupolofen im Einsatz – der Induktionsofen ist dabei dem Kupolofen nachgeschaltet und nimmt dessen Schmelze zur Behandlung oder zum Warmhalten auf.

Der MF-Schmelzofen löst seit etwa 20 Jahren den NF-Schmelzofen ab.

Bei der modernen Anlagentechnik besteht inzwischen für alle Anwendungen des Induktionsverfahrens die Stromversorgung aus einer Frequenzumrichtereinheit, die die Induktionsspule für die geforderte Leistung mit Strom einer an die Schmelzbedingungen angepassten Frequenz versorgt. Dies verbessert die Einstellung einer optimalen Badbewegung. Die Badbewegung ist notwendig, um Stäube oder Späne einzusetzen und damit das Material wiederzuverwenden.

Beim Umrichter liegen vergleichbare Möglichkeiten vor durch Einsatz neuer Komponenten wie der IGBT-Technik.

Neue Induktionsofen-Anlagen sind nahezu ausschließlich für MF mit der Umrichter-Stromversorgung ausgerüstet, so dass die elektrotechnischen und verfahrenstechnischen Vorteile dieser Technologie für unterschiedlichste Einsatzbereiche genutzt werden. NF-Anlagen früherer Auslegung werden kaum noch installiert.

Die Leistungsdichte für MF-Anlagen liegt also um das 3- bis 3,3-fache höher als bei NF-Anlagen, was besagt, dass auch 3 bis 3,3 mal so schnell bei MF-Betrieb geschmolzen wird.

In einer Arbeit des IfG sind die in **Abbildung 32** und in **Tabelle 17** dargestellten Werte ermittelt worden [IfG 2008].

Abbildung 32: Energiebedarf von Induktionsöfen in kWh/t Flüssigeisen [IfG 2008]

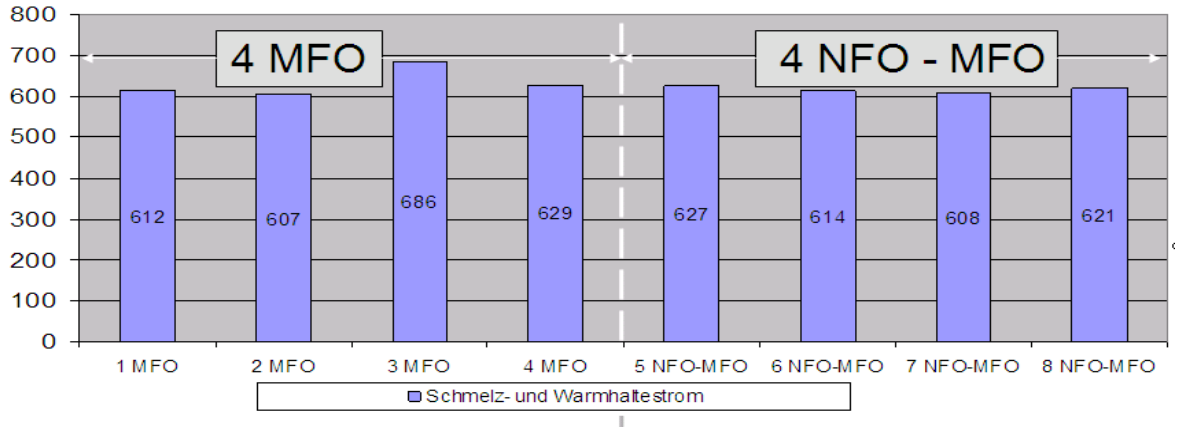


Tabelle 17: Darstellung des Energiebedarfs von Induktionsöfen in kWh/t Flüssigeisen [IfG 2008]

1 MFO	2 MFO	3 MFO	4 MFO	5 NFO-MFO	6 NFO-MFO	7 NFO-MFO	8 NFO MFO		

612	607	686	629	627	614	608	621	kWh /t	Energiebedarf von Induktionsofen ohne Pfannenfeuer
1 MFO 6,5 t	2 MFO Tandem 2 x 5 t	2 MFO Tandem 2 x 2,5 t	1 MFO 13 t	2 MFO Tandem 2 x 8 t; 1 MFO 16 t; 1 NFO 16 t;	1 MFO 15 t; 3 NFO 3,8 4,2 8	4 MFO 4 x 8 t; 1 MFO 10 t; 1 NFO 25 t	1 MFO 12 t; 1 MFO 36 t: 2 NFO 12 t		Ofengröße
5,9	4	2,5	9	8; 8; 4	13; 4	12; 2; 8	Gesamt 10,2	t/h	Schmelzleistung
0,180	0,080	0,500	55	270	16	40	70	t	Gießgewicht
1510	1500 - 1540	1560 - 1580	1460 - 1500	1450 - 1540	1480 - 1500	1480 - 1530	1500	°C	Flüssigeisen-temperatur

Tabelle 18: Klassifizierung eines MF-Ofen (6 Tonnen) [DGV 2008]

	Mengen	Einheit
Schmelzstrom	9.000.000	kWh
Kraftstrom	500.000	kWh
Gasförmige Brennstoffe	350.000	kWh
Wasser	2.100	Cbm

Tabelle 18 gibt Werte an für einen Mittelfrequenz-Ofen mit den nachfolgenden betrieblichen Daten: Mittelfrequenz-Ofen, 6 Tonnen, 15.000 Tonnen Flüssigeisen pro Jahr, 100 % Gusseisen mit Lamellengraphit. Die Daten sind in Zusammenhang mit den nachfolgend beschriebenen Informationen zu sehen. Der Energiebedarf errechnet sich zu 656,6 kWh/t.

- Die Daten für den Kraftstromverbrauch beinhalten u. a. die Menge der benötigten Energie für den Gattierungswagen, für Gattierungs- und die Transportkräne und die Staubabsaugung
- Der Verbrauch des Schmelzstroms betrifft den Strom zum Schmelzen sowie den Stromverbrauch, wenn Wartezeiten bei der Eisenabnahme entstehen.
- Die gasförmigen und flüssigen Brennstoffe müssen zusammen gesehen werden und beinhalten u. a. den Bedarf für die Pfannentrocknung und –vorwärmung oder Arbeitsplatzbeheizung.
- Wasser findet Berücksichtigung als Kühlwasserauffrischung, Prozesswasser, Brauchwasser.

Tabelle 19: Klassifizierung eines NF-Ofen (6 Tonnen) [DGV 2008]

	Mengen	Einheit
Schmelzstrom	9.900.000	kWh
Kraftstrom	400.000	kWh
Gasförmige Brennstoffe	425.000	kWh

	Mengen	Einheit
Flüssige Brennstoffe	17.000	Liter

Tabelle 19 beschreibt einen Netzfrequenz-Ofen mit den nachfolgenden betrieblichen Daten: Netzfrequenz-Ofen, 6 Tonnen, 15.000 Tonnen Flüssigeisen pro Jahr, 100 % Gusseisen mit Lamellengraphit. Die Daten sind in Zusammenhang mit den bei **Tabelle 18** gegebenen Erläuterungen zu verstehen. Der Energiebedarf errechnet sich zu 726,6 k Wh/t.

7.6.3 Lichtbogenofen

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.4.2

Ein Lichtbogenofen ist ein Elektroschmelzofen, bei dem mittels Graphitlanzen ein Lichtbogen oberhalb des metallischen Einsatzmaterials bzw. der Stahlschmelze erzeugt wird.

Die Anzahl an Lichtbogenöfen in Deutschland geht langfristig zurück. Derzeit betreiben 13 deutsche Stahlgießereien Lichtbogenöfen.

In Folgenden werden Daten von Elektrolichtbogenöfen vorgestellt, die aus der Stahlindustrie stammen.

Zwischen 1991 und 2005 sank der mittlere spezifische elektrische Energiebedarf der Elektrostahlwerke in Deutschland von 562 kWh/t auf 525 kWh/t und der spezifische Erdgasverbrauch von 21 m^3/t auf 11 m^3/t [Kirchen 2006].

Demgegenüber stieg der spezifische Sauerstoffverbrauch in den Elektrostahlwerken von 24 m^3/t auf 36 m^3/t.

7.6.4 Übersicht über Schmelzöfen im Eisen- und Stahlguss

Gasbeheizte Drehtrommelöfen sind in vergleichsweise kleiner Anzahl in Eisengießereien im Einsatz. In deutschen Eisengießereien sind noch weniger als 10 Drehtrommelöfen im Einsatz. Die Anzahl ist seit langem rückläufig. Es handelt sich um vergleichsweise kleine Eisengießereien, die gasbeheizte Drehtrommelöfen betreiben. Sie werden beispielsweise noch in den Eisengießereien eingesetzt, die eine ausreichende Stromversorgung für einen Induktionstiegelofen erst noch - mit hohen Investitionskosten verbunden – installieren lassen müssten. Es gab vor einigen Jahren in Spanien im Bereich FuE Bestrebungen, Drehtrommelöfen in Eisengießereien wieder stärker zu Einsatz zu bringen. Vermutlich hatten die damaligen Arbeiten das Ziel, von dem auf dem Weltmarkt zeitweise nicht verfügbaren oder sehr teuren Koks unabhängig zu werden.

Eine Übersicht über den Energieeinsatz in Schmelzbetrieben von Eisen- und Stahlgießereien zeigt **Tabelle 20**.

Zahlenmäßig dominierend in deutschen Eisengießereien sind Kupolöfen und Induktionsschmelzöfen. Der derzeitige Trend: die Anzahl an Kupolöfen stagniert und die Anzahl an Induktionsöfen nimmt eher zu.

Es gibt Fachleute von Eisengießereien, die sehen darin eine langfristige Tendenz vom Kupolöfen (koksbeheizt) hin zum Induktionsofen. Diese Tendenz wird begründet mit zwei Einflüssen

der Zunahme der Werkstoffe Gusseisen mit Kugelgraphit oder mit Vermiculargraphit, die aus metallurgischen Gründen besser in Induktionsschmelzöfen hergestellt werden können (oder: Kupolofen mit nachgeschaltetem Induktionsofen)

und

Maßnahmen um Klimaschutz, wie die Teilnahme der Betreiber großer Kupolöfen am EU-Emissionsrechtehandel.

Tabelle 20: Energieeinsatz in Schmelzbetrieben von Eisen- und Stahlgießereien

		Koks	[30.000kJ/kg]		[30.000kJ/kg]	Erdgas				Heizöl	[10,2 kWh/l]		[10,2 kWh/l]	Strom		Summe	
		t/t fl.Fe	kWht/t fl.Fe	t/t g.G.	kWh/t g.G.	m3/t fl.Fe	kWht/t fl.Fe	m3/t g.G.	kWh/t g.G.	l/t fl. Fe	kWht/t fl.Fe	l/t g.G.	kWh/t g.G.	kWht/t fl.Fe	kWh/t g.G.	kWht/t fl.Fe	kWh/t g.G.
																% an Gesamtenergieeinsatz	
KW-Kupolofen		92-145 [2]														902-1225 [2] 990 [4]	
HW-Kupolofen		95-98 [2]														902-887 [2]	1978 [4]
NF-Induktionsofen														NFO-MFO: Mittelwert aus 4 Werten:618 [2] 660 [1]			
MF-Induktionsofen, Eisen														Mittelwert aus 4 Werten:634 [2]; 600 [2]; 600 [1]			

		Koks	[30.000kJ/kg]		[30.000kJ/kg]	Erdgas				Heiz öl	[10,2 kWh/l]		[10,2 kWh/l]	Strom		Summe	
MF-Induktionsofen, Stahl														740 [4]	35% Ausbringen: 2120 [4]		Stahlgießerei, mit Keramikformen: 9360 [4]
Drehtrommelofen																	
Lichtbogenofen						11[10]								525 [10]			
Pfannenvorwärmung								Stahlgießerei mit 35% Ausbringen: 100 [4]	Stahlgießerei: 300 [4]							43 [6]; Eisen- und Stahlguss: 4% (=80) [4] Nichteisenmetallguss: 3% [4]	
Anlagen, Lufttechnik etc.														33; 27			
Gesamt-Schmelzbetrieb																	

		Koks	[30.000kJ/kg]		[30.000kJ/kg]	Erdgas				Heizöl	[10,2 kWh/l]		[10,2 kWh/l]	Strom		Summe	
	mit KW-K.	143 [1]					47 [1]			3 [1]				48 [1]		1343 [1]	
	mit HW-K.	133 [1]					56 [1]			2 [1]				58 [1]		1272 [1]; 990 [4]	1971 [4]
	mit MF-I.						23 [1]									657 [1] 1080 [6] 623 [6]	2160 [6] 810 [6]
	mit NF-I.						28 [1]			1 [1]						727 [1]	

Datenquellen:
[1] DGV 2008
[2] IfG 2008
[3] Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009
[4] Foundrybench 2012
[5] Effiziente Energieverwendung 2005
[6] Erneuerbare Energie Gießerei 2013
[7] Umweltbundesamt 2004
[8] Wenk 2006
[9] Energie Consulting Bühler 2012
[10] Kirchen 2006

7.6.5 Brennstoffbeheizte Öfen im Nichteisenmetallguss

Siehe Foundry BREF: 2.4.4 – 2.4.8

Zu den brennstoffbeheizten Schmelzöfen in Nichteisenmetallgießereien gehören

- - Tiegelöfen, Herdschmelzöfen
- - Drehtrommel- oder Wannenöfen

Im Folgenden werden Angaben zum Energieeinsatz beim Schmelzen und Warmhalten von Leicht- und Buntmetallschmelzen in brennstoffbeheizten Schmelzöfen dargestellt.

Tabelle 21: Spezifischer Energiebedarf von Kaltluftbrenner und Regeneratorbrenner für verschiedene Ofentypen [Effiziente Energieverwendung 2005]

Ofentyp	Energiebedarf pro 1000 kg Kalt-luftbrenner	Energiebedarf pro 1000 kg mit Regenerator
Aluminium-Schacht-Schmelzofen	1310 kWh	540 kWh
Aluminium-Herd-Schmelzofen	1410 kWh	670 kWh
Aluminium-Wannen-Schmelzofen	1080 kWh	530 kWh
Aluminium-Kammer-Schmelzofen	1390 kWh	580 kWh

Als Durchschnittswert bei energieeffizienter Technik, wie sie in Zukunft allgemeine Verbreitung haben wird, ergibt sich 580 kWh.

Für einen gasbeheizten Ofen vom Typ Mel-Keeper werden zum Schmelzen von Aluminiumlegierung 2100 kJ/kg (= 583 kWh) bis 2500 kJ/kg (= 694 kWh) angegeben. Einsatzgebiete sind der Druckguss, Kokillenguss und Sandguss [Okada et al. 2006].

Tabelle 22: Schmelzleistungen und Brennstoffverbrauch von Tiegelöfen für Rotguss und Bronze [Wenk 2006]

Rotguss, Bronze		Fassungsvermögen in kg		
Ts = 1200°C		100	300	800
Schmelzleistung	Heizöl in kg/h	110	240	400
	Erdgas in kg/h	95	210	355
Brennstoffverbrauch	Heizöl in kg/100 kg	18	14	12
	Ergas in Nm³/100 kg	24	18	16
Warmhalten	Heizöl in kg/h	8	14	30
	Erdgas in Nm³/h	10	18	40

Tabelle 23: Schmelzleistungen und Brennstoffverbrauch von Tiegelöfen für Messing [Wenk 2006]

Messing		Fassungsvermögen in kg		
Ts = 1100°C		100	300	800
Schmelzleistung	Heizöl in kg/h	130	275	455
	Erdgas in kg/h	110	240	415
Brennstoffverbrauch	Heizöl in kg/100 kg	15	12	10
	Erdgas in Nm³/100 kg	20	16	13
Warmhalten	Heizöl in kg/h	7	12	24
	Erdgas in Nm³/h	9	15	30

Aus **Tabelle 22** und **Tabelle 23** ergeben sich als Mittelwert für die verschiedenen Kupferbasislegierungen, die in einem Tiegelofen mit 300 kg Fassungsvermögen geschmolzen werden: 13 kg Heizöl oder 17 Nm^3 Erdgas je 100 kg Schmelze. Der Wirkungsgrad dieser brennstoffbeheizten Öfen ist teilweise niedrig.

Bei den brennstoffbeheizten Öfen sind etwa 70% gas- und 30% ölbeheizt. Weniger als 10% sind Drehtrommelöfen. Nach Auffassung von NE-Gießereifachleuten besteht innerhalb der brennstoffbeheizten Öfen ein Trend von öl- zu gasbeheizten.

Eine Übersicht über den Energieeinsatz in Schmelzbetrieben von Nichteisenmetallgießereien – mit brennstoff- oder elektrisch beheizten Öfen – ist **Tabelle 28** (am Ende von Kapitel 5.6).

7.6.6 Elektrisch beheizte Schmelzöfen (im Nichteisenmetallguss)

Elektrisch beheizte Öfen in NE-Gießereien:

- Widerstandsbeheizte Schmelzöfen haben wegen geringer Schmelzleistung eher eine geringe Bedeutung – sie werden als Warmhalteöfen in Druck- und Kokillengießereien eingesetzt
- Induktionsrinnenöfen: in Hüttenbetrieben, aber kaum in Gießereien im Einsatz
- Netzfrequenz-Induktionstiegelöfen: Einsatz in Mittel- und Großbetrieben
- Mittelfrequenz-Induktionstiegelöfen: typisch für kleine Schmelzmengen bis etwa 80kg im Einsatz

Im Folgenden Angaben zum Energieeinsatz beim Schmelzen und Warmhalten von Leicht- und Buntmetallschmelzen in elektrisch beheizten Schmelzöfen. Zunächst zum Leichtmetallguss – d. h. im Wesentlichen Aluminiumguss. Magnesium- oder Titanlegierungen haben mengenmäßig gesehen eine nachrangigere Bedeutung.

Tabelle 24: Mittlerer spezifischer Energiebedarf von Elektroschmelzöfen verschiedener Bauart für Aluminium-Legierungen [Effiziente Energieverwendung 2005]

[Ofenart]	Schmelztemperatur [°C]	Schmelzenthalpie und Überhitzungswärme [kWh$_{el}$/t]	Wirkungsgrad [%]	Tatsächl. spezifischer Energieverbrauch [kWh$_{el}$/t]
Induktionsofen	750	329	60 – 70	470 - 550
Widerstandsofen	750	329	60 – 70	440 - 510

Tabelle 25: Wirkungsgrade und Energieverbrauchswerte für Induktionsöfen zum Schmelzen von Aluminiumlegierungen [Effiziente Energieverwendung 2005]

[Ofenart]	Mittlerer Wirkungsgrad [%]	Spezifischer Energieverbrauch [kWh$_{el}$/t]
Induktions-Rinnenofen	83	430
Induktions-Tiegelofen	65	530

Der mittlere spezifische Energiebedarf zum Schmelzen von Aluminiumlegierungen in Induktions-Tiegelöfen oder widerstandsbeheiztem Ofen beträgt 505 kWh je t Schmelze.

Der Buntmetallguss umfasst bei dieser energetischen Betrachtung die Gusswerkstoffe auf Kupfer- oder Zink-Basis **(Tabelle 26; Tabelle 27)**

Tabelle 26: Vergleich von Wirkungsgraden und Energieverbrauchswerten von Induktions-Tiegelöfen [Effiziente Energieverwendung 2005]

	Mittlerer Wirkungsgrad [%]	Spezifischer Energieverbrauch [kWh$_{l}$/t]
Kupfer	54	385
Messing	**63**	**260**

Tabelle 27: Vergleich von Wirkungsgraden und Energieverbrauchswerten von Induktions-Rinnenöfen [Effiziente Energieverwendung 2005]

NE-Metall	Mittlerer Wirkungsgrad [%]	Spezifischer Energieverbrauch [kWh/t]
Kupfer	88	260
Messing	80	225*
Zink	**85**	**100**

* Reiner Schmelzaufwand, ohne Nebenzeiten und Materialverluste ca. 195 – 200 [kWh$_{el}$/t]

Eine Übersicht über den Energieeinsatz in Schmelzbetrieben von Nichteisenmetallgießereien – mit brennstoff- oder elektrisch beheizten Öfen – ist **Tabelle 28.**

Tabelle 28: Energieeinsatz in Schmelzbetrieben von Nichteisenmetallgießereien

		Erd-gas				Heizöl	[10,2 kWh/l]		[10,2 kWh/l]	Strom		Summe	
		m3/t fl.NE	kWht/t fl.NE	m3/t g.G.	kWh/t g.G.	l/t fl.NE	kWht/t fl.NE	l/t g.G.	kWh/t g.G.	kWht/t fl.NE	kWh/t g.G.	kWht/t fl.NE	kWh/t g.G.
													%: Anteil an Gesamtenergieeinsatz
Aluminium-leg.	Gasbeheizter Schmelzofen		580 [5]		2000 [6]								Flüssigmetallanlieferung bei folgenden Angaben: 810 [4] 940 [4]
	Ölbeheizter Schmelzofen												
	Elektrisch beheizter Ofen									Mittelwert für Induktions- uns Widerstandsbeheizte Öfen: 505 [5]			
Kupferleg.	Gasbeheizter Schmelzofen	160; 170 [8]	1600; 1700 [8]										
	Ölbeheizter Schmelzofen					120 [8]							
	Elektrisch beheizter Ofen									260 [5]			

		Erd-gas				Heizöl	[10,2 kWh/l]		[10,2 kWh/l]	Strom		Summe	
Zinkleg.	Gasbeheizter Schmelzofen												
	Ölbeheizter Schmelzofen												
	Elektrisch beheizter Ofen									100 [5]			
	Pfannenvorwärmung												5-10% [5]: 3% [4]
	Anlagen, Lufttechnik etc.												
	Gesamt-Schmelzbetrieb												

Datenquellen:
[1] DGV 2008
[2] IfG 2008
[3] Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009
[4] Foundrybench 2012
[5] Effiziente Energieverwendung 2005
6] Erneuerbare Energie Gießerei 2013
[7] Umweltbundesamt 2004
[8] Wenk 2006
[9] Energie Consulting Bühler 2012
[10] Kirchen 2006

7.6.7 Pfannenvorbehandlung, -wärmung

Pfannen sind Gefäße, in denen eine Schmelze vom Schmelz- oder Warmhalteofen zum Gießen in eine Form transportiert wird.

Pfannen müssen trocken sein, um bei Füllen mit Schmelze kein explosionsartiges Verdampfen auftreten zu lassen. Die Schmelze sollte möglichst langsam in einer Pfanne abkühlen – sie wird darum – wie im Folgenden dargestellt - vorgewärmt oder isoliert.

Erdgas-Luft-Diffusionsbrenner (Brennertechnik mit offener Flamme) sind am weitesten in Gießereien verbreitet und stellen den Standard bei der Vorwärmung und Aufheizung von Öfen und Transportpfannen unter Einsatz von Brennersystemen dar. Die erreichten Temperaturen betragen etwa um 1.000 °C.

Neben den Erdgas-Luft-Diffusionsbrennern zur Vorwärmung und Aufheizung von Öfen und von Transportpfannen können die Gießereien des Weiteren zurückgreifen auf:

> Erdgas-Luft-Volumenbrenner in Form von Porenbrennern. Die erreichten Temperaturen betragen etwa um 1.000 °C. Einsatz ist möglich in Eisen- und Stahl-Gießereien unter der Prämisse: Temperaturen oberhalb um 1.000 °C werden nicht benötigt. Einsatz ist auch möglich in Nichteisenmetall-Gießereien.

Porenbrenner verbreiten sich vergleichsweise schnell in Gießereien; es sind derzeit mehr als 20 Gießereien dabei, Porenbrenner zu erproben oder einzusetzen.

In einer Stahlgießerei, die am Projekt Foundrybench beteiligt war, beträgt der Verbrauch an Erdgas bei Verwendung eines modernen Porenbrenners etwa 45.000 m^3 je Jahr – was einem spezifischen Verbrauch von 300 kWh / t guter Guss entspricht **(Tabelle 13).**

> Erdgas-Sauerstoff-Diffusionsbrenner (Oxy-Fuel-Brenner). Mit Oxy-Fuel-Brennern lassen sich Temperaturen erreichen von ca. 1.200 °C – 1.450 °C. Einsatz in Eisen- und Stahl-Gießereien sowie in Nicht-Eisen-Metall-Gießereien; es sind derzeit etwa 5-10 Anwendungen bekannt.

In einer fG-Arbeit, in der Angaben aus Gießereien zum Energieeinsatz in ihren Elektroschmelzbetrieben ermittelt wurden, sind auch Angaben zum Verbrauch von Erdgas und Heizöl zur Pfannenvorwärmung (gasförmige oder flüssige Brennstoffe) gemacht worden**.**

7.6.8 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien im Schmelzbetrieb

Da der Schmelzprozess der energieintensivste Fertigungsschritt des Gießereiprozesses ist, kann hier das größte Einsparpotenzial von CO_2-Emissionen durch einen Energieträgerwechsel realisiert werden. Vor diesem Hintergrund ist es von besonderem Interesse, das Potenzial für den Einsatz erneuerbarer Energien in diesem Fertigungsschritt zu bestimmen.

Wie aus den bisherigen Ausführungen des Kapitels deutlich wurde, werden die im Schmelzbetrieb verwendeten Öfen entweder brennstoffbeheizt (z.B. Kupol-, Tiegel- oder Herd-schmelzofen) oder elektrisch beheizt (z.B. Induktions- oder Lichtbögenöfen). Die brennstoffbeheizten Öfen in Nichteisenmetallgießereien werden derzeit zu 70 % mit Erdgas und zu 30 % mit Öl betrieben. Aufgrund des niedrigeren Emissionsfaktors von Erdgas (0,056 t CO_2/GJ) im Vergleich zu Heizöl (0,074 t CO_2/GJ) ist hier im Hinblick auf die Reduktion von CO_2-Emissionen generell ein Umstieg von Heizöl auf Erdgas zu empfehlen. Weitere Emissionen lassen sich durch den Einsatz von auf Erdgas-Qualität aufbereitetem Biogas einsparen.

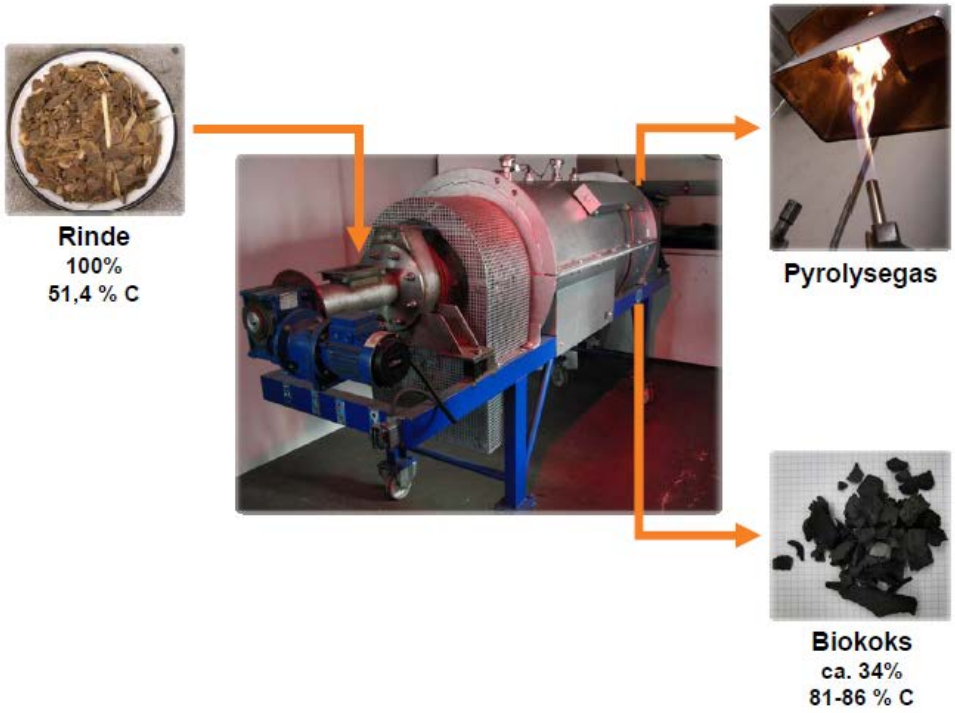
Angesichts des hohen Temperaturbereichs (ca.1400-1500°C in Eisengießereien, 1500-1600°C in Stahlgießereien) eignet sich derzeit kein weiterer erneuerbarer Energieträger dazu, die im Schmelzbetrieb benötigte, thermische Energie bereitzustellen.

Bezüglich Koks-Einsatz Kupolöfen:

Ergebnisse eines im IfG mit Forschungspartnern durchgeführten Forschungsvorhabens zeigen, dass carbonisierte Biomasse aus nachhaltig gewonnenen Rohstoffen grundsätzlich geeignet erscheint, Koks in Kupolöfen zu ersetzen. Projekttitel und Partner sind:

Die Prozessstufe der Carbonisierung zeigt die **Abbildung 33.**

Abbildung 33: Versuchsanlage zur Carbonisierung



E-404

Gefördert durch die AiF im Programm Zukunftstechnologien für den Mittelstand (ZUTECH) AiF-Nr.:343 ZN/1

Entwicklung von carbonisierten Biomasse-Rückständen als alternative Energieträger für den Kupolofenprozess

Gemeinschaftsprojekt:

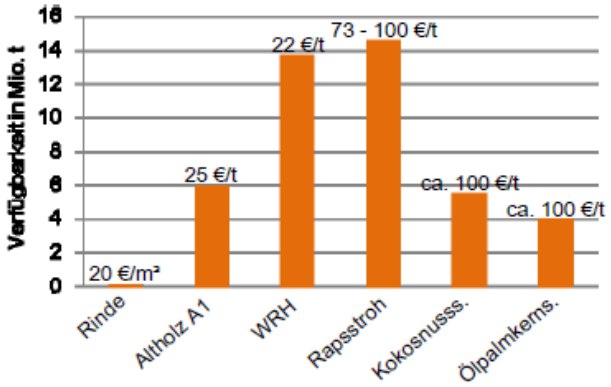
IfG Institut für Gießereitechnik gGmbH
IfG Service GmbH

IfG gGmbH, Düsseldorf *und* Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe (TEER) der RWTH Aachen

Die folgende Übersicht zeigt verschiedene Materialien und ihre Kenndaten **(Abbildung 34).**

Abbildung 34: Materialien zur Carbonisierung

Carbonisat aus	Asche [%]	Flüchtige [%]	Ho [kJ/kg]	C [%]	H [%]	N [%]	S [%]	Cl [%]
Rapsstroh	14,0	19,1	26.690	73,3	2,37	1,70	1,32	0,20
Rinde	9,0	7,5	30.400	88,3	1,37	1,12	0,82	< 0,05
Altholz AI	1,34	6,3	32.870	94,9	1,73	0,47	< 0,10	< 0,05
Waldrestholz	3,6	10,6	31.750	88,4	2,64	0,69	< 0,10	< 0,05
Kokosnussschalen	2,1	6,0	32.340	90,8	1,29	0,46	< 0,10	< 0,05
Ölpalmkernschalen	3,5	4,8	32.040	90,0	1,29	0,74	< 0,10	< 0,05



Die vorbehandelte Biomasse wird dabei mit Bindemitteln zu Presslingen verfestigt. Diese müssen nach Trocknung eine ausreichend hohe Scher- und Druckfestigkeit, ähnlich wie Koks, erreichen. Dann sind sie grundsätzlich geeignet, um im Schachtofen in Wechsellagen von metallischem Einsatzmaterial wie Schrott und festem Brennstoff, bisher Koks, eingesetzt werden zu können.

Bei den Forschungsarbeiten hat sich gezeigt, dasEinsatz im Kupolofen noch nicht ausreichend entwickelt ist. Die derzeitig im Betrieb bes das Herstellen von Presslingen für den findlichen Kupolöfen sind hinsichtlich ihrer Auslegung und Dimensionen für Koks als festem kohlenstoffreichem Material ausgelegt. Bei der Herstellung von carbonisierter Biomasse und von bindemittelhaltigen Presslingen werden mit der derzeitigen Methode allerdings keine Presslinge mit ausreichend hohem Kohlenstoffgehalt bzw. Heizwert und zugleich mit ausreichend hoher Druckfestigkeit erreicht. Es erscheint aussichtsreich, dass die Entwicklungsarbeiten in einigen Jahren zu einem EE-Ersatzbrennstoff führen können.

Bei den elektrisch beheizten Öfen lässt sich durch einen Umstieg vom konventionellen Strommix auf Ökostrom eine erhebliche Emissionsminderung realisieren. Im Sinne einer Realisierung des maximal möglichen Emissionsminderungspotenzials sollten bei der Wahl des Ökostromanbieters einige Faktoren berücksichtigt werden (vgl. hierzu Kap. 9.1.1.2). Bei einer Eigenerzeugung sollte aufgrund ihrer vergleichsweise niedrigen Stromgestehungskosten hierfür insbesondere die Windkraft oder die Photovoltaik oder eine Kombination von beiden herangezogen werden.

Tabelle 29: Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energieträger im Schmelzbetrieb

Ofenart	Temperatur-bereich	Derzeitiger Energieträ-ger	Zukünftiger, erneuerbarer Energieträger
Brennstoffbeheizte Öfen: Kupolofen Tiegelofen Herdschmelzofen Drehtrommelofen Wannenöfen	750-1500°C	Koks Erdgas Heizöl	auf Erdgasqualität aufbereitetes Biogas; zukünftig: ggf. carbonisierte Biomasse
Elektrisch beheizte Öfen: Induktionsofen Lichtbogenofen	750-1600°C	Konventioneller Strom	Ökostrom (v.a. Windkraft, Photovoltaik, Wasserkraft)
Pfannenvorbehandlung & -wärmung	1000-1100°C	Erdgas	Auf Erdgasqualität aufbereitetes Biogas

Damit wird deutlich, dass die technischen Trends in den Schmelzbetrieben von Gießereien, wie sie erkennbar sind (siehe vorangegangene Ausführungen), dazu führen, zukünftige Potentiale für erneuerbare Energie zu erschließen. Dort, wo Strom (Ökostrom) oder Erdgas (Biogas mit Erdgasqualität) eingesetzt werden, gibt es technisch keine Hürde. Tendenzen hin zu dem Einsatz erneuerbarer Energien sind beim der koksbeheizten Kupolofen sowie bei ölbeheizten Schmelzöfen in Nichteisenmetallgießereien:

Kupolofen:

kurzfristig: teilweiser Ersatz von Koks durch Biogas (mit Erdgasqualität)

mittelfristig: teilweiser Ersatz von Koks durch nachwachsende Brennstoffe; hierzu sind die grundlegenden Entwicklungen bereits durchgeführt worden, es fehlt in einem weiteren Projekt aber noch die Umsetzung der Anlagentechnik zur Carbonisierung in einer betrieblichen Größe.

langfristig (in Investitionszyklen): Tendenz zum elektrisch (mit Ökostrom) beheizten Ofen - eher weniger relevant: Umstellungen auf kokslosen Kupolofen - Ersatz von Kupolofen durch Induktionsofen (mit Ökostrom)

Ölbeheizte Schmelzöfen:

langfristig (in Investitionszyklen): Umstellung von öl- auf gasbeheizte Öfen

7.7 Form- und Kernherstellung

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.5

Im Eisen-, Stahl und Temperguss fast ausschließend - sowie vielfach im Nichteisenmetallguss - besteht die Form, in die eine metallische Schmelze gegossen wird, aus gebundenen Sandkörnern (Sandform). Hohlräume innerhalb von Gussteilen werden mit Sandkernen geformt.

Formstoffe werden ständig innerhalb einer Gießerei gefördert oder transportiert und in verschiedenartigen Aufbereitungsanlagen für den Einsatz vorbereitet.

Die Prozessschritte, in denen Wärme eingesetzt wird, sind erwartungsgemäß die energieintensivsten. Hierzu gehören Formverfahren, bei denen das Formstoffbindemittel mit Wärme gehärtet wird sowie Trocknungsverfahren bei Einsatz von wasserhaltigen Formüberzügen (Schlichten).

7.7.1 Nassguss-Verfahren

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.5.4

Beim Nassguss-Verfahren wird bentonitgebundener Quarzsand zu einer Sandform gepresst. Dieses Pressen kann in kleinen Gießereien mit einer einzelnen Maschine oder in größeren Gießereien mittels einer Formanlage geschehen.

Derartige Maschinen verbrauchen Strom und werden typischerweise teilweise mit Druckluft betrieben.

Bei den durch den ehemaligen DGV bereitgestellten Energiebedarfsdaten ist zu berücksichtigen, dass sich die Energiebedarfsdaten nicht ausschließlich auf die entsprechende Maschine beziehen, sondern der Energiebedarf den gesamten Fertigungsbereich abdeckt, dazu zählt u. a. auch die Sandaufbereitung.

Tabelle 30 beschreibt eine Formanlage, 100 Liter-Formkasten, 2-schichtig, ohne Gießvorrichtung, 250.000 abgegossene Kästen, 2.500 Tonnen produzierter guter Guss pro Jahr. Als flüssiger Brennstoff wird Öl eingesetzt. Der durchschnittliche Heizwert von Öl wird mit 10,2 kWh/l angesetzt. Der durchschnittliche Energiebedarf unter Berücksichtigung des NRG errechnet sich zu 533,4 kWh/t.

Tabelle 30: Darstellung des Energiebedarfs einer Formerei (mit Formstoffaufbereitung) [DGV 2008]

	Mengen	Einheit
Kraftstrom	820.000	kWh
Flüssige Brennstoffe	18.000	Liter
Gasförmige Brennstoffe	330.000	kWh
Wasser	3.000	cbm

Tabelle 31 beschreibt eine Formanlage 500 Liter-Kasten, 2-schichtig, ohne Gießvorrichtung, 45.000 abgegossene Kästen, 2500 Tonnen produzierter Nettorohguss (NRG) pro Jahr.

Tabelle 31: Darstellung des Energiebedarfs einer Formerei mit automatischen 500 Liter-Kasten Formanlage (inklusive Formstoffaufbereitung) [DGV 2008]

	Mengen	Einheit
Kraftstrom	550.000	kWh
Flüssige Brennstoffe	7.300	Liter
Gasförmige Brennstoffe	97.000	kWh
Wasser	2.200	cbm

Die Daten für den Kraftstromverbrauch, angegeben in **Tabelle 30** und **Tabelle 31**, beinhalten u. a. die Mengen der benötigten Energie für die Sandaufbereitungsanlage und die notwendigen Stofftransporteinrichtungen. Darüber hinaus für die Ausleerstation, Transportkräne, Rollenbahnantriebe, automatische Gießeinrichtung und Kerneinlegevorrichtung und für die Staubabsaugung.

Die gasförmigen und flüssigen Brennstoffe müssen zusammengesehen werden und beinhalten u. a. den Bedarf für die Arbeitsplatzbeheizung. Die Wasserdaten beziehen sich auf Prozesswasser und Brauchwasser.

Eine Übersicht über den Energieeinsatz bei der Form- und Kernherstellung zeigt **Tabelle 37** am Ende von Kapitel 5.7.

7.7.2 Formverfahren mit chemischen Bindemitteln

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.5.6

Sandformen, bei denen der Sand mit chemischen Bindemitteln verfestigt wird, werden in den meisten Fällen verwendet, um große Bauteile herzustellen.

Als selbsthärtende Bindemittel werden Furanharz, Phenolharz oder anorganische Bindemittel (Wasserglas; Zement) eingesetzt. Verarbeitet werden sie mit elektrisch betriebenen Durchlaufmischern.

Der Einsatz von Formüberzugsstoffen mit Wasseranteil (Schlichten) nimmt gegenüber den früher üblichen Alkoholschlichten zu. Die Wasserschlichten trocknen entweder an der Luft oder sie werden mittels Warmluft – teilweise in Öfen – getrocknet.

Bei Großguss mit selbsthärtenden Formstoffen besteht ein Trend darin, die Formen auf Flurförderfahrzeugen und auf festen Bahnen nacheinander zu den einzelnen ortsfesten Fertigungsstationen (Formen – Gießen – Ausleeren – Putzen) zu bringen.

Voraussetzung für diese Art der Fertigung sind große Gussteile mit vergleichsweise großen Serien, wie gegossene Bauteile für Windkraftanlagen.

Dieser zunehmend mechanisierte Fertigungsablauf erhöht die Produktivität und den Stromverbrauch.

Beim Maskenformen werden Sandformen aus umhülltem Sand mittels Wärme hergestellt – der Einsatz dieses Verfahrens beschränkt sich allerdings nur auf einzelne Gießereien.

7.7.3 Formverfahren ohne Bindemittel

Beim Vakuumformverfahren (Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.5.5) wird ein binderloser Sand mittels Kunststofffolien im Formkasten luftdicht umschlossen, und mittels Unterdruck werden die Sandkörner zusammengepresst. Ein im Sandguss übliches Dauermodell wird zur Gestaltgebung der Sandform verwendet.

Das Verfahren gilt wegen des aufzubauenden Unterdrucks in der Form als vergleichsweise energieintensiv. Dagegen ist zu sehen, dass eine Formstoffaufbereitung als Prozessstufe weitestgehend entfällt.

Die Bedeutung des Verfahrens ist allerdings aufgrund seiner seltenen Anwendung gering: die Anzahl der Anwender nahm bis heute auf weniger als 5 anwendende Gießereien in Deutschland ab. Von einer weiteren Darstellung zum Energieeinsatz bei diesem Verfahren wird abgesehen.

Beim Vollformgießen mit binderfreiem Sand (Lost foam Verfahren; siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.5.7.1) wird ein Modell aus vergasbarem Schaumstoff (Polystorol, PMMA) in losen Sand eingeformt; die Sandkörner werden mit Unterdruck zusammengehalten.

Auch bei diesem Verfahren ist ein aufzubauender Unterdruck vergleichsweise energieintensiv, und auch bei diesem Verfahren steht dem eine geringe Formstoffaufbereitung entgegen.

Allerdings ist die Bedeutung dieses Verfahrens aufgrund seiner seltenen Anwendung ebenfalls gering: die Anzahl der Anwender ist seit langem nahezu konstant bei weniger als 5 Gießereien in Deutschland. Von einer weiteren Darstellung zum Energieeinsatz bei diesem Verfahren wird abgesehen.

7.7.4 Herstellung von Serienkernen

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.5.6.2; 2.5.6.3

Sandkerne für die Serienfertigung von Gussteilen im Sand- oder im Kokillenguss werden aus chemisch gebundenen Formstoffen mittels Kernschießmaschinen hergestellt.

Die Kernschießmaschinen werden elektrisch und häufig teilweise mit Druckluft betrieben.

Auch bei durchweg chemisch gebundenen Formstoffen, die zur Herstellung von Sandkernen eingesetzt werden, gibt es kalt- oder warmhärtende Bindemittel.

Warmhärtende Verfahren, wie Maskenform-Verfahren, Warm Box- und Hot Box-Verfahren, haben nur noch eine vergleichsweise geringe Anwendungsbreite – aber bei speziellen Gussteilen, insbesondere in NE-Gießereien – wird ihre Anwendung dauerhaft gehalten.

Beim Maskenform-Verfahren wird der Formstoff auf eine 300°C heiße Formplatte aufgebracht, beim Hot-Box-Verfahren wird der Kernkasten auf 180-250°C erhitzt – bei Warm-Box-Verfahren auf 130-170°C.

Seit einigen Jahren ist ein technischer Trend in Aluminium-Kokillengießereien, die Großserien für die Automobilindustrie herstellen, hin zu modifizierten anorganischen, warmhärtenden Kernbindemitteln. Dies sind derzeit allerdings nur etwa 5 bis 10 Gießereien.

Die Kernfertigung in Deutschland nach aktuellen Zahlen [Iden 2012]: 1.880.000 t Serienkerne, die bei Raumtemperatur gefertigt werden und etwa 200 000 t warmhärtende Serienkerne und Formteile. Bei einer über die verschiedenartigen Bindersysteme hinweg durchschnittlichen Aushärtetemperatur von 170°C – und unter der Annahme, dass der Formstoff zu nahe 100 % Quarzsand ist, der auf diese Temperatur erwärmt wird - ergibt die bei einer spezifischen Wärmekapazität des Formstoffs (= Quarzsandes) von 0,8 kJ/kg*K folgende Wärmemenge: Für die Herstellung von 1 t Sandkerne aus warm- oder heißhärtenden Bindersystemen ist eine Wärmemenge von 800 kJ/t*K * (170-20 K) = 120.000 kJ (= 33,3 kWh) einzusetzen. Dies ist ein physikalischer und kein technischer Wert – letzterer liegt sicherlich deutlich höher.

Die Energiebedarfsdaten in **Tabelle 32** und Folgenden beziehen sich nicht ausschließlich auf die entsprechende Kernschießmaschine, sondern auf den Energiebedarf des gesamten Fertigungsbereichs.

Die Daten für den Kraftstromverbrauch beinhalten die Mengen der benötigten Energie u. a. für den Kernstoffmischer, die notwendigen Stofftransporteinrichtungen, die Rührwerke für die Schlichtebecken. Weiterhin berücksichtigt werden Transportkräne, Kranzüge für das Handling, Staubabsaugungen.

Die gasförmigen und flüssigen Brennstoffe müssen zusammen gesehen werden und beinhalten u. a. den Bedarf für Kerntrocknungseinrichtungen oder Arbeitsplatzbeheizung. Die Wasserdaten beziehen sich auf Prozesswasser und Brauchwasser.

Tabelle 32: Darstellung des Energiebedarfs bei einer 50 Liter Cold-Box-Kernschießmaschine [DGV 2008]

	Mengen	Einheit
Kraftstrom	150.000	kWh
Flüssige Brennstoffe	4.800	Liter
Gasförmige Brennstoffe	97.000	kWh
Wasser	500	cbm

Tabelle 32 beschreibt eine 50 Liter Cold-Box-Kernschießmaschine mit einem durchschnittlichen gefertigten Kernvolumen von 20 Litern, 1.500.000 Liter Kernformstoff pro Jahr.

Bei dem Formgrundstoff Quarzsand hat 1 Liter Kernstoff eine durchschnittliche Masse von etwa 1,5 kg; d.h. 1.500.000 Liter Kerne entsprechen 2250 t Kerne.

Als flüssiger Brennstoff wird Öl eingesetzt. Der durchschnittliche Heizwert von Öl wird mit 10,2 kWh/l angesetzt. Der durchschnittliche Energiebedarf errechnet sich zu 295.960 kWh.

Tabelle 33: Darstellung des Energiebedarfs bei einer 20 Liter Cold-Box-Kernschießmaschine [DGV 2008]

	Mengen	Einheit
Kraftstrom	175.000	kWh
Flüssige Brennstoffe	5750	Liter
Gasförmige Brennstoffe	115.000	kWh
Wasser	510	cbm

Tabelle 34 beschreibt eine 20 Liter Cold-Box-Kernschießmaschine mit einem durchschnittlichen gefertigten Kernvolumen von 10 Litern, 1.500.000 Liter Kernformstoff pro Jahr. Der durchschnittliche Energiebedarf errechnet sich zu 348.650 kWh.

Tabelle 34: Darstellung des Energiebedarfs bei einer 10 Liter Cold-Box-Kernschießmaschine [DGV 2008]

	Mengen	Einheit
Kraftstrom	182.000	kWh
Flüssige Brennstoffe	6.200	Liter
Gasförmige Brennstoffe	123.000	kWh
Wasser	520	cbm

Tabelle 35 beschreibt eine 10 Liter Cold-Box-Kernschießmaschine mit einem durchschnittlichen gefertigten Kernvolumen von 3 Litern, 1.500.000 Liter Kernformstoff pro Jahr (= 2250t Kerne). Der durchschnittliche Energiebedarf errechnet sich zu 368.240 kWh.

Tabelle 35: Darstellung des Energiebedarfs einer 10 Liter Kernschießmaschine [DGV 2008]

	Mengen	Einheit
Kraftstrom	140.000	kWh
Flüssige Brennstoffe	4.800	Liter
Gasförmige Brennstoffe	170.000	kWh
Wasser	500	Cbm

Tabelle 35 beschreibt eine 10 Liter Kernschießmaschine mit einer produzierten Menge von 1.500.000 Liter Kernformstoff pro Jahr. Der durchschnittliche Energiebedarf errechnet sich zu 358.960 kWh.

Das Auftragen von Wasserschlichte ist in den Serienkernfertigungen von Eisen- und Stahlgießereien im Einsatz. Getrocknet werden die Kerne zumeist in Trockenöfen mit warmer Luft oder mit Mikrowelle; seltener mit Infrarot-Strahlung.

Betriebsdaten wurden aus einer französischen Gießerei geliefert, die mit einem Ofen mit einer Kapazität von 540 Cold-Box-Kernen arbeitet. Eingesetzt werden zur Trocknung der Schlichten Erdgasbrenner. Es werden zwei Ventilatoren zum Absaugen der Dämpfe und Mischen der Frischluft verwendet. Die eingestellte Temperatur für die Heißluft liegt bei 165 °C.

Es wurde eine Wärmeberechnung auf Basis von Messungen mit einer Masse von 0,4 kg pro Kern und einer Feuchtigkeit von 5,5 % durchgeführt [Umweltbundesamt 2004].

Die Wärmebilanz zeigt, dass 50 % der Energie ungenutzt bleiben und tatsächlich nur etwa 10 % der Energie zur Kerntrocknung genutzt werden. Berechnungen zufolge liegt der Verbrauch bei 8,5 kWh

pro Kilogramm verdampften Wassers. Dies korrespondiert mit 465 kWh pro Tonne Kerne und einem Durchsatz von 156 kg/h. Aus den Untersuchungen geht weiter hervor, dass sich noch weitere Energieverluste ergeben, wenn der Ofen zur Trocknung der Kerne mit einer niedrigen Kapazität arbeitet.

Untersuchungen in weiteren Gießereien bestätigen eine weniger als 50 %-ige Energieeffizienz und die geringe Effektivität der Energienutzung (<10 %).

Eingesetzte Mikrowellen zum Trocknen wässriger Schlichten arbeiten mit einer Frequenz um 2450 Hz und weisen heute eine gute Übertragung der Energie auf die Wassermoleküle und weniger auf das Sandmaterial auf, was zu einer homogenen Trocknung der Oberfläche selbst bei komplexen Kernen führt.

Berichtet wird über die Durchführung einer Testreihe unter Verwendung eines 50 kW Mikrowellenofens. Der Ofen wurde zu 50 % seiner Kapazität mit 800 kg Kernen gefüllt. Die Kerne wurden auf Plastikregalen gestapelt, die sich durch die Mikrowellen nicht erhitzen. Die Wärmebilanz des Ofens zeigt, dass lediglich 30 % des Energieeintrages für die Trocknung genutzt werden. Des Weiteren werden die Kerne nur leicht erhitzt, was eine sofortige Verarbeitung erlaubt.

Tabelle 36 zeigt die Ergebnisse von Testreihen zur Kernherstellung unter Verwendung von Heißluft- oder Mikrowellenöfen.

Tabelle 36: Vergleich von Testreihen zur Kerntrocknung unter Verwendung von Heißluft- oder Mikrowellenöfen [Umweltbundesamt 2004]

Ofentyp	Gießerei A Heißluft	Gießerei B Heißluft	Gießerei B Mikrowelle	Gießerei C Mikrowelle
Kernmasse	156 kg/h	270 kg/h	800 kg/h	500 – 900 kg/h
Feuchtigkeit	5.5 %	2.7 %	2.7 %	2 – 3.2 %
thermische Energie	73 kW	70 kW	50 kW	40 kW
Dauer	48 min	113 min	8 min	8 min
spezifischer Verbrauch pro kg verdampften Wassers	8.5 kWh	9.3 kWh	2.3 kWh	2 kWh
spezifischer Verbrauch pro Tonne nasser Kerne	465 kWh	280 kWh	63 kWh	-

Die Ergebnisse zeigen, dass bei der Mikrowellentrocknung die Trockenzeit im Vergleich zur Trockenzeit mittels Heißluft gegenüber 1-2 Stunden auf 10 Minuten reduziert werden kann. Zusätzlich reduziert sich der Energiebedarf bei der Verwendung von Mikrowellenöfen.

Eine Übersicht über den Energieeinsatz bei der Form- und Kernherstellung in Gießereien zeigt **Tabelle 37.**

Tabelle 37: Energieeinsatz bei der Form- und Kernherstellung in Gießereien

	Erdgas				Heizöl	[10,2 kWh/l]		[10,2 kWh/l]	Strom		Summe	
	m3/t g. Form.	kWh / t g. Kern	m3/t g.G.	kWh/t g.G.	l/g. Kern	kWh/ t g. Kern	l/t g.G.	kWh/t g.G.	kWh/ t g. Form./Kern	kWh/t g.G.	kWh/t g. Form./Kern	kWh/t g.G.
Nassguss: Mischen, Aufbereitung												58 [6]
Nassguss-Formen										20 [6]		
Nassguss-Formerei				132 [1] 38,8 [1]			7,2 [1] 2,9 [1]			328 [1]; 220 [1]		533 [1] 262 [1] 179 [4]
Regenerieren von ton-geb. Formstoff	[3] 3								[3]: 39 + 36 Nm3 Druckluft		[3]: 41; 62	
Kaltharz-Formerei				161 [6]		58 [6]				161 [6]		
Regenerieren, thermisch-Kerne		[3] 25,5; 38							[3]: 65; 119			
Kernmacherei				20 [6]		13 [6]				26 [6] 250 [4]		260 [4]; 59 [6]
Kernmachereien mit Kalt-Verfahren		[1]: 43,1; 51,1; 54,7; 75,6			[1]: 2,1; 2,6; 2,8;2,1	[1]: 21,4; 26,5; 28,6; 21,4			[1]: 66,7; 77,8; 80,1; 62,24 [6]		[1]: 131,2;155,4; 163,4; 159,2; 88 [4]	14 [4]
Erwärmen auf 170°C											33,3 [6]	

	Erdgas				Heizöl	[10,2 kWh/l]		[10,2 kWh/l]	Strom		Summe	
Kerntrocknung, mit Heißluft		465 [7]; 280 [7]										
Kerntrocknung, mit Mikrowelle									63 [7]			

Datenquellen:
[1] DGV 2008
[2] IfG 2008
[3] Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009
[4] Foundrybench 2012
[5] Effiziente Energieverwendung 2005
[6] Erneuerbare Energie Gießerei 2013
[7] Umweltbundesamt 2004
[8] Wenk 2006
[9] Energie Consulting Bühler 2012
[10] Kirchen 2006

7.7.5 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien in der Form- und Kernherstellung

In der Form- und Kernherstellung werden – je nach eingesetztem Verfahren - Temperaturen von ca. 90-250°C benötigt. Derzeit werden Strom, Erdgas sowie Heizöl als Energieträger eingesetzt. Angesichts des relativ niedrigen Arbeitstemperaturbereichs ist in der Form- und Kernherstellung – anders als im Schmelzbetrieb - grundsätzlich der Einsatz mehrerer erneuerbarer Energieträger zur Bereitstellung thermischer Energie möglich. Die benötigte elektrische Energie kann – wie beim Schmelzbetrieb auch – durch Ökostrom bereitgestellt werden. Die thermische Energie könnte neben aufbereitetem Biogas auch aus Biomasse (Holzpellets, Holzhackschnitzel) oder solarer Prozesswärme gewonnen werden. Dabei sind Holzpellets aufgrund ihrer geringen Kosten (3,5 – 5,0 ct/kWh) besonders attraktiv. Allerdings müsste beim Einsatz von Holzpellets oder Holzhackschnitzeln als Energieträger auf dem Werksgelände Raum für entsprechende Lagerkapazitäten bereitgestellt werden.

Da die für höhere Temperaturen (100-250°C) notwendige Systemtechnik derzeit noch relativ teuer ist, ist für den wirtschaftlichen Einsatz von solarer Prozesswärme noch Forschungs- und Entwicklungsarbeit nötig. Mittel- und langfristig gesehen kann der Einsatz von solarer Prozesswärmetechnik in der Form- und Kernherstellung jedoch eine attraktive und umweltfreundliche Alternative zu den derzeit eingesetzten fossilen Energieträgern darstellen.

Verfahren	Temperaturbereich	Derzeitiger Energieträger	Zukünftiger, erneuerbarer Energieträger
Cold-Box	**Raumtemperatur 90°C (Amin)**	• Strom	• Ökostrom
Warm-Box	**130-170°C**	• Erdgas • Heizöl • Strom	• Aufbereitetes Biogas • Ökostrom • Holzpellets • Solare Prozesswärme
Hot-Box	**180-250°C**	• Erdgas • Heizöl • Strom	• Aufbereitetes Biogas • Ökostrom • Holzpellets • Solare Prozesswärme
Trocknen von Schlichte (Formüberzugsstoff)	**Rd. 100°C**	• Erdgas • Strom	• Aufbereitetes Biogas • Ökostrom • Holzpellets • Solare Prozesswärme •

Die technische Entwicklung in der Serienkernherstellung von klassischen warm- oder kalthärtenden Verfahren hin zu kalthärtenden Systemen (Cold Box) vermindert den Energieeinsatz insgesamt und der zukünftige Energieträger wird Strom (Ökostrom) sein. Dabei ist zu sehen, dass die neuartigen anorganischen Systeme, wie sie derzeit in Nichteisenmetallgießereien im Kokillenguss – und mittelfristig voraussichtlich auch in Eisengießereien im Sandguss mit tongebundenem Formstoff – eingesetzt werden, mit Wärme ausgehärtet werden.

Angestrebt werden sollte, diese Wärme aus Abwärme zu nutzen. Hierzu sind allerdings noch Entwicklungsarbeiten notwendig.

Die Wärme beim Fertigungsschritt des Trocknens der Schlichte sollte ebenfalls möglichst aus Abwärme stammen. Auch hierfür sind Entwicklungsarbeiten notwendig.

Ansonsten sollte an einer Betriebsanlage in Versuchsreihen festgestellt werden, ob und unter welchen technisch-wirtschaftlichen Rahmenbedingungen Holzpellets oder solare Prozesswärme beim Trockenvorgang nutzbar sind; grundsätzliche technische Hürden sind zu erwarten.

Zur Erschließung zusätzlicher EE-Potentiale:

kurzfristig:

mittelfristig: Einsatz von Holzpellets und solarer Prozesswärme bei Trocknen von Schlichte oder Erwärmen von Amin-Gas

langfristig.

7.8 Gießen bis Ausleeren

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.6

Beim Fertigungsverfahren Gießen, auch manchmal als Formguss bezeichnet, wird metallische Schmelze (Eisen, Stahl oder Nichteisenmetalllegierungen) in Formen aus verfestigtem Sand, Keramik oder Stahl gegossen. Wenn das Metall abgekühlt ist, wird das Rohgussstück aus der Form genommen (Ausleeren). Der Formstoff wird typischerweise wieder aufbereitet oder regeneriert und in der Gießerei wiederverwendet. Das Gussstück wird verschiedenartig nachbehandelt.

7.8.1 Nassguss-Verfahren

Beim Nassguss-Verfahren werden mit elektrischen Antrieben die Formen in Kleinbetrieben auf einer Rollenbahn oder bei größeren Betrieben mit einer Formanlage und einer automatisierten Standbahn zum Gießplatz transportiert.

Sie werden dort teilweise aus elektrisch angetriebenen Gießmaschinen oder aus Vergießöfen abgegossen.

Der mechanisierte oder automatisierte Prozess ersetzt weiterhin zunehmend den Handbetrieb, so dass dies in diesem Fertigungsbereich zum einen die Produktivität erhöht und zum anderen eine Tendenz zu einem höheren Stromverbrauch besteht.

Nach dem Gießen werden die Formen mittels Rollen- oder Standbahn zu einem festen Ausleerplatz transportiert.

Der beschriebene Ablauf findet sich in jeder Gießerei, die das Nassguss-Verfahren anwendet.

7.8.2 Verfahren mit chemischen Bindemitteln

Kleinere Formen werden auf Rollenbahnen transportiert. Größere Formen mit mehreren Quadratmeter Formfläche werden nach der Formherstellung teilweise ortsfest abgegossen und abkühlen gelassen – und werden zum Trennen von Gussstück und Formstoff (Ausleeren) zu einem fest installierten, mit elektrisch betriebenen Vibrationsmotoren in Schwingungen versetztem Ausleerrost transportiert.

Es besteht ein Trend, auch große Formen auf elektrisch betriebenen Flurförderfahrzeugen und auf festen Bahnen nacheinander zu den einzelnen ortsfesten Fertigungsstationen zu bringen.

7.8.3 Kokillengießen, Schleudergießen

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.6.2.1; 2.6.2.3

Beim Kokillengießen wird typischerweise eine Nichteisenmetall-Schmelze in eine metallische Dauerform (Kokille) gegossen.

Beim Kokillengießen wird mittels eines Gießlöffels von Hand oder von einem Automaten geführt Schmelze von oben in eine Kokille (Schwerkraft-Kokillengießen) gegossen, oder es werden technisch aufwändige Kokillengießmaschinen, bei denen die Schmelze beispielsweise mittels Druck von unten aufsteigend in die Kokille fließt (Niederdruckgieß-Verfahren), verwendet.

Tabelle 38 zeigt einen Überblick über den Einsatz der verschiedenen Energieträger in einer Aluminium-Kokillengießerei mit 31.000 t guter Guss (2008) [Foundrybench 2012].

Tabelle 38: Einsatz verschiedener Energieträger in einer Aluminium-Kokillengießerei mit einer Jahresproduktion von 31.000 t guter Guss (2008) [Foundrybench 2012]

Consumer group	Electricity - machines [GWh/a]	Electricity - ventilation [GWh/a]	Electricity - lighting [GWh/a]	Natural gas [GWh/a]	District heat [GWh/a]	Compressed air [thou. m³/a]	Total [GWh/a]
Melting	18,42	0,006	0,25	5,86	0,43	7.148	24,97
Gravity die casting	10,46	0,76	0,59	5,42	3,39	16.470	20,62
Core sand mixing and reclamation	3,44	0,073	0,074	19,67	0,32	1.563	23,58
Core production	4,11	0,7	0,45	0	:	11.265	7,94
Cleaning and blasting[3]	29,06	1,9	0,99	0	7,2	52.326	39,15
Heat treatment[2]	5,74	0,28	0,19	45,08	3,22	14.679	54,51
Communal and other areas			0,11		0,18		
Total	***71,23***	***3,72***	***2,2***	***76,04***	***16,99***	***92.186***	***170,18***

Tabelle 39: Energieeffizienz-Kennzahlen für eine Aluminium-Kokillengießerei mit einer Jahresproduktion von 31.000 t guter Guss (2008) [Foundrybench 2012]

Fertigungsbereich, Verbrauchergruppe	Summe GWh/a	Spez. Verbrauch in MWh/t Guter Guss
Schmelzen	24,97	0,81
Formen und Gießen	20,62	0,67
Sandaufbereitung und -regenerierung	23,58	0,76
Kernherstellung	7,94	0,26
Putzen und Strahlen	39,15	1,27
Wärmebehandlung	54,51	1,76
Summe	**170,77**	**5,53**

Medium	Verbrauch 2008 in MWh	Geldwert in €	Spez. Verbrauch in MWh/t gG
Strom	78.230	6.584.999	2,53
Gas	76.040	3.231.489	2,46
Druckluft	92.186.282 in m_N^3/a	2.141.443	
Fernwärme	16.990	749.754	0,55
Gesamt-verbrauch	**171.260**	**12.707.685**	**5,54**

Bei den Werten, die in **Tabelle 39** angegeben sind, handelt es sich um Angaben aus einer Gießerei, die Flüssigaluminium einsetzt.

Eine Übersicht über den Energieeinsatz beim Kokillengießen zeigt

Tabelle 44 (am Ende von Kapitel 7.8.4).

7.8.4 Druckgießen

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.6.2.2

Beim Druckgießen wird Nichteisenmetall-Schmelze unter hohem Druck und hoher Geschwindigkeit in eine Druckgießform aus Stahl eingebracht.

Zwischen dem Gießen der Gussteile werden die zwei Hälften der horizontal geteilten Druckgießform mit einem Trennmittel besprüht, welches beim Gießen immer wieder verdampft.

Kaltkammerdruckgießmaschinen werden eingesetzt: Aluminiumlegierungen und Magnesiumlegierungen bei vergleichsweise kleinen Gussteilen.

Auf Warmkammerdruckgießmaschinen werden eingesetzt: Zinklegierungen und Magnesiumlegierungen bei vergleichsweise größeren Gussteilen, wie Getriebegehäuse.

Häufig anzutreffen an Druckgießmaschinen sind elektrisch betriebene Roboter, die die Rohgussteile aus der Druckgießmaschine entnehmen, in eine Stanzvorrichtung zum Entgraten einlegen und die Gussteile weiter transportieren.

Tabelle 40: Einsatz verschiedener Energieträger in Aluminium-Druckgießerei mit einer Jahresproduktion von 25.600 t guter Guss (2008) [Foundrybeach]

Consumer group	Electricity - machines [GWh/a]	Electricity - ventilation [GWh/a]	Electricity - lighting [GWh/a]	Natural gas [GWh/a]	District heat [GWh/a]	Compressed air [thou. m³/a]	Total [GWh/a]
Melting	19,14	0,14	0,12	1,99	0,68	2.327	22,07
Pressure die casting machines	19,62	0,69	0,59	0	3,38	14.466	24,28
Fettling and blasting[1]	16,29	0,31	0,65	0	4,1	17.707	21,35
Heat treatment	2,55	0,08	0,13	2,48	0,74	3.208	5,98
Communal and other areas			0,054				
Total	*57,59*	*1,21*	*1,54*	*4,47*	*8,94*	*37.708*	*73,68*

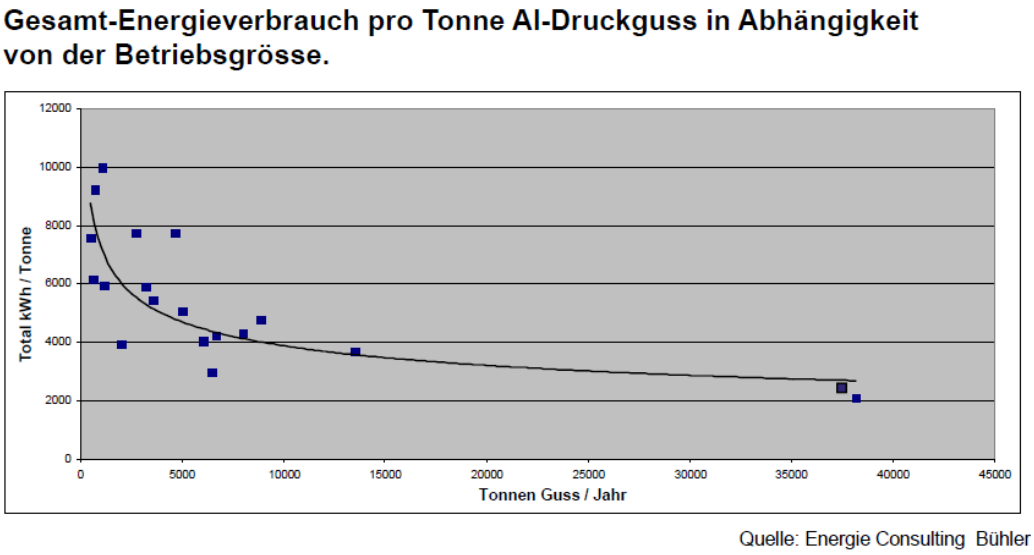
Tabelle 41: Energieeffizienz-Kennzahlen einer Aluminium-Druckgießerei mit einer Jahresproduktion von 25.600 t guter Guss (2008) [Foundrybench 2012]

Fertigungsbereich, Verbrauchergruppe	Summe GWh/a	Spez. Verbrauch in MWh/t Guter Guss
Schmelzen	22,07	0,94
Druckgießen	24,28	0,86
Putzen und Strahlen	21,35	0,83
Wärmebehandlung	5,98	0,23
Summe	73,68	2,86

Medium	Verbrauch 2008 in MWh	Geldwert in €	Spez. Verbrauch in MWh/t gG
Strom	60.700	5.783.904	2,37
Gas	4.470	190.001	0,18
Druckluft	37.707.817 in m_N^3/a	780.552	
Fernwärme	8.940	385.217	0,35
Gesamt-verbrauch	74.110	7.139.673	2,9

Bei den Werten, die in **Tabelle 41** angegeben sind, handelt es sich um Angaben aus einer Gießerei, die Flüssigaluminium einsetzt. Vor diesem Hintergrund ist verständlich, dass die Werte sowohl verglichen mit den Angaben in **Abbildung 35** als auch mit den Angaben in **Tabelle 42** und **Tabelle 43** günstig sind.

Abbildung 35: Gesamt-Energieeinsatz im Al-Druckguss – in Abhängigkeit von der Jahresproduktion [Energie Consulting Bühler 2012]



Quelle: Energie Consulting Bühler

Tabelle 42: Energieeinsatz in Druckgießereien Gas- und Strombedarf je t guter Guss [Energie Consulting Bühler 2012]

	Mittelwert kWh/t	Min. kWh/t	Max. kWh/t	Energie-bedarf theor. kWh/t Umschmelzfaktor 1.5
Gas 11kWh/m3	3‘000	1‘050	7‘390	520
Strom	2‘600	790	4‘410	
Total	5‘600	2‘490 kg CO_2 / Tonne Guss		

Quelle: Energie Consulting Bühler

Tabelle 43: Mittlerer Energieeinsatz und mittlere Energiekosten in Druckgießereien [Energie Cosulting Bühler 2012]

	Mittlerer Energiebedarf kWh / t		Energiekosten € / t Erdgas 0.04 € / kWh Strom 0.09 €/ kWh	
Gas 11kWh/m3	3‘000	54%	120	34%
Strom	2‘600	46%	234	66%
Total	5‘600		354	

Quelle: Energie Consulting Bühler

Abbildung 36: Verteilung des Energieeinsatz in Druckgießereien [Energie Consulting Bühler 2012]

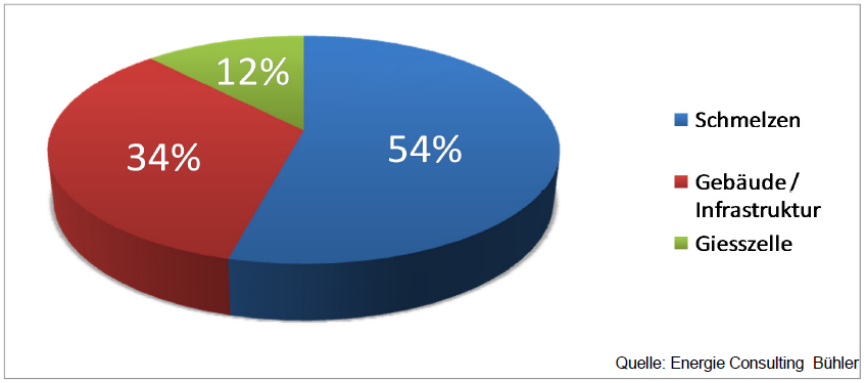
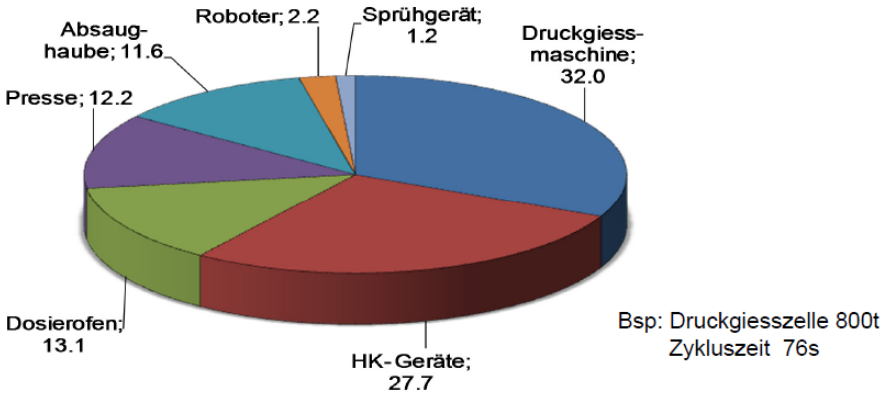


Abbildung 37: Verteilung des Energieeinsatzes für eine typische Druckgießzelle [Energie Consulting Bühler 2012]



Quelle: Energie Consulting Bühler

Eine Übersicht über den Energieeinsatz beim Druckgießen zeigt Tabelle 44.

Tabelle 44: Energieeinsatz beim Sand-, Kokillen- und Druckgießen

	Erdgas	[11 kWh/m3]	Heizöl	[10,2 kWh/l]	Strom		Fern-wärme	Summe (ohne Druckluft)	Druck-luft
	m3/t g.G.	kWh/t g.G.	l/t g.G.	kWh/t g.G.	kWh/ t g. G.	kWh/t g.G.	kWh/ t g. G.	kWh/t g. G.	m3/t g.G
Al-Kokillen-gießerei, gesamt		2460 (Fl. Al. Einsatz) [4]				2530 [4]	550 [4]	5540 (Fl. Al. Einsatz) [4]	2980 [4]
Al-Kokillengießen		175 [4]				382 [4]	109 [4]	670 [4]	565 [4]

	Erdgas	[11 kWh/m3]	Heizöl	[10,2 kWh/l]	Strom		Fern-wärme	Summe (ohne Druckluft)	Druck-luft
Al-Druckgie-ßerei, gesamt (Verteilung: siehe [9])		180 (Fl. Al-Einsatz) [4]; (Mittelwert zwischen 1.050 und 7.390): 3000 [9]				2370 [4]; (Mittelwert zwischen 790 und 4.410): 2600 [9]	350 [4]	2900 (Fl. Al-Einsatz) [4]; 5600 [9]	1475 [4]
Al-Druckgie-ßen		738 [4]					132 [4]	860 [4]	532 [4]

Datenquellen:
[1] DGV 2008
[2] IfG 2008
[3] Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009
[4] Foundrybench 2012
[5] Effiziente Energieverwendung 2005
[6] Erneuerbare Energie Gießerei 2013
[7] Umweltbundesamt 2004
[8] Wenk 2006
[9] Energie Consulting Bühler 2012
[10] Kirchen 2006

7.8.5 Feingießen und Genaugießen

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.5.9

Beim Feingießen und beim Genaugießen besteht die Formschale aus Keramik.

Beim Feingießen (Wachsausschmelzverfahren) werden ein keramischer Schlicker und Sand lagenweise auf ein Modell aus Wachs aufgetragen. Nach Trocknung des Schlickers in einem belüfteten Raum wird das Wachs typischerweise in einem Autoklaven erwärmt und fließt aus. Anschließend wird die Schale zu einer Keramik in einem Ofen gebrannt. Die Form wird nach dem Brennen im heißen Zustand abgegossen.

Beim Genaugießen wird eine Schalenform ohne ausschmelzbares Modell aus keramischem Schlicker hergestellt.

In **Tabelle 44** werden Angaben zum Energieeinsatz beim Brennen von Formen in Keramiköfen gemacht: 2980 kWh je Tonne guter Guss.

Feingießen und Genaugießen werden als industrielle Fertigungsverfahren in Deutschland in etwa 10 Gießereien eingesetzt. Von einer weiteren Darstellung zum Energieeinsatz bei diesem Verfahren wird abgesehen.

7.8.6 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien im Fertigungsschritt Gießen

Beim Gießen können gas- oder elektrisch beheizte Vergießeinrichtungen eingesetzt werden, in denen die Schmelze warmgehalten wird. Die Temperaturen der warmzuhaltenden Schmelze der verschiedenen Gusswerkstoffe: siehe Schmelzbetrieb.

Die Vergießeinrichtungen können mit Biogas oder EE-Strom betrieben werden.

Die wichtigsten Energieträger für das Schwerkraft- oder Niederdruckgießen in Kokillen ist Erdgas für das Vorwärmen der Kokillen sowie Strom für die Antriebe an den Kokillengießmaschinen. Als Gusswerkstoffe werden ausschließlich Nichteisenmetalllegierungen vergossen; die Temperaturen der Schmelze der verschiedenen Leicht- und Buntmetalllegierungen: siehe Kapitel Schmelzbetrieb.

Die Kokillengießeinrichtungen können mit Biogas oder EE-Strom betrieben werden.

Ebenso beim Druckgießen werden nur Nichteisenmetalllegierungen eingesetzt, vorwiegend Aluminium-, Magnesium- oder Zinklegierungen. Die Temperaturen der Schmelze: siehe Schmelzbetrieb.

Die in ihrer Bedeutung wesentlichen Energieträger Erdgas und Strom können aus EE gedeckt werden.

Beim Feingießen und Genaugießen werden die keramischen Formen bei Temperaturen von über 1000°C gebrannt. Beim Brennen werden die Öfen mit Erdgas beheizt.

Dieses Erdgas kann durch entsprechendes Biogas ersetzt werden.

Tabelle 45: Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energieträger im Fertigungsbereich Gießen

Verfahren	Temperaturbereich	Derzeitiger Energieträger	Zukünftiger, erneuerbarer Energieträger
Sandguss (Eisenguss-Vergießeinrichtung)	1300°C	Erdgas Strom	Aufbereitetes Biogas Ökostrom
Schwerkraft- und Niederdruckkokillenguss	400-1100°C	Erdgas Strom	Aufbereitetes Biogas Ökostrom
Druckguss	400-700°C	Erdgas Strom	Aufbereitetes Biogas Ökostrom
Fein- und Genauguss	700-1600°C	Erdgas Strom	Aufbereitetes Biogas Ökostrom

Die Erschließung zukünftiger zusätzlicher EE-Potentiale scheint nicht möglich, da die heute üblichen Energieträger – Strom und Erdgas - heute bereits durch Öko-Strom oder Biogas (mit Erdgasqualität) eingesetzt werden bzw. werden können.

7.9 Formstoffaufbereitung und Formstoffregenerierung

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 3.5.2

Nach dem Ausleeren von Formen fällt – neben dem Rohguss - der gebrauchte Formstoff an.

Er wird je nach Formstoffart behandelt und mit einer durchschnittlichen Quote von 95 % innerhalb der Gießerei im Kreislauf geführt.

Angaben zur Formstoffaufbereitung und Formstoffregenerierung sind in **Tabelle 37** am Ende von Kapitel 5.7.4 enthalten.

7.9.1 Bentonitgebundener Formstoff

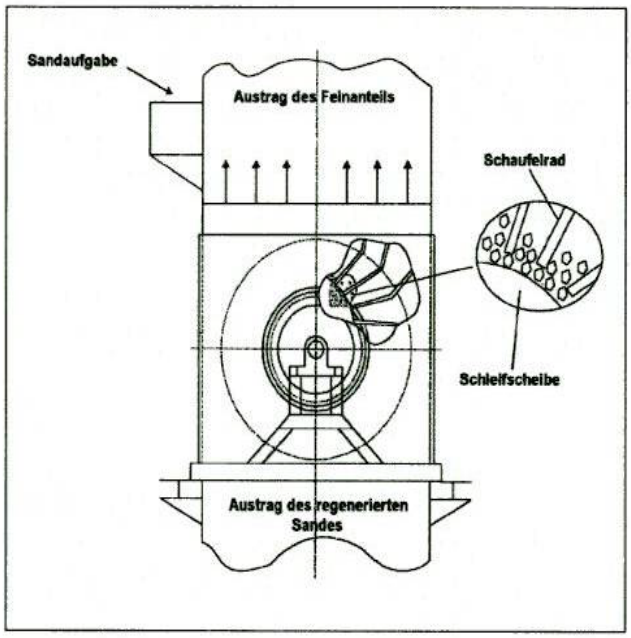
Bentonitgebundener Formstoff wird innerhalb einer Gießerei im Stoffkreislauf gefördert. Typische Stationen sind Sandkühler und Mischer, in dem frische Einsatzstoffe und Wasser zugegeben und gemischt werden. Mischer werden elektrisch betrieben.

Beispielsweise hat ein moderner Mischer für das Mischen bentonitgebundener Formstoffe, mit einem Fassungsvermögen von 1 t Formstoff und einer Leistung von etwa 45 t/Stunde eine Motorenleistung von insgesamt 85 kW [DISA 2012]. Angaben siehe auch **Tabelle 44.**

In wenigen Gießereien werden von den mehrfach aufbereiteten und wieder eingesetzten bentonitgebundenen Formsanden die Binderhüllen von den Sandkörnern in einem intensiven mechanischen oder pneumatischen Prozess – in einer einzelnen Eisengießerei in einem thermischen Prozess - abgetragen (Formstoffregenerierung).

Die kaltmechanische Regeneration mittels Schleifscheibenanlage ist ein zumeist großtechnisch angewandtes Schleifsystem, das ursprünglich zur Regenerierung von Mischsanden (Bentonit und organische Sande) entwickelt wurde **Abbildung 38.**

Abbildung 38: Kaltmechanische Regeneration durch Schleifen [Energieeffiziente Gießerei 2009]



In der Anlage wird eine horizontal rotierende Schleifscheibe zum Entfernen der harten oolithischen Bentonitschicht vom Sand verwendet. Durch das Schleifen kann auch chemischer Binder von den Sandkörnern befreit werden. Die Verbrauchswerte, angegeben als Jahresdurchschnittswerte: Stromverbrauch: 39 kWh/t Altsand, Erdgas: 3 Nm^3/t (abhängig von der anfänglichen Sandfeuchte), Druckluft: 36 Nm^3/t Altsand.

In einer Anlage zur mechanischen Altsandregenerierung mittels Druckluft wird Binder von den Sandkörnern mittels Abrieb/Scheuern und Aufprall entfernt. Die kinetische Energie wird durch einen Druckluftstrom geliefert.

Wegen der geringen Energieeffizienz der Druckluft, ist der Energiebedarf im Vergleich zur reinen mechanischen Behandlung höher.

Der Energiebedarf wird wie folgt angegeben: Strom. 15 kWh/t Altsand – 20 kWh/t Altsand ohne Entstaubungsanlage.

Andere Betriebsdaten geben einen Stromverbrauch von 41 kWh/t Altsand für eine Anlage mit 8 t/h und von 62 kWh/t Altsand für eine Anlage mit 0,75 t/h an.

Es ist davon auszugehen, dass die Anzahl der Betreiber derartiger Anlagen zur Regenerierung zukünftig steigen wird – dieser Prozessschritt sollte so energieeffizient wie möglich, d. h. soweit möglich ohne eine thermische Stufe, gestaltet werden.

7.9.2 Chemisch gebundener Formstoff

In der Kaltharz-Fertigung im Großguss wird furan- oder phenolhatzgebundener Formstoff ebenfalls im Kreislauf einer Gießerei geführt. Der gebrauchte Formstoff wird mechanisch bei Raumtemperatur regeneriert – das ist bei diesen Formstoffsystemen ein Standard.

Der regenerierte Sand wird mit Neusand und Bindemittel in einem elektrisch betriebenen Durchlaufmischer kontinuierlich gemischt und verarbeitet. Werden neben Quarzsanden auch temperaturbeständigere Chromitsande eingesetzt, so wird oft ein elektrisch betriebener Magnetabscheider zum Trennen von Chromit- und Quarzsand eingesetzt. Gebrauchte Kernsande werden in großen Aluminiumkokillengießereien in thermischen Anlagen regeneriert – die Bindemittel werden verbrannt, so dass ein sehr hochwertiger Formgrundstoff anfällt.

Die thermische Regeneration nutzt Wärme, um Binder und Anhaftungen zu verbrennen. Das Aufheizen des Sandes erfolgt zumeist in einem Wirbelschichtofen, der meist bei Temperaturen von 700 °C bis 800 °C arbeitet. Zum Einsatz kommen auch Drehrohröfen und Mehrfach-Herdöfen. Die Aufheizung des Sandes erfordert theoretisch 200 kWh/t Altsand. In der Praxis werden Energieverbrauchswerte von 150 - 350 kWh/t Altsand in Abhängigkeit von der Energierückgewinnung und dem kalorischen Gehalt des Sandes berichtet.

Tabelle 46 stellt Betriebsdaten aus 3 thermischen Regenerierungsanlagen dar, die unterschiedliche Arten von Sand behandeln und unterschiedliche Kapazitäten haben.

Tabelle 46: Betriebsdaten von 3 deutschen Referenzgießereien, die die thermische Sandregenerierung anwenden [Energieeffiziente Gießerei 2009]

Eigenschaft	Einheit	Anlage		
Referenzanlage		Gießerei A	Gießerei B	Gießerei C
Technik		Mehrfach Herdofen (500 °C) mit Sieben und Klassifikation	Wirbelschichtofen (780 °C) mechanische Größenreduktion und Entstaubung	Wirbelkammerofen mit magnetischer Trennung, simultane Verarbeitung von Sand und Staub aus dem mechanischen Furanharzsandregen.
Sanddurchsatz	t/h	12 - 16	1,0	2,0
Kapazität	t/a	28.600	3.840	5.000
Verbrauch an elektr. Energie	kWh/t	119	65	/
Verbrauch an Erdgas	m³/t	24,5	38	/

Ansonsten werden Kernsande – wenn sie nicht mit Formstoffen (mit anderen Bindemittelsystemen) vermischt sind – typischerweise mechanisch in elektrisch betriebenen Maschinen kornvereinzelt (regeneriert) und wieder bei der Kernherstellung eingesetzt.

7.9.3 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien in der Formstoffaufbereitung und Formstoffregenerierung

Die Formstoffaufbereitung erfolgt bei einer Temperatur von etwa 45°C nach Kühlung, wogegen bei der thermischen Regeneration etwa 700°C benötigt werden. Gegenwärtig werden als Energieträger in der Formstoffaufbereitung im Wesentlichen Strom und Erdgas verwendet. Für die Formstoffaufbereitung kann die benötigte Energie ähnlich wie bei der Form- und Kernherstellung durch eine Reihe von erneuerbaren Energieträgern bereitgestellt werden. Für die thermische Regeneration hingegen kommen aufgrund des höheren Temperaturbereichs im Wesentlichen nur aufbereitetes Biogas oder

Ökostrom als Energielieferanten in Frage. Die einzelnen Einsatzmöglichkeiten für erneuerbare Energieträger in der Formstoffaufbereitung zeigt die nachfolgende **Tabelle 47** im Überblick.

Tabelle 47: Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energieträger in der Formstoffaufbereitung und Formstoffregenerierung

Verfahren	Temperatur-bereich	Derzeitiger Energie-träger	Zukünftiger, erneuerbarer Energieträ-ger
Formstoffaufbereitung	45°C (nach Kühlung)	Strom	Ökostrom
thermische Formstoff-Regenration	700-800°C	Erdgas	Aufbereitetes Biogas

7.10 Gussnachbehandlung und Wärmebehandlung

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.7; 2.8

7.10.1 Strahlen

Anhaftungen von Formstoff an Rohgussteilen werden durch Strahlen mit Strahlmittel beseitigt.

Das Strahlen wird in gekapselten Räumen durchgeführt. Bei sehr großen Gussstücken wird Druckluftstrahlen, bei kleineren Gussteilen sind elektrisch betriebene Strahlmaschinen oder -anlagen im Einsatz.

7.10.2 Putzen von Rohguss

In noch vergleichsweise geringer Anzahl werden Abtrenn- und Schleifarbeiten an Gussteilen

in automatisierten, vollständig gekapselten Prozessen durchgeführt. Die Anzahl derartiger Systeme steigt ständig. Die Automatisierung führt zu einem höheren Stromverbrauch als das derzeit noch weiter verbreitete Putzen mit handgeführten Geräten. Die handgeführten Geräte werden elektrisch oder mit Druckluft betrieben – beide Varianten sind sehr verbreitet.

7.10.3 Wärmebehandlung

Wärmebehandlung ist ein Standard-Prozess in allen Stahlgießereien und in etwa 50 % der Leichtmetallgießereien.

Der Energieeinsatz bei der Wärmebehandlung ist ähnlich groß wie beim Schmelzen (siehe Abschnitt 4). Wärmebehandlungsöfen werden typischerweise mit Erdgas betrieben.

Viele Gießereien haben in ihrer Wärmebehandlungseinrichtung eine Abwärmenutzung installiert.

In einer Gießerei, die vorwiegend Gussteile aus legierten Stahlguss fertigt, ist ein spezifischer Verbrauchswert von 610 kWh / t guter Guss ermittelt worden; in einer Aluminium-Kokillengießerei, in der Zylinderköpfe gefertigt werden, ein Verbrauchswert von 1760 kWh je t guter Guss. Eine Übersicht über den Energieeinsatz bei Gussnachbehandlung und Wärmebehandlung zeigt **Tabelle48** (am Ende von Kapitel 5.13).

7.10.4 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien in der Putzerei und bei der Wärmebehandlung

Der Strombedarf kann mit EE-Strom gedeckt werden.

Die für die Wärmebehandlung von Stahlguss benötigten Temperaturen von bis zu 950°C werden vornehmlich mittels Gasheizung erreicht. Hierfür könnte aufbereitetes Biogas eingesetzt werden.

In Nichteisenmetallgießereien, bei Aluminiumguss, kommt für die Wärmebereitstellung ebenfalls Erdgas zum Einsatz. Dieses könnte künftig durch aufbereitetes Biogas ersetzt werden. Da in Nichteisenmetallgießereien in der Wärmebehandlung niedrigere Temperaturen (etwa 500°C) benötigt werden als in Stahlgießereien, wäre hier grundsätzlich auch der Einsatz von Biomasse (Holzpellets oder Holzhackschnitzel) möglich. In Anbetracht der dann benötigten Lagerkapazitäten sowie des geringeren Heizwertes von Holzpellets im Vergleich zum Energieträger Gas, ist allerdings eher der Einsatz von aufbereitetem Biogas zu empfehlen.

Die Erschließung zukünftiger zusätzlicher EE-Potentiale scheint nur in beschränktem Umfang möglich, da die heute üblichen Energieträger – Strom und Erdgas - heute bereits durch Öko-Strom oder Biogas (mit Erdgasqualität) eingesetzt werden bzw. werden können.

mittelfristig: Einsatz von Holzpellets bei Wärmebehandlungen im mittleren Temperaturbereich bei Aluminiumguss.

7.11 Be- und Entlüftung, Luftreinhaltung

Schmelzen:

In Schmelzbetrieben von Gießereien werden die Ofenabgase typischerweise erfasst und gereinigt. Je nach Ofentyp und Art der Erfassungseinrichtung, wie Absaughauben, Ringabsaugungen, ist die Leistung der elektrisch betriebenen Gebläse ausgelegt.

Die sehr weit verbreiteten Systeme zur Abluftreinigung von Schmelzofenabgasen sind Trockenfilter; lediglich weniger als 10 % setzen Nasswäscher, teilweise bei Heißwindkupolöfen, ein.

Gießen bis Ausleeren:

Nach dem Gießen der Schmelze in die Form beginnen sich kohlenstoffhaltige Stoffe umzuwandeln und es bilden sich Gase mit sehr komplexer Zusammensetzung (Gießgase). Ein Teil der sich bildenden Stoffe sind Schadstoffe oder intensiv riechende Stoffe.

Beim Ausleeren der Form werden verstärkt Gießgase freigesetzt sowie Staub – mit Gehalten an Quarz – aus trockenem bzw. ausgebranntem Formstoff.

Eine Ablufterfassung erfolgt üblicherweise an stationären Gießplätzen, Kühlstrecken oder Kühlbahnhöfen und gekapselten Ausleerstationen von Sandgießereien. Die Erfassung erfolgt bei neueren Anlagen über eine längere Abkühlstrecke oder in einem Kühlbahnhof – was vergleichsweise mehr Absaugleistung notwendig macht als bei weniger intensiver Erfassung.

Beim Kokillen-, Druck-, Fein- oder Genaugießen sind teilweise Hauben und Absaugungen eingerichtet. Teilweise werden die Gase und Dämpfe in die Hallenluft freigesetzt.

Trockenentstaubung ist das Standardreinigungsverfahren in allen Gießereien, in denen die Emissionen nach dem Gießen und bis zum Ausleeren erfasst und gereinigt werden.

Beim Einsatz von Nassguss-Formanlagen werden teilweise Nasswäscher verwendet. In Druckgießereien werden neben Trockenfiltern auch Elektrofilter zum Abscheiden von feinkörnigen Rauchen eingesetzt.

Neben diesen weit verbreiteten Filtern zum Abscheiden von Partikeln sind zusätzliche Reinigungsstufen zur Beseitigung oder zur Verminderung von gasförmigen Emissionen (Gießgase) auf einzelne, d.h. weniger als 5, evtl. bis zu 10, Anwendungen in Deutschland beschränkt:

- Biofilter: in großen Eisen- oder Aluminiumgießereien

- Nachverbrennung von Gießgasen: bei Anwendung des Lost Foam–Verfahrens
- Einbringen von geruchsmindernden Stoffen: in Eisen- oder Aluminiumgießereien
- Abscheiden mit Adsorberstoffen: mögliche Alternative zu Biofilter

Grundsätzlich sind alle Verfahren zur Abluftreinigung mit zusätzlichem Energieeinsatz verbunden – die Strömung der Abluft wird mit elektrisch betriebenem Gebläse erzeugt.

Formstoffkreislauf und Gussnachbehandlung

Die Erfassung von Staub beladener Luft und deren Entstaubung findet an vielen Stellen in der Gießerei statt. Die möglichst an den Quellen der Emissionen erfasste Abluft wird häufig gemeinsam einem Staubabscheider – in den meisten Fällen ein Trockenabscheider - zugeführt. Für die Strömung von der Erfassungsstelle bis zum Staubabscheider sowie durch das Filtermaterial hindurch und in die Außenluft werden elektrisch betriebene Gebläse eingesetzt.

Eine Übersicht über den Energieeinsatz bei lufttechnischen Anlagen zeigt **Tabelle48** (am Ende von Kapitel 5.13).

7.11.1 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien in der Be- und Entlüftung, Luftreinhaltung

Lufttechnische Anlagen in Gießereibetrieben werden elektrisch betrieben. Die Bereitstellung der benötigten elektrischen Energie kann durch Ökostrom erfolgen.

Somit besteht kein zusätzlich zu erschließendes EE-Potential.

7.12 Innerbetrieblicher Transport

Zum innerbetrieblichen Transport gehören Flurförderfahrzeuge, wie Gabelstapler, und Kräne, wie Hallenkräne. Gabelstapler werden häufig von Verbrennungsmotoren angetrieben. Elektrisch betriebene sind in großen Betrieben weniger im Einsatz.

Im Rahmen des Projektes sind Werte beispielhaft ermittelt worden:

siehe **Tabelle48.**

7.12.1 Einsatzmöglichkeiten erneuerbarer Energien im innerbetrieblichen Transport

Im Bereich des innerbetrieblichen Transports wird in Gießereibetreiben derzeit auf Strom, Erdgas sowie Dieselkraftstoff als Energieträger zurückgegriffen. Die benötigte elektrische Energie kann durch Ökostrom bereitgestellt werden. Erdgasbetriebene Fahrzeuge könnten zukünftig mit aufbereitetem Biogas versorgt werden. Derzeit mit Dieselkraftstoff betriebene Gabelstapler könnten mit Biodiesel betankt werden. Hier sollte im Rahmen der üblichen Investitionszyklen der Einsatz von Motoren in Betracht gezogen werden, welche für den Betrieb mit Biokraftstoffen geeignet sind:

mittelfristig: Umstellung auf Biodiesel bei Gabelstaplern mit geeigneten Motoren

langfristig: Umstellung auf Biodiesel oder Öko-Strom bei Ersatzbeschaffungen oder Neuanschaffungen

7.13 Gebäudetechnik, Warmwasser, Beleuchtung

Die Gebäudetechnik, die Bereitstellung von Warmwasser für Waschräume sowie Beleuchtung sind nicht gießereispezifisch. Ihr Anteil am gesamten Energiebedarf beträgt wenige Prozent (siehe Abschnitt 3). Insbesondere bei Warmwasser für Waschräume und Heizung sollte primär die Nutzung von Abwärme angestrebt werden. Bei Heizungssystemen ist der Einsatz von Holzpellets Stand der Technik.

Eine Übersicht über den Energieeinsatz bei Gussnachbehandlung, Wärmebehandlung, lüftungstechnischen Anlagen sowie Transport und Gebäudetechnik zeigt **Tabelle48**.

Tabelle48: Energieeinsatz bei Gussnachbehandlung, Wärmebehandlung, lüftungstechnischen Anlagen sowie Transport und Gebäudetechnik

		Erdgas		Heizöl	[10,2 kWh/l]	Strom	Summe
		m3/t g.G.	kWh/t g.G.	l/t g.G.	kWh/t g.G.	kWh/t g.G.	kWh/t g.G.
							% von Gesamt-energie
Innerbetrieblicher Transport							
	Eisengießerei				50 [6]		50 [6]
	Aluminiumgießerei				2,6 [6]	2 [6]	4,6 [6]
Gussnach-, Wärmebehandlung							
	Eisenguss-Putzen		50 [6]		6,5 [6] 42 [6]	13 [6] 123 [6]	9 [4]; 5-10% [3] 19,5 [6] 215 [6]
	Eisenguss-Putzen/Glühen		50 [6]		42 [6]	103 [6]	195 [6]
	Stahlguss-Putzen						8-12% [3]
	Stahlguss-Wärmebehandlung						610 [4] 25-35% [3] 25% [4]
	Aluminium-Kokillenguss-Wärmebeh/Regenerieren		1450 [4]			185 [4]	1760 [4]
	Aluminium-Kokillenguss-Putzen/Strahlen					1030 [4]	1270 [4]
	Aluminium-Druckguss-Strahlen/Putzen					116 [6]	830 [4] 116 [6]
	Aluminium-Druckguss-Wärmebeh.		110 [4]			110 [4]	230 [4]

		Erdgas		Heizöl	[10,2 kWh/l]	Strom	Summe
Be- und Entlüftung; Luftreinhaltung; Heizung							
	Eisen-, Stahlguss-Heizung						334 [3]
	Stahlguss-Heizung						1260 [4]
	Stahlguss-Lüftung						1450 [4]
	Eisenguss-Lüftungstechn.						7-10% [4]
	Stahlguss-Lüftungstechn.						5-10% [4]
	Nichteisenmetallguss-Lüftungstechnik					283 [6]	283 [6] 10% [4]
	Nichteisenmetallguss-Heizung						3 % [4]
Drucklufttechnik							
	Eisen-,Stahlguss						69,7 [3]
	Eisenguss					42 [6]	
	Stahlguss						350 [4]
	Al-Kokillenguss						
	Al-Druckguss						
Gebäudetechnik, Beleuchtung							
	Eisen-, Stahlguss, Al-Guss						3-4% [4]
	Eisenguss						
	Stahlguss						<300 [4]
	Al-Kokillenguss						
	Al-Druckguss						

Datenquellen:[1] DGV 2008
[2] IfG 2008
[3] Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009
[4] Foundrybench 2012
[5] Effiziente Energieverwendung 2005

[6] Erneuerbare Energie Gießerei 2013
[7] Umweltbundesamt 2004
[8] Wenk 2006
[9] Energie Consulting Bühler 2012
[10] Kirchen 2006

8 Potenzialanalyse erneuerbare Energien anhand von sechs Modellgießereien

Die Gießereien in Deutschland – wie andernorts – sind sehr unterschiedlich hinsichtlich ihrer Produktionsbedingungen und ihres Energieeinsatzes. Dies ist in den vorangegangenen Kapiteln deutlich geworden.

Die vielfältigen Angaben in den vorangegangenen Kapiteln sind in den folgenden Tafeln umgesetzt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Angaben zum Energieeinsatz in einzelnen Prozessen oder Fertigungsbereichen teils deutlich unterschiedlich waren, weil sie mit verschiedenen Ansätzen ermittelt worden waren: teils ist der Energieeinsatz bei Prozessen direkt ermittelt worden, wie typischerweise beim Schmelzen, oder es sind Werte für ganze Fertigungsbereiche generiert worden, wie beispielsweise für Formereien. Die Werte in den Tafeln sind prozessbezogen, und es sind typische Werte bzw. durchschnittliche Angaben.

Um die Potentiale zum Einsatz von EE deutlich zu machen, werden im Folgenden sechs Modell-Gießereien hinsichtlich ihres EE-Potentials beschrieben und diskutiert:

- **Anwender von Sandguss-Verfahren**

Gießereien mit Nassguss-Verfahren zur Fertigung von Serienteilen aus Eisen- oder Kupferguss;

Gießereien mit Kaltharz-Verfahren (selbsthärtende Formstoffe) zur Fertigung von einzelnen, meist großen Bauteilen aus Eisen- oder Stahlguss;

- **Anwender von Dauerformverfahren**

Gießerei mit Kokillengießen von Aluminiumguss;

Gießerei mit Druckgießen von Aluminiumguss;

Die Modellgießereien repräsentieren mit ihrem Typ über 95 % der deutschen Gießereien, so dass von ihnen sicher auf die gesamte deutsche Gießereiindustrie und ihres Einsatzes an EE hochgerechnet werden kann.

8.1 Gießereien mit Sandguss-Verfahren

Das Sandguss-Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die Formen, in die die Schmelze gegossen wird, aus gebundenem Sand sind. Über 95 % der deutschen Gussteilproduktion aus Eisen- und Stahlguss und etwa 35 % aus Nichteisenmetallen werden in Sandformen hergestellt.

Handelt es sich um Gussteile, die in größerer Stückzahl (im Straßenfahrzeugbau bis über mehrere 100.000 Teile) gefertigt werden, ist die Fertigung weitgehend automatisiert und entsprechende Fertigungstechnik, mit Kernschießmaschinen, Formanlagen, Einrichtungen zur Gussnachbehandlung etc., werden verwendet. Im Folgenden sind Modellgießereien für Eisen- und Messingguss dargestellt.

Sind die Stückzahlen der Gussteile kleiner, Einzelstücke oder vergleichsweise kleinere Serien, was typischerweise bei Großgussteilen (mit bis über 250 Tonnen) der Fall ist, so wird mit dem sogenannten Handform-Verfahren, mit teilweise mechanisierten Verfahren, gefertigt. In den zwei nachfolgend dargestellten Modellgießereien werden große Eisen- oder Stahlgussteile gefertigt.

8.1.1 Gießereien mit Serienfertigung und automatischer Formanlage

Für die energieintensiven Prozesse, wie das Schmelzen, ist die Art des Gusswerkstoffs maßgeblich. Von Gusswerkstoff und Gussteilen hängt auch das sogenannte Ausbringen ab - das Verhältnis von Masse an Schmelze, die in die Form gegossen wird, zu Masse an gutem Guss. Die Abläufe zwischen

den Fertigungsbereichen einer Gießerei dieses Typs, Kernmacherei, Schmelzbetrieb, Formerei etc., sind weitgehend unabhängig vom Gusswerkstoff.

Bei derartigen Gießereien mit hohem Automatisierungsgrad ist ein Dreischichtbetrieb üblich.

Die Flexibilität solcher Produktionssysteme hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit an die Verfügbarkeit von EE ist weitgehend unabhängig vom Gusswerkstoff.

Zeitliche Flexibilität zur Anpassung an Verfügbarkeit von EE:

Eine zeitliche *Flexibilität des gesamten Fertigungsprozesses* ist bei dem bei derartigen Gießereien üblichen 3-Schichtbetrieb gering. Eine diesbezügliche Flexibilität wäre nur gegeben, wenn an Samstag und Sonntag produziert würde. Dies stößt an rechtliche Grenzen und an soziale Vorstellungen und wäre mit Lohnzuschlägen verbunden.

Eine *Flexibilität zwischen einzelnen Fertigungsbereichen* ist teilweise gegeben.

In der Fertigungskette können Serien-Sandkerne bei Einsatz organischer Bindemittel, wie im Urethan-Cold-Box-Verfahren üblich, lange unter normalen klimatischen Bedingungen gelagert werden. Auch die Tatsache, dass sie von Lieferanten fertig bezogen werden, verdeutlicht die diesbezügliche Flexibilität. Diese Flexibilität ist allerdings derzeit und möglicherweise auch zukünftig bei Einsatz anorganischer Bindemittel deutlich weniger gegeben. Diese Bindersysteme sind vergleichsweise wenig lagerfähig – und wenn, dann in klimatisierten Lagern, was u. a. mit erheblichem – möglichst zu vermeidendem - Energieeinsatz verbunden wäre.

Hinsichtlich des Fertigungsbereiches der Gussnachbehandlung mit Strahlen, Schleifen, ggf. Wärmebehandlung und den, dem eigentlichen Gießereiprozess nachgelagerten Bereichen, wie Bearbeitung, Lackieren ist – technisch gesehen - ebenfalls eine gewisse Flexibilität gegeben. Wirtschaftlich gesehen sind beispielsweise größere Lagerflächen notwendig, die allerdings in bestehenden Gießereien typischerweise derzeit nicht vorgehalten werden.

Sehr geringe Flexibilität besteht technisch gesehen zwischen den Fertigungsbereichen Schmelzen – Nassguss-Formtechnik – Gießen – Abkühlen – Ausleeren. In Eisengießereien stellt ein betriebener Kupolofen kontinuierlich Schmelze bereit, die zwar in einem nachgeschalteten induktiv beheiztem Warmhalteofen über einen – allerdings möglichst kurzen – Zeitraum behandelt und bereitgestellt wird.

Verfügt die Gießerei anstelle eines kontinuierlich Schmelze bereitstellenden Ofens über einen elektrisch- oder brennstoffbeheizten Schmelz- und -warmhalteofen, so ist in diesem etwa eine Stunde vor dem Gießen mit dem Schmelzen zu beginnen.

Die Pfannen, mit denen die Schmelze zum Gießen transportiert wird, ist möglichst unmittelbar vor ihrer Verwendung vorzuwärmen,

Der für die Nassguss-Formtechnik gemischte tongebundene Formstoff verändert sich in wenigen Minuten und darum müssen tongebundene Sandformen (Nassguss-Formtechnik) unmittelbar vor ihrer Verwendung hergestellt werden. Bei diesen Sandformen darf der feuchte tongebundene Formstoff an der Formoberfäche vor dem Gießen nicht trocknen, was ein Gießen unmittelbar nach dem Formen erfordert.

Nach dem Gießen findet Abkühlen und Ausleeren auf einer automatischen Formanlage zeitlich kaum beeinflussbar bzw. veränderbar statt.

Die *Flexibilität im laufenden Prozess* ist in relevantem Umfang gegeben bei Verwendung von mehreren Induktionsschmelzöfen, was ein optimiertes Energiemanagement beim Schmelzen ermöglicht.

8.1.1.1 Modellgießerei 1: Eisengießerei mit Serienfertigung

Charakterisierung von Betrieb und Produktion:

- Serienfertigung von Gussteilen aus Gusseisen mit Kugelgraphit für den Straßenfahrzeugbau
- Jährliche Produktion von 100.000 jato gutem Guss, bei einem Ausbringen von 50 %;
- 3-Schichtbetrieb
- Schmelzbetrieb: Heißwindkupolofen mit induktiv beheiztem Warmhalteofen
- Formtechnik: Nassguss-Formanlage mit Luftstrompress-Verfahren
- Kernfertigung: Fertigen von Sandkernen mit dem Urethan-Cold-Box-Verfahren
- Gussnachbehandlung: teilautomatisiert und teilmechanisiert

Energieeinsatz – Ist-Situation:

Die folgenden Angaben zum Energieeinsatz sind typisch für eine derartige Fertigung und basieren auf Betriebsdaten aus Gießereien diesen Typs.

Modellgießerei 1:	Eisengießerei-GJS, Maschinenformguss, Kupolofen und Induktionswarmhalteofen, 100 T to/Jahr guter Guss, 50% Ausbringen, Dreischichtbetrieb			
eingesetzte Technologien	Verbrauchsmenge Strom	Verbrauchsmenge Steinkohlenkoks	Verbrauchsmenge Erdgas, Erdöl	Verbrauchsmenge Dieselkraftstoff
SCHMELZBETRIEB				
Heißwindkupolofen		160 GWh/a		
		800 kWh/t. fl. Eisen; 1600 kWh/t g. Guss		
Warmehalteinduktionsofen	20,0 GWh/a			
	100 kWh/t fl. Eisen; 200 kWh/t guter Guss			
Pfannenvorwärmung			20,0 GWh/a	
			100 kWh/ t fl. Eisen; 200 kWh/t guter Guss	
FORM- und KERNHERSTELLUNG				
Nassguss-Formanlage	22,5 GWh			
(mit Aufbereitung); Gießen	225 kWh/t guter Guss		2,5 GWh	
			25 KWh/t gute rGuss	
Kernmacherei, mit Schlichtetrock-nung	5,0 GWh		2,5 GWh	

Modellgießerei 1:	Eisengießerei-GJS, Maschinenformguss, Kupolofen und Induktionswarmhalteofen, 100 T to/Jahr guter Guss, 50% Ausbringen, Dreischichtbetrieb			
	50 kWh/ t guter Guss		50 kWh/ t guter Guss	
GUSSBEHANDLUNG				
Strahlen	5,0 GWh/a			
	50 kWh/t guter Guss			
Gussputzen und Kontrolle	5,0 GWh			
	50 kWh/t guter Guss			
BE- und ENTLÜFTUNG, LUFTREINHALTUNG, Haustechnik				
	40,0 GWh/a			
	400 kWh/ t guter Guss			
INNERBETRIEBLICHER TRANSPORT				
	5,0 GWh			5,0 GWh
	50 kWh/t guter Guss			50 kWh/t guter Guss

Potential zum Einsatz von EE:

Bei Betrieb eines koksbetriebenen Heißwindkupolofens mit zusätzlichem Erdgas-Einsatz kann derzeit das Erdgas durch EE-Biogas und in einigen Jahren und nach weiter fortgeführten, erfolgreichen Entwicklungsarbeiten zukünftig der Gießerei-Koks durch nachwachsende Rohstoffe, zumindest teilweise, ersetzt werden (siehe Kapitel 5.6.7).

Insbesondere bei Heißwindkupolöfen ist Erdgas als Ersatz von Gießerei-Koks zur Erhöhung der Schmelzleistung teilweise im Einsatz. Erdgas könnte kurzfristig durch ggf. vorbehandeltes Biogas ersetzt werden.

Erdgas wird im Schmelzbetrieb zur Pfannenvorwärmung eingesetzt und kann auch hier durch ggf. vorbehandeltes Biogas ersetzt werden.

Der eingesetzte Strom im Schmelzbetrieb wird hauptsächlich in Mittel- oder Niederfrequenz-Induktionsschmelz- und/oder -Warmhalteöfen eingesetzt. Energietechnisch kann vollständig EE-Strom eingesetzt werden.

Im Folgenden eine Übersicht über den Energieeinsatz und das EE-Potential aus technischer Sicht (ohne Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit):

	Energieeinsatz		EE-Potential	
	kWh/tgG	GWh/a	kWh/tgG	GWh/a
Fertigungsbereich				
Schmelzbetrieb	2.000	200	400* (Strom, Erdgas)	40* (Strom, Erdgas)
Kernmacherei, Formerei	325	32,5	325	32,5
Gießbetrieb	in Form.	in Form.	in Form.	in Form.
Gussnachbehandlung	100	10	100	10
Wärmebehandlung	-	-	-	-
Lufttechn, Haustechn. etc.	400	40	400	40
Innerbetrieb. Transport	100	10	100**	10**
Gesamt	2.925	292,5	1. 325	132,5

* Nach weiteren erfolgreichen F-uE-Arbeiten ist ein teilweiser oder vollständiger Ersatz des Kokses möglich
** Umstellung von diesel- auf gasbetriebene oder elektrisch-betriebene Gabelstapler ist bereits berücksichtigt

Im Schmelzbetrieb von Modellgießerei 1 besteht ein Potential für intensiveren Einsatz von EE. Zur Erschließung dieses Potentials sind Veränderungen an der Kupolofenanlage vorzunehmen.

Kurzfristige Erhöhung des EE-Einsatzes: teilweiser Ersatz von Koks durch Biogas (mit Erdgasqualität)

Mittelfristige Erhöhung des EE-Einsatzes: teilweiser Ersatz von Koks durch nachwachsende Brennstoffe. Hierzu sind die grundlegenden Entwicklungen durchgeführt worden, es fehlt in einem weiteren Projekt aber noch die Umsetzung der Anlagentechnik zu Carbonisierung in eine betriebliche Größe.

Langfristige Erhöhung des EE-Einsatzes in Investitionszyklen: Ersatz von Kupolofen durch Induktionsofen (mit Ökostrom betrieben). Geringe Bedeutung wird in der Umstellung auf kokslosen Kupolofen oder Drehtrommelofen gesehen. Es handelt sich hierbei eher um Alternativen, deren Umsetzbarkeit unter technischen und wirtschaftlichen Bewertungen zweifelhaft erscheint.

8.1.1.2 Modellgießerei 2: Aluminium- oder Messinggießerei mit Serienfertigung

Charakterisierung von Betrieb und Produktion:

- Serienfertigung von Gussteilen aus Aluminiumguss für Fahrzeugbau oder aus Messingguss für Armaturen;
- Jährliche Produktion von 6.000 jato gutem Guss, bei einem Ausbringen von 50 %;
- 2-Schichtbetrieb;
- Schmelzbetrieb: Gasbeheizter Tiegelofen
- Formtechnik: Nassguss-Formanlage mit Luftstrompress-Verfahren
- Kernfertigung: Fertigen von Sandkernen mit dem Urethan-Cold-Box-Verfahren
- Gussnachbehandlung: teilmechanisiert

Energieeinsatz – Ist-Situation:

Die folgenden Angaben zum Energieeinsatz sind typisch für eine derartige Fertigung und basieren auf Betriebsdaten aus Gießereien diesen Typs.

Modellgießerei 2	Aluminium- oder Messing-Sandguss, Schmelzen in gasbeheiztem Tiegelofen, 6 000 to/Jahr guter Guss, 50% Ausbringen; Zwei-schichtbetrieb		
eingesetzte Technologien	Verbrauchsmenge Strom	Verbrauchsmenge Erdgas, Erdölgas	Verbrauchsmenge Diesel-kraftstoff
SCHMELZBETRIEB			
Schmelzen im gasbeheiztem Tiegelofen, mit Warmhalteofen		Aluminiumguss: 12,0 GWh/a; Messingguss: 19,2 GWh/a	
		1000 kWh / to fl. Aluminium, 2000 kWh / to guter Guss 1600 kWh / to fl. Messing; 3200 kWh/to guter Guss	
FORM- und KERNHERSTELLUNG			
Nassguss-Formanlage	1,20 GWh/a		
(mit Aufbereitung); Gießen	200 kWh/t guter Guss		
Kernmacherei, mit Schlichtetrocknung	0,15 GWh/a guter Guss	0,3 GWh/a	
	25 kWh/t guter Guss	50 kWh/ t guter Guss	
GUSSBEHANDLUNG und WÄRMEBEHANDLUNG			
Strahlen	0,3 GWh/a		
	50 kWh/to guter Guss		

Modellgießerei 2	Aluminium- oder Messing-Sandguss, Schmelzen in gasbeheiztem Tiegelofen, 6 000 to/Jahr guter Guss, 50% Ausbringen; Zwei-schichtbetrieb		
Putzen	0,3 GWh/a		
	50 kWh/to guter Guss		
Wärmebehandlung		Aluminiumguss: 4,8 GWh/a	
		Aluminiumguss:800 kWh/t guter Guss	
BE- und ENTLÜFTUNG, LUFTREINHALTUNG	2,4 GWh/a		
	400 kWh/to guter Guss		
INNERBETRIEBLICHER TRANSPORT	0,3 GWh/a		0,3 GWh/a
	50 kWH/ to g. Guss		50 kWH/ to g. Guss

Potential zum Einsatz von EE:

Das zum Betrieb des Schmelz- und Warmhalteofen eingesetzte Erdgas kann vollständig durch ggf. vorbehandeltes Biogas ersetzt werden.

Diese Möglichkeit des Einsatzes von Biogas anstelle von Erdgas gilt auch für die Pfannenvorwärmung.

Der Strombedarf kann technisch gesehen zu 100 % aus EE–Strom gedeckt werden.

Im Folgenden eine Übersicht über den Energieeinsatz und das EE-Potential aus technischer Sicht (ohne Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit):

	Energieeinsatz		EE-Potential	
	kWh/tgG	GWh/a	kWh/tgG	GWh/a
Fertigungsbereich				
Schmelzbetrieb–Al.-Leg.	2.000	12	2.000	12
Schmelzbetrieb-Messing	3.200	19,2	3.200	19,2
Kernmacherei, Formerei	275	1,65	275	1,65
Gießbetrieb	in Form.	in. Form.	in Form.	in Form.
Gussnachbehandlung	100	0,6	100	0,6
Wärmebehandl. Al-Guss	800	4,8		
Lufttechn, Haustechn. etc.	400	2,4	400	2,4
Innerbetrieb. Transport	100	0,6	100*	0,6*
Aluminiumgießerei, ges.	3.675	22,05	3.675	22,05
Messinggießerei, ges.	4.075	24,45	4.075	24,45

* Umstellung von diesel- auf gasbetriebene oder elektrisch-betriebene Gabelstapler ist bereits berücksichtigt

Aus technischer Sicht kann der Energieeinsatz schon heute vollständig aus erneuerbarer Energie gedeckt werden.

8.1.2 Gießereien mit Einzelstück oder Kleinfertigung

Die Fertigungsschritte bei der Herstellung derartiger Gussteile sind hinsichtlich Kernfertigung, Formherstellung, Gussnachbehandlung weitgehend gleich. Diese Variante des Sandguss-Verfahrens, das sogenannte Handformen, ist von Handarbeit und teilweise mechanisierten Abläufen, wie dem innerbetrieblichen Transport, gekennzeichnet.

Die wesentlichen Unterschiede zwischen den Eisen- und Stahlgießereien bestehen in den energieintensiven, metallurgischen Prozessen, wie dem Schmelzen und der Wärmebehandlung. Außerdem ist das Ausbringen bei Stahlguss deutlich niedriger als im Eisenguss.

Bei Gießereien, die mittels Handformen fertigen, ist Zweischichtbetrieb typisch.

Die Flexibilität derartiger Produktionssysteme hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit an die Verfügbarkeit von EE ist weitgehend unabhängig vom Gusswerkstoff.

Flexibilität zur Anpassung an Verfügbarkeit von EE:

Eine zeitliche Flexibilität des gesamten Fertigungsprozesses ist in einem 2- oder ganz oder teilweise laufenden 1-Schichtbetrieb dann gegeben, wenn im Zeitraum einer verlässlichen Wetterprognose (Sonnenschein, Wind) – eine Arbeitsschicht angepasst werden kann. Derartige Beispiele sind in Europa sehr selten, in asiatischen Ländern eher zu finden. Da von den Beschäftigten eine große zeitliche Flexibilität gegeben sein muss, sind derartige Beispiele eher in Ländern zu finden, in denen gesellschaftliche und soziale Strukturen gegeben sind, die eine derartige zeitliche Anpassung möglich werden lassen. Ob und inwieweit dies zukünftig in Deutschland möglich sein wird, wird davon abhängig sein, inwieweit es einen gesellschaftlichen Konsens über die Notwendigkeit zur verstärkten Nutzung von erneuerbarer Energie – und über eine diesbezüglich notwendige Bereitschaft zur flexibilisierten Arbeitszeit geben wird.

Eine Flexibilität zwischen einzelnen Fertigungsbereichen ist in einer typischen Fertigung von einzelnen großen Gussteilen oder kleinen Serien teilweise gegeben.

Sandkerne und Sandformen – in selbsthärtendem furanharzgebundenem Formstoff hergestellt – können unter normalen klimatischen Bedingungen, wie sie in Deutschland üblich sind, in dem Umfang gelagert werden, den die Lagerkapazität zulässt. Dies ermöglicht

eine weitgehende Entkopplung vom Vorgang des Schmelzens und Gießens sowie der Gussnachbehandlung. Formen können vollständig für den Abguss vorbereitet werde; d.h.

- es kann geschlichtet werden – für die Trocknung sind sowohl für Wasser- als auch für Alkoholschlichte die zugehörigen Prozesszeiten nicht zu unterschreiten;
- Speiser, Filter, Kühlkokillen und Sandkerne können in die Form eingelegt werden;
- der Oberkasten kann auf den Unterkasten gelegt werden und die Kästen können verklammert und/oder mit Gewichten gegen den Auftrieb von Formteilen und Sandkernen beschwert werden.

Schmelzen und Gießen sind gekoppelt. Es ist weder aus metallurgischen Gründen noch hinsichtlich der Energieeffizienz möglich, diese beiden Prozessschritte zu trennen. Das Schmelzen im elektrisch beheizten Ofen beginnt etwa eine Stunde vor dem Gießen und bei Erreichen der Abgießtemperatur sollte im Bereich von einigen Minuten gegossen werden.

Die Pfannen, mit denen die Schmelze zum Gießen transportiert wird, sind möglichst unmittelbar vor ihrer Verwendung vorzuwärmen. Die abgegossenen Formen haben Mindestabkühlzeiten, so dass das Rohgussteil in der Form eine vorgegebene Temperatur unterschreitet, bevor es vom umgebenden Formstoff getrennt wird, damit keine Fehler beim Gussgefüge oder durch Eigenspannungen entstehen.

Hinsichtlich des Fertigungsbereiches der Gussnachbehandlung mit Strahlen, Schleifen, ggf. Wärmebehandlung und dem eigentlichen Gießereiprozess nachgelagerten Bereichen, wie Bearbeitung, Lackieren ist – technisch gesehen - ebenfalls eine Flexibilität gegeben, die von der Lagerkapazität und/oder der Qualifikation und Bereitschaft der Beschäftigten zur Erledigung unterschiedlicher Tätigkeiten abhängt.

Können die vermutlich zusätzlichen Lagerflächen eingerichtet werden, so beeinträchtigt dies die Wirtschaftlichkeit der Fertigung. Größere Lagerflächen – die im Großguss beträchtlich sein können – sind in bestehenden Gießereien allerdings sicher nur in begrenztem Umfang, die Möglichkeiten von Gebäude und Grundstück ausschöpfend, möglich.

Die Flexibilität im laufenden Prozess ist in relevantem Umfang gegeben bei Verwendung von mehreren Induktionsschmelzöfen, was ein optimiertes Energiemanagement beim Schmelzen ermöglicht.

Die Arbeiten im Bereich von Kernmacherei und Formerei sind Tätigkeiten, die sich bei der Herstellung von großen Formen über mehrere Tage oder Wochen erstrecken. Dies macht deutlich, dass die einzelnen Tätigkeiten in vielen einzelnen Arbeitsschritten durchgeführt werden, die zeitlich entkoppelt sind.

8.1.2.1 Modellgießerei 3: Eisengießerei mit Einzelstück oder Kleinserienfertigung

Charakteristisches in der Produktion von Modellgießerei 3

- Große Einzelstück- oder Kleinserienfertigung von Gussteilen aus Gusseisen mit Lamellen- oder Kugelgraphit für den Maschinenbau;
- Jährliche Produktion von 6.000 jato gutem Guss, bei einem Ausbringen von 70 %;
- 2-Schichtbetrieb;
- Schmelzbetrieb: MF-Induktionsschmelz- und -warmhalteofen
- Formtechnik und Kernfertigung: Kaltharz-Verfahren mit Furanharz-Bindemittel
- Gussnachbehandlung: Strahlanlage, Handputzarbeiten

Energieeinsatz:

Die folgenden Angaben zum Energieeinsatz sind typisch für eine derartige Fertigung und basieren auf Betriebsdaten aus Gießereien dieses Typs.

Modellgießerei 3:	Eisengießerei-GJL/GJS, Handformen, Induktionstiegelofen, 6.000 to/Jahr guter Guss, 70% Ausbringen, Zweischichtbetrieb			
eingesetzte Technologien	Verbrauchsmenge Strom	Verbrauchsmenge Steinkohlenkoks	Verbrauchsmenge Erdgas, Erdölgas	Verbrauchsmenge Dieselkraftstoff
SCHMELZBETRIEB				
MF-Induktionsofen	6,0 GWh/a			
	700 kWh/t fl. Eisen; 1000 kWh/t guter Guss			
Pfannenvorwärmung			0,9 GWh/a	
			100 kWh/ t fl. Eisen; 145 kWh/t guter Guss	
FORM- und KERNHERSTELLUNG				
Kaltharz-Formerei	0,6 GWh			
(mit Mischen und Regenerieren)	100 kWh/t guter Guss			
GUSSBEHANDLUNG				
Strahlen	0,4 GWh/a			>

Modellgießerei 3:	Eisengießerei-GJL/GJS, Handformen, Induktionstiegelofen, 6.000 to/Jahr guter Guss, 70% Ausbringen, Zweischichtbetrieb			
eingesetzte Technologien	Verbrauchsmenge Strom	Verbrauchsmenge Steinkohlenkoks	Verbrauchsmenge Erdgas, Erdölgas	Verbrauchsmenge Dieselkraftstoff
	70 kWh/t guter Guss			
Gussputzen	0,3 GWh			
	50 kWh/t guter Guss			
BE- und ENTLÜFTUNG, LUFTREINHALTUNG, Haustechnik				
	400 kWh/ t guter Guss			
INNERBETRIEBLICHER TRANSPORT				
	0,3 GWh			0,3 GWh
	50 kWh/t guter Guss			50 kWh/t guter Guss

Potential zum Einsatz von EE:

Bei Betrieb eines elektrisch beheizten Mittelfrequenz-Induktionstiegelofens kann der hierfür notwendige Strombedarf energietechnisch gesehen vollständig mit EE-Strom gedeckt werden.

Auch der übrige Strombedarf zum Betrieb der verschiedenartigen fertigungs- und umwelttechnischen Anlagen kann unter energietechnischem Gesichtspunkt vollständig aus EE-Strom gedeckt werden.

Erdgas wird eingesetzt zur Pfannenvorwärmung und - in wenigen Gießereien dieses Typs - bei der Trocknung von dem Formüberzugsstoff Wasserschlichte.

Im Folgenden eine Übersicht über den Energieeinsatz und das EE-Potential aus technischer Sicht (ohne Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit):

	Energieeinsatz		EE-Potential	
	kWh/tgG	GWh/a	kWh/tgG	GWh/a
Fertigungsbereich				
Schmelzbetrieb	1.145	6,9	1.145	6,9
Kernmacherei, Formerei	100	0,6	100	0,6
Gießbetrieb	in Form.	in Form.	in Form.	in Form.
Gussnachbehandlung	120	0,7	120	0,7
Lufttechn, Haustechn. etc.	400	2,4	400	2,4
Innerbetrieb. Transport	100	0,6	100*	0,6*
Gesamt	1.865	11,2	1.865	11,2

* Umstellung von diesel- auf gasbetriebene oder elektrisch-betriebene Gabelstapler ist bereits berücksichtigt

Aus technischer Sicht kann der Energieeinsatz schon heute vollständig aus erneuerbarer Energie gedeckt werden.

8.1.2.2 Modellgießerei 4: Stahlgießerei mit Einzelstück oder Kleinfertigung

Charakteristisches in der Produktion von Modellgießerei 4:

- Einzelstück oder Kleinserienfertigung von Gussteilen aus Stahlguss für den Maschinenbau
- Jährliche Produktion von 6.000 jato gutem Guss, bei einem Ausbringen von 35 %
- 2-Schichtbetrieb
- Schmelzbetrieb: MF-Induktionsschmelz- und -warmhalteofen
- Formtechnik und Kernfertigung: Kaltharz-Verfahren mit Furanharz-Bindemittel
- Gussnachbehandlung: Strahlanlage, Handputzarbeiten
- Wärmebehandlung der Stahlgussteile

Flexibilität:

Die Modell-Stahlgießerei unterscheidet sich hinsichtlich ihrer Fertigungsschritte und der Flexibilität nicht wesentlich von der Modellgießerei 3.

Ein wesentlicher Unterschied ist die in Stahlgießereien übliche Wärmebehandlung der Gussteile. Diese ist heute typischerweise von den anderen Fertigungsschritten zeitlich entkoppelt. Das heißt, dass die Gussteile nach dem Trennen vom Formstoff auf Raumtemperaturtemperatur abkühlen und für die Wärmebehandlung wieder von Raumtemperatur ausgehend erwärmt werden. Es ist zu untersuchen, ob ein erschließbares Energieeffizienz-Potential vorhanden ist, wenn die nach dem Trennen vom Formstoff heißen Gussteile so schnell einer Wärmebehandlung zugeführt werden, dass sie noch möglichst viel Wärme gespeichert haben.

Ist ein kurzzeitig verbundenes Ausleeren und Wärmebehandeln eine prozessintegrierte Maßnahme zur Verbesserung der Energieeffizienz einer Stahlgießerei, so wäre die Lagerzeit zwischen diesen Prozessstufen möglichst zu beschränken.

Energieeinsatz:

Die folgenden Angaben zum Energieeinsatz sind typisch für eine derartige Fertigung und basieren auf Betriebsdaten aus Gießereien dieses Typs.

Modellgießerei 4	Stahlgießerei, Handformguss, induktionstiegelofen, 6.000 to/Jahr guter Guss, 35% Ausbringen, 2 Schichtbetreib		
eingesetzte Technologien	Verbrauchsmenge Strom	Verbrauchsmenge Erdgas, Brenngas	Verbrauchsmenge Dieselkraftstoff
SCHMELZBETRIEB			
MF-Induktionsofen	14,4 GWh/a		
	800 kWh/t Flüssigstahl 2. 400 kWh/t guter Guss		
Pfannenvorwärmung		1,7 GWh/a	
		100 kWh/ t fl. Eisen; 285 kWh/t guter Guss	
FORM- und KERNHERSTELLUNG			
Kaltharz-Formerei (mit Mischen und Regenerieren)	0,9 GWh		
	150 kWh/to guter Guss		
GUSSBEHANDLUNG und Wärmebehandlung			
Strahlen	0,3 GWh/a		
	50 kWh/t guter Guss		

Modellgießerei 4	Stahlgießerei, Handformguss, induktionstiegelofen, 6.000 to/Jahr guter Guss, 35% Ausbringen, 2 Schichtbetreib		
Gussputzen	0,3 GWh/a	0,3 GWh/a	
	50 kWh/t guter Guss	50 kWh/t guter Guss	
Wärmebehandlung		4,2 GWh/a	
		700 kWh /t guter Guss	
BE- und ENTLÜFTUNG, LUFTREINHALTUNG, Haustechnik	2,4 GWh/a		
	400 kWh/t guter Guss		
INNERBETRIEBLICHER TRANSPORT			
	0,3 GWh/a		0,3 GWh/a
	50 kWh/t guter Guss		50 kWh/t guter Guss

Potential zum Einsatz von EE:

Bei Betrieb eines elektrisch beheizten Mittelfrequenz-Induktionstiegelofens oder eines Lichtbogenofens kann der hierfür notwendige Strombedarf energietechnisch gesehen vollständig mit EE-Strom gedeckt werden.

Auch der übrige Strombedarf zum Betrieb der verschiedenartigen fertigungs- und umwelttechnischen Anlagen kann unter energietechnischem Gesichtspunkt vollständig aus EE-Strom gedeckt werden.

Erdgas wird eingesetzt zur Pfannenvorwärmung und bei der Wärmebehandlung. Das Erdgas kann durch ggf. vorbehandeltes Biogas vollständig ersetzt werden.

Potential zum Einsatz von EE:

Im Folgenden eine Übersicht über den Energieeinsatz und das EE-Potential aus technischer Sicht (ohne Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit):

	Energieeinsatz		EE-Potential	
	kWh/tgG	GWh/a	kWh/tgG	GWh/a
Fertigungsbereich				
Schmelzbetrieb	2.685	16,1	2.685	16,1
Kernmacherei, Formerei	150	0,9	150	0,9
Gießbetrieb	in Form.	in Form.	in Form.	in Form.
Gussnachbehandlung	150	0,9	150	0,9
Wärmebehandlung	700	4,2	700	4,2
Lufttechn, Haustechn. etc.	400	2,4	400	2,4
Innerbetrieb. Transport	100	0,6	100*	0,6*
Gesamt	4.185	25,1	4.185	25,1

* Umstellung von diesel- auf gasbetriebene oder elektrisch-betriebene Gabelstapler ist bereits berücksichtigt

Aus technischer Sicht kann der Energieeinsatz schon heute vollständig aus erneuerbarer Energie gedeckt werden.

8.2 Gießereien mit Dauerform-Verfahren

Die Verwendung von metallischen Dauerformen findet bis auf einzelne Ausnahmen ausschließlich in Nichteisenmetallgießereien statt.

Von dem in Deutschland gefertigten Nichteisenmetallguss werden etwa 65 % in Dauerformen hergestellt.

Je nach Art der Formfüllung – womit auch die anderen Fertigungsschritte verbunden sind – unterscheidet man zwischen Kokillengießen und Druckgießen (jeweils mit verschiedenen Varianten).

Die Gussteile, die im Dauerformverfahren gefertigt werden, sind immer Serienbauteile – ansonsten wäre die Herstellung einer teuren Dauerform nicht sinnvoll. Insbesondere beim Druckgießen, was auf einer weitgehend automatisierten Druckgießmaschine abläuft, sind Seriengrößen von mehreren 100.000 Teilen üblich.

In Kokillengießereien ist Zwei- oder Dreischichtbetrieb; in Druckgießereien ist Dreischichtbetrieb üblich.

Zeitliche Flexibilität zur Anpassung von Verfügbarkeit von EE:

Eine zeitliche Flexibilität des gesamten Fertigungsprozesses ist bei dem 3-Schichtbetrieb gering. Eine diesbezügliche Flexibilität wäre nur gegeben, wenn an Samstag und Sonntag produziert würde. Dies stößt an rechtliche Grenzen und an soziale Vorstellungen und wäre zusätzlich mit Lohnzuschlägen verbunden.

Eine Flexibilität zwischen einzelnen Fertigungsbereichen ist teilweise gegeben.

In der Fertigungskette von Kokillengießereien können Serien-Sandkerne bei Einsatz organischer Bindemittel, wie im Urethan-Cold-Box-Verfahren üblich, lange unter normalen klimatischen Bedingungen gelagert werden. Auch die Tatsache, dass sie von Lieferanten fertig bezogen werden, verdeutlicht die diesbezügliche Flexibilität. Diese Flexibilität ist allerdings derzeit und möglicherweise auch zukünftig bei Einsatz anorganischer Bindemittel deutlich weniger gegeben. Diese Bindersysteme sind vergleichsweise wenig lagerfähig – und wenn, dann in klimatisierten Lagern, was u. a. mit erheblichem Energieeinsatz verbunden wäre.

Hinsichtlich des Fertigungsbereiches der Gussnachbehandlung mit Strahlen, Schleifen, ggf. Wärmebehandlung und den dem eigentlichen Gießereiprozess nachgelagerten Bereichen, wie Bearbeitung, Lackieren ist – technisch gesehen - ebenfalls eine gewisse Flexibilität gegeben. Wirtschaftlich gesehen sind beispielsweise größere Lagerflächen notwendig, die allerdings in bestehenden Gießereien typischerweise derzeit nicht vorgehalten werden.

Schmelzen und Gießen sind gekoppelt. Es ist weder aus metallurgischen Gründen noch hinsichtlich der Energieeffizienz möglich, diese beiden Prozessschritte zu trennen. Das Schmelzen in brennstoff- oder induktionsbeheizten Öfen beginnt vor dem Gießen in Schmelz- und Warmhalteöfen am Gießplatz (typisch in kleineren Gießereien) bzw. im Warmhalteofen der Druckgießmaschine.

In der modellhaften Kokillengießerei wird in elektrisch beheizten, in der modellhaften Druckgießerei in gasbeheizten Schmelzöfen geschmolzen. Die Schmelze wird anschließend zu Warmhalte und Vergießöfen transportiert.

Die Schmelze wird in die Dauerformen mit unterschiedlich hohem Druck gegossen.

Die Pfannen, mit denen die Schmelze zum Gießplatz transportiert wird, sind möglichst unmittelbar vor ihrer Verwendung vorzuwärmen.

Hinsichtlich des Fertigungsbereiches der Gussnachbehandlung mit Strahlen, Schleifen, ggf. Wärmebehandlung und den dem eigentlichen Gießereiprozess nachgelagerten Bereichen, wie Bearbeitung, Lackieren ist – technisch gesehen - ebenfalls eine Flexibilität gegeben, die von der Lagerkapazität und/oder der Qualifikation und Bereitschaft der Beschäftigten zur Erledigung unterschiedlicher Tätigkeiten abhängt.

Können die vermutlich zusätzlichen Lagerflächen eingerichtet werden, so beeinträchtigt dies die Wirtschaftlichkeit der Fertigung. Größere Lagerflächen sind in bestehenden Gießereien allerdings sicher nur in begrenztem Umfang möglich einzurichten.

Die Flexibilität im laufenden Prozess ist in relevantem Umfang gegeben bei Verwendung von mehreren Induktionsschmelzöfen, was ein optimiertes Energiemanagement beim Schmelzen ermöglicht.

8.2.1 Modellgießerei 5: Kokillengießerei

Charakteristisches in der Produktion von Modellgießerei 5:

- Großserienfertigung von Gussteilen aus Aluminiumlegierungen für den Straßenfahrzeugbau;
- Jährliche Produktion von 30.000 jato gutem Guss, bei einem Ausbringen von 60 %;
- 3-Schichtbetrieb;
- Schmelzbetrieb: MF-Induktionsschmelz- und –warmhalteofen, das vergossene Flüssigaluminium hat einen Anteil von 50 % von der Metallhütte flüssig angelieferten Aluminiums;
- Kernfertigung: Urethan-Cold-Box-Verfahren;
- Schwerkraftkokillengießen auf Karussell-Anlagen;
- Automatisierte Gussnachbehandlung: Strahlanlage, Schleifen, Fräsen
- Wärmebehandlung, in Verbindung mit thermischer Kernsandregenerierung

Energieeinsatz:

Die folgenden Angaben zum Energieeinsatz sind typisch für eine derartige Fertigung und basieren auf Betriebsdaten aus Gießereien dieses Typs.

Modellgießerei 5	Alu-Kokillenguss, Induktiv beheizter Schmelzbetrieb, 30 T t/Jahr guter Guss, 50% Ausbringen, Dreischichtbetrieb		
eingesetzte Technologien	**Verbrauchsmenge Strom**	**Verbrauchsmenge Erdgas,**	**Verbrauchsmenge Dieselkraftstoff**
SCHMELZBETRIEB			
Induktionsschmelzöfen	60,0 GWh/a		
	1000 kWh/to fl. Aluminium; 2000 kWh / to guter Guss		
Pfannenvorwärmung		12,0 GWh/a	
		200 kWh/ t fl. Aluminium; 400 kWh/t guter Guss	
FORM- und KERNHERSTELLUNG			
Kernfertigung	3,75 GWh/a	3,75 GWh/a	
(Urethan-Cold-Box-Verfahren)	125 kWh/ t guter Guss	125 kWh/ t guter Guss	
mit Schlichtetrocknung			
Thermische Sandregenerierung		9,0 GWh/a	
		300 kWh/ t guter Guss	
GIEßEN bis AUSLEEEREN			

Schwerkraftkokillengießen	19,5 GWh/a	15,0 GWh/a	
	650 kWh/to guter Guss*	500 kWh/t guter Guss	
GUSSBEHANDLUNG und WÄRMEBEHANDLUNG			
Strahlen	9,0 GWh/a		
	300 kWh/to guter Guss		
Putzen	9,0 GWh/a		
	300 kWh/to guter Guss		
Wärmebehandlung	4,5 GWh/a	36,0 GWh/a	
	150 kWh/to guter Guss	1200 kWh/to g. G.	
BE- und ENTLÜFTUNG, LUFTREINHALTUNG, Haustechnik	12,0 GWh/a		
	400 kWh/to guter Guss		
INNERBETRIEBLICHER TRANSPORT	3,0 GWh/a		3,0 GWh/a
	100 kWh/to guter Guss		100 kWh/to guter Guss

*inkl. Druck-luft

Potential zum Einsatz von EE:

Der für den Betrieb der elektrisch beheizten Mittelfrequenz-Induktionstiegelöfen benötigte Strom kann hierfür energietechnisch gesehen vollständig mit EE-Strom gedeckt werden.

Dies gilt auch für den übrigen Strombedarf zum Betrieb der verschiedenartigen fertigungs- und umwelttechnischen Anlagen – auch dieser kann unter energietechnischem Gesichtspunkt vollständig aus EE-Strom gedeckt werden.

Erdgas wird eingesetzt zur Pfannenvorwärmung, zur Erwärmung der Kokillen sowie für den kombinierten Prozess zum Regenerieren des Kernsandes und der Wärmebehandlung der Gussteile.

Das Erdgas kann durch ggf. vorbehandeltes Biogas vollständig ersetzt werden.

Im Folgenden eine Übersicht über den Energieeinsatz und das EE-Potential aus technischer Sicht (ohne Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit):

	Energieeinsatz		EE-Potential	
	kWh/tgG	GWh/a	kWh/tgG	GWh/a
Fertigungsbereich				
Schmelzbetrieb	2.400	72,0	2.400	72,0
Kernmacherei, Formerei*	550	16,5	550	16,5
Gießbetrieb	1.150	34,5	1.000	30,0
Gussnachbehandlung	600	18,0	300	9,0
Wärmebehandlung	1.350	40,5	1.200	36,0
Lufttechn, Haustechn. etc.	400	12,0	1.000	30,0
Innerbetrieb. Transport	200	6,0	200**	6,0**
Gesamt	6.650	199,5	6.650	199,5

*mit thermischer Regenerierung
** Umstellung von diesel- auf gasbetriebene oder elektrisch-betriebene Gabelstapler ist bereits berücksichtigt

Aus technischer Sicht kann der Energieeinsatz schon heute vollständig aus erneuerbarer Energie gedeckt werden.

8.2.2 Modellgießerei 6: Druckgießerei

Charakteristisches in der Produktion von Modellgießerei 6:

- Großserienfertigung von Gussteilen aus Aluminiumlegierungen für den Straßenfahrzeugbau
- Jährliche Produktion von 6.000 jato gutem Guss, bei einem Ausbringen von 50 %
- 3-Schichtbetrieb
- Schmelzbetrieb: Erdgas beheizte Schmelzöfen
- Kaltkammer-Druckgießmaschinen, mit widerstandsbeheizten Warmhalte- und Dosieröfen
- Automatisiertes Entgraten (Stanzen) und Roboter-Handling an der Druckgießmaschine
- Automatisierte Gussnachbehandlung: Strahlen, Gleitschleifen

Energieeinsatz:

Die folgenden Angaben zum Energieeinsatz sind typisch für eine derartige Fertigung und basieren auf Betriebsdaten aus Gießereien dieses Typs.

Modellgießerei 6:	Alu-Druckguss, gasbeheizter Tiegelschmelzofen, 6000 to/Jahr guter Guss, 50% Ausbringen, Dreischichtbetrieb		
eingesetzte Technologien	Verbrauchsmenge Strom	Verbrauchsmenge Erdgas, Erdölgas	Verbrauchsmenge Dieselkraftstoff
SCHMELZBETRIEB			
Brennstoffbeheizte Schmelzöfen		12 GWh/a	
		1000 kWh je to fl. Al;	
		2000 kWh je to guter Guss	
Pfannenvorwärmung		1,2 GWh/a	
		100 kWh/t fl. Al; 200 kWh / t guter Guss	
GIEßEN bis AUSLEEEREN			
Kaltkammerdruckgießmaschine, inkl. Heiz-/Kühlaggregate,	6,0 GWh/a		
Warmhalte- u. Dosieröfen,	1000 kWh/to guter Guss		
Stanzen, Roboter			
GUSSBEHANDLUNG und WÄRMEBEHANDLUNG			

Modellgießerei 6:	Alu-Druckguss, gasbeheizter Tiegelschmelzofen, 6000 to/Jahr guter Guss, 50% Ausbringen, Dreischichtbetrieb		
Gleitschleifen, Strahlen, Putzen (ohne Bearbeitung)	2,4 GWh/a		
	200 kWh/to guter Guss		
Wärmebehandlung	1,4 GWh/a		
	100 kWh/to guter Guss		
BE- und ENTLÜFTUNG, LUFTREINHALTUNG	1,8 GWh/a		
	300 kWh/to guter Guss		
INNERBETRIEBLICHER TRANSPORT	0,6 GWh/a		0,6 GWh/a
	100 kWh/t g. Guss		100 kWh/t g. Guss

Potential zum Einsatz von EE:

Das für den Betrieb der gasbeheizten Tiegelöfen benötigte Erdgas kann hierfür energietechnisch gesehen vollständig mit ggf. vorbehandeltem Biogas gedeckt werden.

Dies gilt auch für den Strombedarf zum Betrieb der verschiedenartigen fertigungs- und umwelttechnischen Anlagen sowie der Aggregate der Druckgussmaschine bzw. in ihrer Peripherie – auch dieser kann unter energietechnischem Gesichtspunkt vollständig aus EE-Strom gedeckt werden.

Erdgas wird derzeit eingesetzt zur Pfannenvorwärmung und zur Wärmebehandlung der Gussteile – nicht alle Gussteile werden wärmebehandelt.

Das Erdgas kann durch ggf. vorbehandeltes Biogas vollständig ersetzt werden.

Im Folgenden eine Übersicht über den Energieeinsatz und das EE-Potential aus technischer Sicht (ohne Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit):

	Energieeinsatz		EE-Potential	
	kWh/tgG	GWh/a	kWh/tgG	GWh/a
Fertigungsbereich				
Schmelzbetrieb	**2.200**	**13,2**	**2.200**	**13,2**
Kernmacherei, Formerei	**-**	**-**	**-**	**-**
Gießbetrieb	**1.000**	**6,0**	**1.000**	**6,0**
Gussnachbehandlung	**200**	**1,2**	**200**	**1,2**
Wärmebehandlung	**400**	**2,4**	**400**	**2,4**
Lufttechn, Haustechn. etc.	**300**	**1,8**	**300**	**1,8**
Innerbetrieb. Transport	**200**	**1,2**	**200***	**1,2***
Gesamt	**4.300**	**25,8**	**4.300**	**25,8**

* Umstellung von diesel- auf gasbetriebene oder elektrisch-betriebene Gabelstapler ist bereits berücksichtigt

8.3 Zeitliche Flexibilität in der Gießereiproduktion und ihr Einfluss auf einen intensiveren Einsatz von Erneuerbarer Energie

Eine möglichst große zeitliche Flexibilität in der Gießereiproduktion kann den Einsatz von EE unterstützen. Die Bereitstellung von EE aus Solar- oder Windkraftanlagen ist wetterabhängig und das Potential zum Einsatz von EE in Gießereien ist umso höher, je flexibler sich eine Gießereiproduktion hierauf einstellen kann.

Dabei ist zwischen mehreren Arten von zeitlicher Flexibilität zu unterscheiden:

- der gesamte Fertigungsprozess wird zeitlich angepasst
- der Ablauf zwischen den einzelnen Fertigungsschritten einer Gießerei wird flexibilisiert
- der Ablauf innerhalb einzelner Fertigungsschritte findet flexibel statt

Außerdem können diese drei Formen der flexiblen Anpassung an die Verfügbarkeit von EE in einer Gießerei kombiniert werden.

Die zeitliche Flexibilität der Anpassung der Produktion unterliegt Rahmenbedingungen, die von technischer, wirtschaftlicher oder sozialer Art sind:

- zu den technischen Bedingungen gehören beispielsweise die Platzverhältnisse bzw. die verfügbare Lagerkapazität

- aus der Fertigung auf Vorrat und aus einer späteren Auslieferung von Gussteilen resultieren zusätzliche Kosten
- Voraussetzung einer zeitlichen Anpassung der Produktion ist die Bereitschaft der Beschäftigten in der Gießerei

Auch diese drei Arten von Rahmenbedingungen einer zeitlich flexiblen Produktion können in Kombination auftreten.

8.3.1 Art der Flexibilität nach ihrem Umfang

Zur zeitlichen Flexibilität des gesamten Fertigungsprozesses gehörten beispielsweise der dem Wetter angepasste tägliche Wechsel zwischen Früh- oder Spätschicht. Beispiele für eine derartige Flexibilität in Gießereien sind bekannt – jedoch nicht aus Deutschland. Aus Ländern, in denen Energieträger nicht ständig in ausreichendem Maße oder zu vertretbaren Preisen zur Verfügung stehen, kennt man Beispiele.

Eine andere Maßnahme kann darin bestehen, Gussteile zu produzieren, wenn EE zur Verfügung steht und bis zur Abnahme durch den Kunden zu lagern. Voraussetzung ist eine ausreichend große Lagerkapazität. Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit entstehen aus dem größeren zeitlichen Abstand zwischen Herstellung und Auslieferung und Vergütung durch den Kunden zusätzliche Kosten.

Die zeitliche Flexibilität des gesamten Fertigungsprozesses ist gering bis nicht vorhanden bei einer kontinuierlichen Fertigung, wie sie in Gießereien mit automatisierter Serienfertigung typisch ist. Eher von theoretischer Art – weil hieraus voraussichtlich nicht tragbare soziale und wirtschaftliche Konsequenzen entstehen - sind die folgenden Maßnahmen: könnte bei kontinuierlicher Produktion das komplette Wochenende mit einbezogen werden und/oder die Kapazität der Produktion soweit deutlich erhöht werden, so dass die Produktionskapazität auch bei nicht kontinuierlicher Fertigung erreicht wird, so würde dies zu einer höheren zeitlichen Flexibilität führen.

Die Flexibilität zwischen einzelnen Fertigungsschritten ist zum einen ebenfalls vom Schichtbetrieb abhängig, zum anderen von der Art der Produktion – und mehr oder weniger möglich:

- Kernfertigung beispielsweise kann gelöst von anderen Fertigungsschritten stattfinden. Voraussetzung sind ausreichende Lagerkapazität sowie je nach Art der Sandkerne und ihrer Bindemittel bestimmte Lagerbedingungen, wie nicht zu hohe Luftfeuchte
- auch die Gussnachbehandlung kann unabhängig von anderen Fertigungssystemen zeitlich flexibel stattfinden
- sehr geringe Flexibilität besteht zwischen den Fertigungsschritten Schmelzen und Gießen, da ein längeres Warmhalten der Schmelze nachteilig für die Schmelzequalität und die Energieeffizienz ist

In Zeiten zur Verfügung stehender EE werden bevorzugt energieintensive Gießereiprozesse, wie Schmelzen/Gießen oder Wärmebehandlung durchgeführt, und in Zeiten geringer zur Verfügung stehender EE werden andere Prozesse, wie Formen oder Gussnachbehandlung durchgeführt.

Weitere Zusammenhänge zwischen Produktionssystem einer Gießerei und ihrer Flexibilität sind bei den Modellgießereien dargestellt.

Schon heutzutage kann in laufenden Gießereiprozessen Flexibilität des Energiebedarfs gegeben sein. Ein Beispiel hierfür ist ein rechnergestütztes Energiemanagement in einem Schmelzbetrieb mit mehreren Induktionsschmelzöfen. Mit diesen auf dem Markt befindlichen Systemen ist es möglich, Stromverbrauchsspitzen während eines Schmelzvorgangs zu vermeiden. Diese Spitzenlastmanagementsysteme erreichen mittlerweile in der Gießerei-Industrie alleine aufgrund ökonomischer Überlegungen eine Abdeckung von über 90 Prozent, weil die Ersparnisse durch Reduzierung des Leis-

tungspreises schon bei kleineren und mittleren Gießereien im hohen fünfstelligen Bereich liegen können.

8.3.2 Art der Flexibilität nach technischen, wirtschaftlichen oder sozialen Kriterien

Technische Kriterien, die die zeitliche Flexibilität von Gießereien einschränken können, sind vielfältig: hierzu gehören das bereits erwähnte Warmhalten von Schmelze, was die Schmelzequalität beeinträchtigen kann, oder die sehr kurze Zeitspanne, die zwischen der Herstellung einer feuchten bentonitgebundenen Sandform und dem Gießen notwendig ist, bevor die Oberfläche der Form getrocknet ist.

In bestehenden Gießereien lässt sich die vorhandene Lagerkapazität oft aus Platzgründen nicht vergrößern.

Ist die Lagerkapazität grundsätzlich erweiterbar, so ist dies aus wirtschaftlichen Gründen beschränkt. Die Wirtschaftlichkeit schränkt die Flexibilität allgemein überall dort in der Produktion ein, wo sie mit ungenutzten Kapazitäten verbunden ist:

- eine Erweiterung der Produktionskapazität der Maschinen und Anlagen, um zeitliche Flexibilität zu erreichen, führt direkt zu Zeiten von ungenutzten Kapazitäten, die die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigen
- Eine Vergrößerung der Belegschaft kann ebenfalls zeitliche Flexibilität schaffen – und führt zu Zeiten von nicht vorhandener Auslastung

Bei einem Auslastungsgrad von 90 Prozent oder mehr ist erfahrungsgemäß keine zusätzliche Flexibilität mehr vorhanden. 70 Prozent Auslastung bedeutet im 3-Schichtsystem 1 Arbeitstag Flexibilität.

Grundsätzlich ist es aus energetischer Sicht vorteilhaft einen Induktionsofen während der Betriebszeiten kontinuierlich zu fahren, um eine hohe Energieeffizienz pro Tonne Flüssigmetall zu erzielen. Ein diskontinuierlicher Schmelzbetrieb sowie dauerhaft wechselnde Werkstoffe erhöhen den Energiebedarf pro Tonne Flüssigmetall. Daher ist eine Gießerei bestrebt, die installierten Kapazitäten konstant und möglichst optimal auszunutzen. Die Gießereialltag sieht meistens anders aus, denn meistens sind weder eine konstante noch eine optimale Auslastung in Gießereien vorzufinden, was sich vor allem durch saisonale und konjunkturelle Schwankungen im Auftragseingang ergibt. Ein drastisches Beispiel zeigte sich in der Wirtschaftskrise ab dem Jahr 2008 als die Produktivität (Tonne guter Guss pro Mitarbeiter) deutlich sank und der Energiebedarf pro Tonne guter Guss (aggregierte Kilowattstunden Strom sowie Tonnen Koks pro Tonne guter Guss) sich dadurch erhöhte. Technische Kriterien, die die zeitliche Flexibilität von Gießereien einschränken können, sind vielfältig: Hierzu gehören das bereits erwähnte Warmhalten von Schmelze, was die Schmelzequalität beeinträchtigen kann oder die sehr kurze Zeitspanne, welche zwischen der Herstellung einer feuchten bentonitgebundenen Sandform und dem Gießen notwendig ist, bevor die Oberfläche der Form getrocknet ist.

Um systematisch die Prozesse im Schmelzbetrieb zu verbessern, sollte zuerst bei der Arbeitszeit angesetzt werden, denn durch die Erhöhung von Ein- zu Zwei- oder Dreischichtbetrieben ergeben sich – eine gute Auftragslage vorausgesetzt – erhebliche Energieeffizienzverbesserungen. Der Thema „Flexibilisierung der Arbeitszeit“ wurde schon in den 90er Jahren im Deutschen Gießereiverband in eigenen Arbeitskreisen bearbeitet. Der nächste Schritt zum Thema „energieeffiziente Arbeitszeiten“ in der Gießerei-Industrie wurde dann in den Jahren 2011 und 2012 auf Fachtagungen innerhalb der Branche diskutiert. Aus kostenrechnerischer Perspektive haben Aufwendungen für das Personal heute in weiten Bereichen den Charakter von Fixkosten, weshalb sie (allein) abhängig von der Zeit sind. Während der Produktionszeiten - inklusive der Pausen – laufen energieintensive Prozesse und Aggregate wie Warmhalten der Schmelze, Warmhalten der Pfannen, Entstaubungen, Hallenbelüftungen, Kompressoren und Hydraulikaggregate. Durch Minimierung der Pausenzeiten im Schmelzbetrieb und an Formanlage, z. B. durch flexible Pausenzeiten, flexibles Personal (Springer aus mehreren Abtei-

lungen, z. B. die eine Woche im Schmelzbetrieb und die andere Woche in der Putzerei) oder intelligente Produktionsplanung (z. B. kernlose Sortimente) kann die Energieeffizienz erhöht werden. Weitere Überlegungen gingen sogar dahin, dass die Wochenarbeitszeit an einen energieeffizienten Gießereibetrieb angepasst werden müssen. So könnte das Zweischichtmodell an vier Tagen mit neun Stunden ausgerichtet werden anstatt an fünf Tagen mit sieben Stunden. Auch die Eliminierung von Leerschichten z. B. bei 10 Schichten lieber 3 mal 3 Schichten plus 1 Schicht anstatt 5 mal 2 Schichten. Diese theoretischen Überlegungen werden jedoch durch die tariflichen Vorschriften eingeengt [Deutscher Gießereiverband 2007].

In diesem Zusammenhang von großer Bedeutung für die Flexibilität der Gießereiproduktion sind in Deutschland soziale Kriterien, wie z. B. flexible Arbeitszeitgestaltung oder Schichtmodelle. Genaue Details der Beschäftigung von Arbeitsnehmern werden in Arbeitsverträgen geregelt, die sich in den meisten Gießereien an den einschlägigen Bestimmungen des Manteltarifvertrags der Metall- und Elektroindustrie orientieren. Grundsätzlich steht der Arbeitszeitplanung ein Arbeitszeitkorridor zwischen 30 und 40 Wochenstunden zur Verfügung, wobei die tarifliche Regelarbeitszeit 35 Wochenstunden beträgt. Durch Vereinbarung mit dem Arbeitnehmer kann sie für höchstens 18 Prozent der Beschäftigten auf bis zu 40 Stunden erhöht werden. Eine Absenkung der Arbeitszeit auf bis zu 30 Wochenstunden kann durch Betriebsvereinbarung für alle Beschäftigten oder auch nur für Betriebsteile erfolgen. Der Samstag ist nach dem Tarifvertrag ein regulärer Arbeitstag. Darüber hinaus ist Sonntagsarbeit im Rahmen der gesetzlichen Bestimmungen möglich. Falls die vereinbarte wöchentliche Arbeitszeit nicht erreicht wird, kann diese über einen Zeitraum von bis zu 16 Monaten ausgeglichen werden. Bei allen Entscheidungen in Bezug auf die Arbeitszeit ist der Betriebsrat mitbestimmungspflichtig.

Theoretische Überlegungen an die Anpassung der Arbeitszeit an das volatile Angebot von regenerativer Stromerzeugung durch Wind und Sonne müssen diese gegenwärtigen, tariflichen Vorschriften miteinbeziehen. Nach Rückfrage bei Gewerkschaftsvertretern ist es aber durchaus zukünftig denkbar, dass der Gießereibetrieb bzw. die Arbeitszeit mehr an die Stromerzeugung ausgerichtet werden kann. Aktuelle Positionspapiere der Arbeitnehmervertreter sehen grundsätzlich den Ausbau erneuerbarer Energien positiv, da dieser neue Arbeitsplätze in der Industrie schafft und sichert [Deutscher Gewerkschaftsbund 2013]. Konsequenzen, die aus dem volatilen Stromangebot für Unternehmen ergeben, werden gegenwärtig jedoch noch nicht thematisiert.

Von sehr großer Bedeutung für die Flexibilität der Gießereiproduktion sind in Deutschland soziale Kriterien, wie flexible Arbeitszeitgestaltung, Schichtmodelle etc.

Heute bereits eher in Kleinbetrieben genutzte Möglichkeiten sind hochflexibel ausgebildetes Personal - heute Schmelzer und morgen Putzer.

Derartige Job-Rotationen können in Gießereien zu erhöhter Flexibilität führen: in Zeiten zur Verfügung stehender EE werden bevorzugt energieintensive Gießereiprozesse, wie Schmelzen/Gießen oder Wärmebehandlung durchgeführt, und in Zeiten geringer zur Verfügung stehender EE werden andere Prozesse, wie Formen oder Gussnachbehandlung durchgeführt.

Auch bei den anderen Arten der zeitlichen Flexibilität in Gießereien kommt den Beschäftigten eine entscheidende Bedeutung zu.

Die Flexibilität, persönlich mitzumachen, setzt allerdings voraus, dass zuvor bei den Beschäftigten eine entsprechend große Bereitschaft hierfür durch Aufklärungs- und Überzeugungsarbeit erreicht worden ist.

Es ist davon auszugehen, dass in den meisten Gießereien viel Überzeugungsarbeit bei den Beschäftigten über längere Zeit zu leisten notwendig ist. Ganz wichtig wird sein, dass diese Überzeugungsarbeit nicht nur auf betrieblicher Ebene stattfindet. Es muss ein gesellschaftlicher Prozess ablaufen,

in dem alle gesellschaftlichen Gruppen Konsens zeigen, dass vor dem Hintergrund des Klimaschutzes der Einsatz von EE breit unterstützt werden muss.

In der Gießereiindustrie hat u. a. die Gewerkschaft IG Metall eine wichtige Rolle in diesem gesellschaftlichen Prozess.

Bei den Modell-Gießereien, für die in dieser Ausarbeitung das EE Potential dargestellt wird, wird auch auf die jeweilige mögliche Flexibilität der Produktion eingegangen.

8.3.3 Einfluss von erhöhter zeitlicher Flexibilität auf die Wirtschaftlichkeit einer Gießerei mit durchschnittlicher Größe

Die Modellgießerei, für die die folgenden Betrachtungen angestellt werden, hat eine für die deutsche Gießereiindustrie durchschnittliche Größe:

- Anzahl an Beschäftigten: 150
- Umsatz: 25 Mio. €
- Umsatzrendite: 4 Prozent

In den zwei vorangegangenen Kapiteln ist bereits ausgeführt worden, dass es bestimmte Voraussetzungen geben muss, damit sich eine Gießerei mit ihrem Produktionsablauf an die zeitliche Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie anpassen kann. Im folgenden Modellfall wird darum von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

- 1- bis 3- Schichtbetrieb ist zumindest für Teile der Belegschaft möglich (also kein kontinuierlicher 3-Schichtbetrieb), d.h. auch, dass die Beschäftigten bereit sind zu einer flexiblen Arbeitszeit;
- Teile der Belegschaft sind bereit und qualifiziert, verschiedene Tätigkeiten auszuführen, wie das Herstellen von Kernen und Formen sowie von Schmelzen und Gießen;
- die Fertigungstechnik gestattet die Lagerung von Zwischenprodukten, wie chemisch gebundene Sandkerne oder chemisch gebundene Formen;
- das Betriebsgelände lässt den Bau einer zusätzlichen Lagerhalle zu oder ein – ggfls. nach Umbau - nutzbares Gebäude ist vorhanden.

Hinsichtlich der Kosten wirkt sich die zeitliche Flexibilität aus auf die Personalkosten und die Investitionen und Betriebskosten, die sich durch die Bereitstellung und Nutzung einer zusätzlichen Lagerhalle ergeben.

Zu den Veränderungen bei den Personalkosten werden folgende Basisdaten verwendet:

Die tariflich vereinbarten Lohn-Zuschläge sind je nach Tarifgebiet, Uhrzeit etc. verschieden – als Werte für die Modellrechnung werden angenommen: Mehrarbeit: 30%, Schichtarbeit: 20%, Nachtarbeit: 40%. Dies ergibt als Durchschnittswert einen Wert von 30% für die Lohn-Zuschläge, die mit einer Flexibilität der Arbeitszeit - soweit diese von der Arbeitszeitregelung abweicht – verbunden sind.

Die zeitliche Anpassung der Fertigung an die erhöhte Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie betrifft insbesondere die Beschäftigten in den energieintensiveren Arbeitsbereichen, wie Schmelzbetrieb, Wärmebehandlung; Sandregenerierung.

Bei einer nicht möglichen zeitlichen Entkoppelung in der Fertigungskette, wie zwischen Schmelzbetrieb und Nassguss-Formanlage, werden die Beschäftigten in anderen, möglicherweise auch weniger energieintensiven Arbeitsbereichen, zwangsläufig einbezogen.

Andere Fertigungsbereiche, wie Arbeitsvorbereitung, Modellbau, sind weniger eng mit der Fertigung in den energieintensiven Bereichen verschränkt.

Nimmt man in der Modellrechnung an, dass 20% der geleisteten Arbeitsstunden außerhalb der geregelten Arbeitszeit geleistet werden, um zur Verfügung stehende erneuerbare Energie einzusetzen, so kann dies eine Erhöhung der Personalkosten um 10% verursachen.

Die statistischen betriebswirtschaftlichen Daten von Eisen-, Stahl- und Nichteisenmetallgießereien des Bundesverbandes der deutschen Gießereiindustrie beziffern die in der Branche durchschnittlichen Personalkosten mit 50% an den Fertigungskosten.

Die im Vorangegangenen dargestellten Veränderungen bei den Personalkosten durch verstärkte Anpassungen an die Verfügbarkeit von erneuerbarer Energie führen demnach zu einer Erhöhung der Fertigungskosten von 5%.

Die Lagerung von Teilen, wie Gussstücken oder chemisch gebundenen Formteilen, ist mit kalkulatorischen Kosten, z. B. Opportunitätskosten durch entgangene Zinsen, aber auch mit Raum- und Energie-/Heizkosten – sofern beheizt, Transportkosten, Abschreibungen sowie Personal-, Sach- und Instandhaltungs- sowie Reparaturkosten verbunden. Hierzu gibt es Berechnungen, beispielsweise für Modelllager.

In Zeiten hoher Leitzinsen war die Bestrebung, dass Lagerzeiten möglichst gering gehalten werden, da ansonsten hohe kalkulatorische Zinsen anfallen würden. In der aktuellen Niedrigzinsphase ist das Gegenteil der Fall: Ein Rückgang der Zinsen kommt einem Rückgang der Opportunitätskosten der Lagerhaltung gleich. Somit wird gegenwärtig die Zwischenlagerung von Gussteilen in Gießereien begünstigt. Um in Zukunft aufgrund volatiler Stromerzeugung aus Windkraft- und Photovoltaikanlagen eine flexible Gussproduktion zu ermöglichen, müssen Zwischenlager geschaffen werden, damit auch weiterhin eine Just-in-Time-Abnahme der Gusssteile ermöglicht ist. Dies widerspricht eigentlich dem Just-in-Time-Konzept, welches ein Produkt ohne Verschwendung von Zeit, Material, Arbeitskraft und Energie entsprechend den gewünschten Vorgaben von Kunden zur Verfügung stellen möchte.

Die Kosten eines Modelllagers können durchaus etwa 3 Prozent der Selbstkosten betragen.

Bei kleineren Gussteilen ist die Lagerung in Hochregalen möglich, wohingegen bei schweren Gussstücken eine ebenerdige Lagerung nötig ist. Durch ebenerdige Lagerung steigen der Lagerbedarf, die dafür benötigte Lagerfläche und damit folglich auch die benötigten Hallenausmaße.

Die Gesamtkosten für ein Lager, beispielsweise für Modelle oder Gussteile, liefern die Kosten- und Leistungsvergleiche der Fachberatung im Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie: Dort lassen sich ungefähr 5 €/m^2*Monat für ein beheiztes Gebäude veranschlagen, wenn dieses durchschnittlich 20 Jahre genutzt wird. Daraus ergeben sich Gesamtkosten für ein zusätzliches Lager von 1.000m^2 von etwa 1.200.000 € über die gesamte Nutzungsdauer; demnach 60.000 €/a.

Je nach Art eines vorhandenen Gebäudes, wie Alter, Zustand und Ausstattung, können die zu veranschlagenden Kosten unterschiedlich sein: durchschnittlich fallen in Kundengießereien bei Bestandsgebäuden Kosten an von etwa 80 €/a*m^2 für die ebenerdige Lagerung, bei Hochregallagern von etwa 30 €/a*m^3; die jährlichen Kosten für eine zusätzliche Lagerfläche von 1.000m^2 belaufen sich demnach auf bis 30.000 bis 80.000€.

Die zusätzliche zeitliche Flexibilität (verbunden mit erhöhten Personalkosten) und zusätzliche Lagerkapazität für eine mittelgroße Gießerei in Deutschland zur verstärkten Nutzung von erneuerbarer Energie erhöht in der Modellrechnung die Gesamtkosten um ungefähr 5 Prozent. Dadurch würde in dieser Durchschnittsgießerei die Umsatzrendite von 4 Prozent übertroffen.

Inwieweit diese Flexibilität zu einer verstärkten Nutzung von erneuerbarer Energie und zu etwaigen hierdurch verursachten niedrigeren Energiekosten führen kann, hängt von den zukünftigen, an der zeitlichen Nachfrage bestimmten Konditionen für Energie ab.

9 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Einsatzes erneuerbarer Energien in der Gießereiindustrie

Für eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Einsatzes erneuerbarer Energien in der Gießereiindustrie ist es zunächst erforderlich, die Kosten der derzeit eingesetzten, fossilen Energieträger sowie der potenziell einsetzbaren erneuerbaren Energieträger zu bestimmen und miteinander zu vergleichen (Kap. 9.1 und 9.2). Aus der Differenz der jeweiligen Preise lassen sich die Mehrkosten einer Substitution fossiler durch erneuerbare Energieträger berechnen (Kap. 9.1.3). Aus den Ausführungen in Kapitel 6 zu den identifizierten Modellgießereien wurde deutlich, dass die derzeit vornehmlich eingesetzten Energieträger Strom und Erdgas sind. Dies ist auch aus Tabelle 49 zu ersehen.

Tabelle 49: Jahresenergieverbrauchsmengen der sechs Modellgießereien (MG) und jeweiliger Anteil, der durch Strom & Gas bereitgestellt wird (M: Messing)

Verbrauchsmenge	MG 1	MG 2M	MG 3	MG 4	MG 5	MG 6
Strom [GWh/a]	102,5	4,65	10,0	18,6	120,75	13,2
Gas [GWh/a]	25,0	19,5	0,9	6,2	75,75	13,2
Energie gesamt [GWh/a]	292,5	24,45	11,2	25,1	199,5	27,0
Anteil Energie durch Strom [%]	35,04	19,02	89,29	74,10	60,53	48,89
Anteil Energie durch Gas [%]	8,55	79,76	8,04	24,70	37,97	48,89
Anteil Energie durch Gas & Strom [%]	**43,59**	**98,78**	**97,32**	**98,81**	**98,50**	**97,78**

Aus der Tabelle geht hervor, dass mit Ausnahme der Modellgießerei 1 (Eisengießerei mit Serienfertigung) der Energiebedarf der Gießereien mit rund 97 %-99 % fast ausschließlich durch Strom und Erdgas gedeckt wird. Vor diesem Hintergrund wurde die nachfolgend beschriebene Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den Einsatz erneuerbarer Energien in der deutschen Gießereiindustrie für diese beiden Energieträger durchgeführt. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgte dabei ferner einmal für die Gegenwart und einmal für die Zukunft, genauer gesagt für das Jahr 2030 bzw. 2050. Bei der Gegenwartsbetrachtung wurde weiterhin einmal der Fall des Zukaufs (Kap. 9.1.3.1 - 9.1.3.2) und einmal der Fall der Eigenerzeugung (Kap.9.1.3) betrachtet.

9.1 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Einsatzes erneuerbarer Energien in der Gegenwart

Ziel des vorliegenden Kapitels ist es, zu untersuchen, inwieweit es zum heutigen Zeitpunktwirtschaftlich sinnvoll ist, erneuerbare Energien zur Energiebereitstellung im Gießereiprozess einzusetzen.

9.1.1 Strom

Im nachfolgenden Kapitel 9.1.1 wird erläutert, wie viel industrielle Verbraucher in Abhängigkeit ihrer jeweiligen Verbrauchsmenge für die Kilowattstunde Strom aus konventionellem Strommix bezahlen müssen, und wie sich der Strompreis im Einzelnen zusammensetzt. Im anschließenden Kapitel werden der aktuelle Preis für die Kilowattstunde Ökostrom für industrielle Verbraucher sowie Kriterien für Ökostrom und die aktuelle Marktsituation dargestellt.

9.1.1.1 Aktuelle Preise für konventionellen Strommix für industrielle Verbraucher

Der Strompreis setzt sich neben dem Erzeugerpreis und den Netzentgelten aus einer Reihe von Steuern und Abgaben (Stromsteuer, EEG-Umlage, KWK-Aufschlag, §19 StromNEV-Umlage, Konzessionsabgabe und Mehrwertsteuer) zusammen, die 45,2 % des Strompreises für private Haushalte aus-

machen. Energieintensive Industrieunternehmen können je nach ihrer Stromintensität den Vorteil genießen, von einem Teil dieser Steuern und Abgaben befreit zu werden. Nach Erhebungen des Bundesverbands der Deutschen Gießerei-Industrie (BDG) haben die Energiekosten von Eisengießereien (Modellgießerei 1 und 3) durchschnittlich einen Anteil von neun Prozent an den Gesamtkosten der Gießerei. Bei Stahl- (Modellgießerei 4), Leichtmetall- (Modellgießerei 5 und 6) und Buntmetallgießereien (Modellgießerei 2) liegen die Energiekosten bei ungefähr sechs, fünf und vier Prozent. Entscheidender Kostentreiber bei den Energie- und Stromkosten war in den vergangenen Jahren die EEG-Umlage, weil diese von 2,047 Cent im Jahr 2010 auf 3,592, 5,277 und 6,24 Cent pro Kilowattstunde in den Jahren 2012 bis 2014 stieg. Diese Erhöhung der Umlage traf viele Gießereien vollständig, da von den etwa 600 Gießereien in Deutschland nur knapp 120 Gießereien die besondere Ausgleichsregelung für stromintensive Unternehmen in Anspruch nehmen konnten. Die entscheidende Besonderheit der Gießerei-Industrie liegt darin, dass sie nicht nur energie-, sondern auch beschäftigungsintensiv ist. Stromintensität wird an der Bruttowertschöpfung festgemacht. Da der wesentliche Bestandteil der Bruttowertschöpfung aber häufig aus Lohnkosten besteht, erreichen viele Gießereien die geforderten 14 Prozent im Verhältnis von Stromkosten zu Bruttowertschöpfung nicht. Damit liegt diese Steigerung der EEG-Umlage bei einer Durchschnittsgießerei genau im Bereich der durchschnittlichen Umsatzrendite, welche zwischen zwei und drei Prozent liegt. Die Gießerei-Industrie stellt daher die erneuerte Erhöhung der EEG-Umlage um 47 Prozent Anfang 2013 vor entscheidende Herausforderungen, da diese höheren Strompreise häufig nicht an die Kunden weitergegeben werden können. Weitere Kostensteigerungen durch den Bezug von Ökostrom und Biomethan stehen daher Gießereien abwehrend gegenüber, da dieses Vorgehen ebenfalls von den Gussabnehmern nicht honoriert werden würde. Der Strompreis lag für die Industrie für einen Jahresverbrauch von 160 bis 20.000 MWh im Jahr 2012 bei 14,02 ct/kWh. Bei einem Jahresstromverbrauch von 70 bis 150 GWh mussten Industrieunternehmen im selben Jahr dagegen nur 9,31 ct/kWh zahlen [BDEW 2012]. Nach Erhebungen des BDG zahlten die Gießereien in 2012 durchschnittlich einen Strompreis von 13,70 ct/kWh.

Tabelle 50 zeigt die verschiedenen Steuern, Abgaben und Entgelte, welche im Strombezugspreis enthalten sind.

Steuer/Abgabe/Entgelte	ct/kWh
EEG-Umlage	6,24
Offshore-Umlage	≤ 1GWh: 0,25 > 1GWh: 0,05
§19 StromNEV-Umlage	≤ 100.000 kWh: 0,329 > 100.000 kWh: 0,05
KWK-Aufschlag	≤ 100.000 kWh: 0,126 > 100.000 kWh: 0,06
Stromsteuer	1,54 (75% des Regelsteuersatzes)
Konzessionsabgabe	0,11
Netzentgelte	ca. 0,2

Steuern, Abgaben und Entgelte beim Strompreis [BDEW 2012; Auskunft von naturstrom AG]

9.1.1.2 Ökostrom

Marktsituation

In den vergangenen Jahren ist der Markt für Ökostrom beständig angewachsen und gleichzeitig in zunehmendem Maße unübersichtlich geworden. Selbst bzgl. der Anzahl der mittlerweile auf dem deutschen Markt vertretenen Ökostromanbieter finden sich unterschiedliche Angaben, laut test [2012] gibt es 730 Anbieter.

Allerdings bestehen zwischen den angebotenen Ökostromprodukten mitunter große Unterschiede. So gilt es zunächst zwischen reinen Ökostromlieferanten und speziellen Ökostromtarifen konventioneller Stromanbieter zu unterscheiden. Viele der großen, herkömmlichen Stromversorger wie RWE, E.ON oder Vattenfall bieten neben den konventionellen Stromprodukten auch einen oder mehrere sog. Ökostromtarife an, welche sie oftmals unter dem Namen von Tochterunternehmen vermarkten. Dagegen sind Naturstrom, Greenpeace Energy, Lichtblick, EWS Schönau sowie die Polarstern GmbH unabhängige Ökostromanbieter, die eigentumsrechtlich nicht mit konventionellen Energieversorgern verflochten sind.

Ökostrom gleich Ökostrom?

Als Ökostrom oder „grüner Strom" wird allgemeinhin elektrische Energie bezeichnet, welche aus erneuerbaren Energiequellen wie z.B. Wind-, Solar- oder Wasserkraft gewonnen wird. Allerdings ist Ökostrom kein geschützter und fest definierter Begriff, weswegen er unterschiedlich ausgelegt und verwendet wird. Bei der Auswahl des Ökostromanbieters sollten daher folgende fünf Punkte beachtet werden, um den größtmöglichen ökologischen Nutzen sicherzustellen.

1. *Der Strom sollte wirklich aus regenativen Energiequellen stammen*

KWK und BHKWs sind nicht hierzu zu zählen. Darüber hinaus sollte darauf geachtet werden, dass der Ökostrom auf ökologisch vertretbare Weise hergestellt wird, um eventuelle negative Umweltauswirkungen wie sie z.B. Mega-Staudämme mit sich bringen, zu vermeiden.

2. *Der Strom sollte von einem unabhängigen Ökostromanbieter bezogen werden*

Die Entwicklung, dass immer häufiger große Energiekonzerne, welche Strom auf konventionelle Art erzeugen, über Tochterunternehmen Ökostrom anbieten oder auch produzieren, wird unterschiedlich bewertet. Während Kritikern zufolge ein umweltbewusster Verbraucher nicht auf diese Weise Atom- oder Kohlekraftwerke mitfinanzieren sollte, ist es andererseits nicht von der Hand zu weisen, dass die großen Energieversorger mittlerweile zu den größten Investoren in Ökostrom gehören. Zu den unabhängigen Ökostromanbietern zählen naturstrom, Lichtblick, EWS Schönau, Greenpeace Energy oder auch die polarstern GmbH.

3. *Der Ankauf von Zertifikaten darf nicht zur Umetikettierung konventionellen Stroms in Ökostrom verwendet werden*

Das Renewable Energy Certificate System (RECS) sowie das European Certificate System (EECS) sind Zertifizierungssysteme zum Herkunftsnachweis für Strom aus erneuerbaren Energien und ermöglichen den Handel mit Ökostrom in Europa. Dabei bekommen Betreiber Erneuerbarer-Energien-Kraftwerke pro erzeugter Megawattstunde Strom ein RECS-bzw. EECS-Zertifikat erteilt, welches getrennt von der physischen Stromlieferung vermarktet werden kann. Durch den Zukauf solcher Zertifikate kann ein Stromversorger seinen Kunden Ökostrom anbieten, obwohl er physikalisch nur nuklearen oder fossilen Strom produziert und liefert. Somit garantieren RECS- oder EECS-Zertifikate keine Stromlieferung aus erneuerbaren Energieträgern, sondern weisen lediglich die Erzeugung der der Zertifikate entsprechenden Ökostrommenge nach. Der wesentliche Unterschied zwischen RECS- und EECS-Zertifikaten ist rechtlicher Natur. Während das RECS-System von Marktteilnehmern auf freiwilliger Basis entstanden ist, beruht das EECS-System auf der EU-Richtlinie 2001/77/EG bzw. 2009/28/EG sowie den entsprechenden nationalen Gesetzgebungen.

4. *Ein Teil des Gewinns sollte vom Ökostromanbieter in den Ausbau der erneuerbaren Energien fließen*

Ein guter Ökostromanbieter sollte zumindest einen Teil des Gewinns in den Bau neuer Ökokraftwerke investieren, da nur wenn neue Erzeugungsanlagen, die mit erneuerbaren Energien betrieben werden, zugebaut werden, langfristig konventionelle Kraftwerke ersetzt werden.

5. *Der Ökostromanbieter sollte – sofern möglich – eine zeitgleiche Einspeisung anstreben*

Bei zeitgleicher Versorgung speist der Versorger zu jedem Zeitpunkt die Strommenge ein, die von den Kunden gerade gebraucht wird, wohingegen bei einer mengengleichen Versorgung über das Jahr verteilt die Menge Ökostrom ins Netz eingespeist wird, die der Kunde im Jahr verbraucht. Dadurch wird der Kunde bei der mengengleichen Einspeisung in Spitzenzeiten mitunter mit Strom von unbekannter Herkunft beliefert.

Daneben kann das „Herkunftsnachweisregister für Ökostrom" (HKNR), welches beim Umweltbundesamt seinen Betrieb aufgenommen hat und fortan die Vermarktung von Ökostrom überwachen wird, einen weiteren Anhaltspunkt für die Auswahl des richtigen Ökostromanbieters darstellen. Erzeuger von Strom aus erneuerbaren Energien müssen sich und ihre Anlagen beim HKNR registrieren, sofern sie ihren Strom direkt und mit Herkunftsnachweisen vermarkten wollen und dafür auf fixe Vergütungen oder Marktprämien nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz verzichten. Der Herkunftsnachweis für Ökostrom ist zwar kein Gütesiegel, zumindest aber kann auf diese Weise eine Doppelvermarktung zuverlässig ausgeschlossen werden.

Eine Aussage darüber, inwieweit das Ökostromprodukt eines Anbieters die o.g. Aspekte erfüllt, kann mithilfe von Ökostromlabeln wie dem Grüner Strom Label, dem OK-Power-Label oder den Labels der Technischen Überwachungsvereine (TÜV Nord und TÜV Süd) getroffen werden, wobei das Grüner Strom Label die strengsten Kriterien aufweist.

Ökostrompreisgestaltung

Die Strompreise für Großverbraucher gestalten sich sehr intransparent, da sie stets individuell auf bilateraler Ebene zwischen Anbieter und Großkunden verhandelt werden. Liegt der Jahresstromverbrauch oberhalb von 100.000 kWh, so sind die Ökostrompreise nicht mehr den Webseiten der Anbieter zu entnehmen. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden daher zehn verschiedene Ökostromanbieter kontaktiert und nach den Strompreisen bei einem Jahresstromverbrauch von 10 bzw. 60 GWh (typischer Verbrauch eines kleineren bzw. größeren Gießereibetriebes) und kontinuierlicher Stromabnahme im Ein- bzw. Dreischichtbetrieb gefragt. Der Ort der Abnahmestelle wurde auf Nordrhein-Westfalen und Baden-Württemberg begrenzt, da dort mit die meisten Gießereibetriebe in Deutschland zu finden sind. Auch auf die telefonische Anfrage hin hielt sich die Mehrzahl der Stromanbieter bedeckt und lehnte die Nennung eines Strompreises ab, meist mit der Begründung, dass dies zu sensible, preispolitische Daten wären. Die Anbieter LichtBlick und Eprimo gaben an, dass sie Kunden nur bis zu einem max. Stromverbrauch von 3 GWh/a bzw. 99.000 kWh/a mit Ökostrom beliefern können. Der Anbieter Entega, Tochterfirma der Stadtwerke Mainz und der Südhessischen Energie AG, benannte nicht direkt den Ökostrompreis, jedoch den Ökostrompreisaufschlag bei einer Zertifizierung nach OK-Power Label (1,60 €/MWh), RECS-Zertifikaten (0,60 €/MWh) sowie für Ökostrom aus deutscher Wasserkraft (2,0 €/MWh).

Allein die Naturstrom AG lieferte eine Preisindikation für 2014 auf die o.g. Anfrage. Danach würde die kWh Ökostrom, zertifiziert nach dem Grüner Strom Label, einem Dreischichtbetrieb 5,29 ct/kWh kosten und einen Einschichtbetrieb 5,66 Ct (jeweils zzgl. aller Entgelte, Steuern und Abgaben). Würde der Einschichtbetrieb seinen Betrieb auf die sog. Off-peak-Zeiten[2] verlagern, wäre ein Strombezugspreis von 4,85 ct/kWh möglich. Erfolgt die Stromabnahme des Gießereibetriebs aufgrund einer teilweisen Eigenversorgung unregelmäßig, wäre mit einem Aufschlag auf die genannten Strompreise von etwa 0,2-0,5 ct/kWh zu rechnen. Ferner lieferte die naturstrom AG die Information, dass die Kilowattstunde Ökostrom zertifiziert nach dem Grüner Strom Label im Mittel 0,6 ct/kWh teurer ist als die Kilowattstunde Strom aus konventionellem Strommix.

Die nachfolgende **Tabelle 51** stellt die Ergebnisse dieser Befragung sowie eine Bewertung der angebotenen Ökostromprodukte dar.

[2] Off-peak-Zeiten sind werktags zw. 20.00-8.00 Uhr sowie am Wochenende und an Feiertagen ganztags

Tabelle 51: Ergebnisse der Befragung und Bewertung der Ökostromanbieter

Anbieter	Unabhängig	Zertifikate erlaubt?	Zertifiziert?	Zubau-förderung?	Preis pro kWh
naturstrom ENERGIE MIT ZUKUNF	ja	nein	Grüner-Strom-Label	Ja, 1ct/kWh	Preis zzgl. Aller Entgelte, Steuern, Abgaben: Einschichtbetrieb 5,66ct/kWh Dreischichtbetrieb 5,29ct/kWh **Preisaufschlag bei Grüner Strom Label 0,6 ct/kWh**
GREENPEACE ENERGY Energie-Genossenschaft aus Überzeugung.	ja	nein	TÜV Nord	Ja	Keine Preisauskunft möglich aufgrund. Pers. Engpasses bis Mai
LichtBlick die Zukunft der Energie	ja	ja	TÜV und OK Power Label	Durch OK-Power-Label garantiert	LichtBlick beliefert Kunden nur bis zu einem max. Verbrauch von 3GWh/a
EWS ElektrizitätsWerke Schönau	ja	ja	TÜV Nord	Ja, 0,5ct/kWh	Keine Preisauskunft möglich; zu sensible Daten
Polarstern GmbH	ja	nein	TÜV Nord und OK Power Label	Durch OK-Power-Label garantiert	Trotz mehrmaliger Kontaktaufnahme keine Rückantwort
Clean Energy Sourcing	ja	nein	TÜV Rheinland	Nein	Geben keinerlei Auskunft auf allg. Anfrage
entega	nein, Tochter der Stadtwerke Mainz & der Südhessischen Energie AG	ja	OK-Power-Label TÜV Hessen	Durch OK-Power-Label garantiert	Nennung des Ökostrompreisaufschlags bei OK –Power 1,6€/MWh RECS 0,6€/MWh Dt. Wasserkraft .2,0€/MWh
Lekker Energie	Nein, gehört zur ENERVIE-Gruppe	ja	TÜV Nord bzw. OK-Power-Label für Tarif „geniaale Strom“	Bedingt, hängt von gewähltem Stromtarif ab, s.links	Trotz mehrmaliger Kontaktaufnahme keine Rückantwort
Eprimo	Nein, 100%ige Tochter von RWE	nein	TÜV Süd CMS Standard 83	Nein, nicht garantiert	Eprimo beliefert Kunden nur bis zu einem max. Verbrauch von 99.000kWh/a
Stadtwerke München	Nein, SWM	ja	TÜV Süd Standard EE02 (für Tarif „M-Ökostrom aktiv“)	Ja, 1,53ct/kWh	Keine Preisauskunft möglich; zu sensible Daten

Angesichts der volatilen Strompreisentwicklung wurden für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die Preisaufschläge für Ökostrom als Grundlage für die Berechnung der Mehrkosten herangezogen. Die-

ses Vorgehen wurde sowohl von den Stromanbietern als auch internen Ecofys-Strommarkt-Experten für sinnvoll befunden.

9.1.2 Gas

In den folgenden zwei Kapiteln wird erläutert, wie sich die Preise von Erdgas und Biomethan für industrielle Verbraucher gestalten.

9.1.2.1 Erdgas

Tabelle 52 zeigt die Erdgaspreise 2012 für industrielle Verbraucher in Abhängigkeit von der bezogenen Verbrauchsmenge nach BMWi [2012].

Tabelle 52: Erdgaspreise für industrielle Verbraucher in Abhängigkeit von der Verbrauchsmenge für das Jahr 2012 [BMWi 2012]

Verbrauchsmenge Erdgas pro Jahr	ct/kWh
< 28 GWh	4,74
< 280 GWh	3,94

Nach Aussage des Instituts für Gießereitechnik (IfG) bezahlten deutsche Gießereien im Jahr 2012 durchschnittlich einen Erdgaspreis in Höhe von 4,30 ct/kWh, was ziemlich genau dem Mittelwert der in obiger Tabelle angegebenen Preise entspricht (4,34 ct/kWh). Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde entsprechend der jeweiligen Gas-Verbrauchsmengen der Modellgießereien ein Gaspreis von 3,94 ct/kWh bzw. 4,74 ct/kWh angesetzt.

9.1.2.2 Biogas

Die durchschnittlichen Gestehungskosten von Bioerdgas betragen 5,7 ct/kWh [BNetzA 2012], wobei die individuellen Gestehungskosten von Anlage zu Anlage mitunter stark variieren können (vgl. Kap. 6.5 Bioerdgas). Die Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR) beziffert die Gestehungskosten für Biomethananlagen mit einer Produktionsleistung von 500 Nm^3/h auf 7,8 – 8,4ct/kWh und für Anlagen mit einer Produktionsleistung von 2000 Nm^3/h Gestehungskosten in Höhe von 6,4 – 7,0 ct/kWh [FNR 2013].

In Deutschland gibt es 152 Anbieter von Biogas, nur 24 davon bieten jedoch 100%iges Biogas bzw. Biomethan an. Von diesen 24 bieten wiederum lediglich drei Anbieter eine bundesweite Versorgung mit Biogas an: naturstrom AG, polarstern GmbH sowie die Klimakönner GmbH. Da sich die Preise je nach Lage der Abnahmestelle unterscheiden, wurde der Preis über sechs Abnahmestellen gemittelt. Diese sechs Abnahmestellen wurden dabei aus den drei Bundesländern mit den meisten Gießereibetrieben (ausgewählt (zwei Städte pro Bundesland). Bei naturstrom und polarstern ist eine derzeitige maximale Abnahmemenge von 300.000 kWh angegeben, die Klimakönner GmbH nennt keine Beschränkung der Abnahmemenge.

Tabelle 53 zeigt die Tarife dieser drei Anbieter in der Übersicht. Die Preisabfrage erfolgte dabei für eine Abnahmemenge von 300.000 kWh. Bei der Klimakönner GmbH würde sich der Preis auch bei einer Abnahmemenge von 20 GWh (max. Gasverbrauchsmenge der sechs Modellgießereien) nicht ändern. Die naturstrom AG bietet Biomethan Unternehmenskunden mit einem Verbrauch von 40.0000 - 300.000 kWh/a zu einem Festpreis von 10,80 ct/kWh an.

Tabelle 53: Preise pro kWh Biogas (Biomethan) von verschiedenen Anbietern

Abnahmestelle	Preis in ct/kWh bei Abnahme von 300.000kWh/a		
	Klimakönner GmbH	polarstern GmbH	naturstrom AG

Abnahmestelle	Preis in ct/kWh bei Abnahme von 300.000kWh/a		
Zwickau	8,35	7,56	10,80
Dresden	8,52	8,00	
Düsseldorf	8,08	7,37	
Duisburg	8,60	8,01	
Stuttgart	8,20	8,16	
Reutlingen	7,92	7,53	
Durchschnittspreis / kWh	**8,28**	**7,77**	**10,80**

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde für Biomethan der günstigste durchschnittliche Preis in Höhe von 7,77 ct/kWh (Anbieter polarstern GmbH) angesetzt.

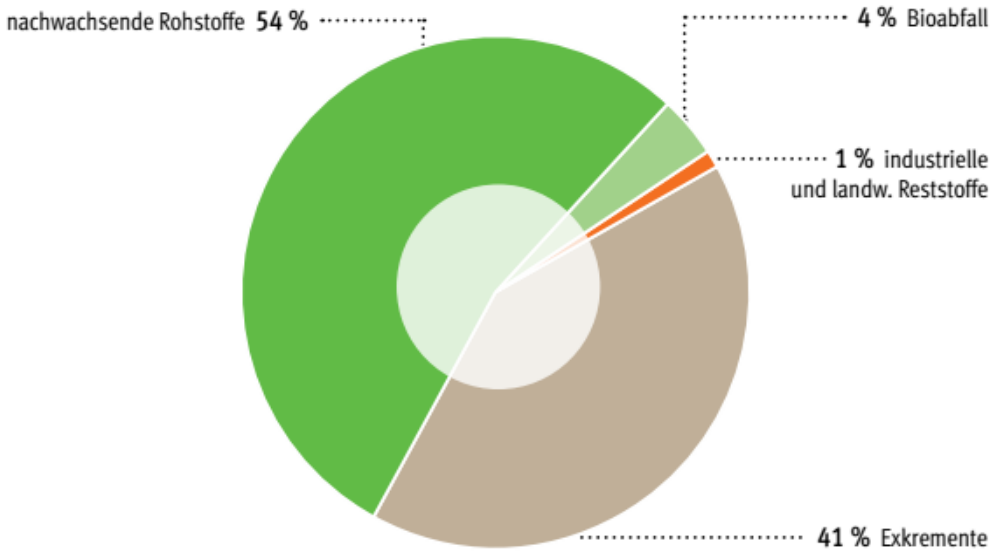
9.1.2.3 Flächenverbrauch bei vollständiger Deckung des Gasverbrauchs der deutschen Gießereiindustrie durch Biomethan

Im vorliegenden Kapitel soll veranschaulicht werden, welcher Flächenverbrauch sich ergeben würde, wenn der gesamte Gasbedarf der deutschen Gießereiindustrie durch Biomethan (auf Erdgasqualität aufbereitetes Biogas) gedeckt werden soll.

Aus Kap. 5.2 ging hervor, dass sich der Gasverbrauch der deutschen Gießereiindustrie (Eisen-, Stahl- und Tempergießereien) im Jahr 2006 auf 243,9 Mio m^3 belief, wobei davon ausgegangen werden kann, dass sich dieser Verbrauch für das Jahr 2011 nur unwesentlich geändert hat. Daher wird für die folgende Flächenverbrauchsberechnung diese Gasbedarfsmenge zugrunde gelegt.

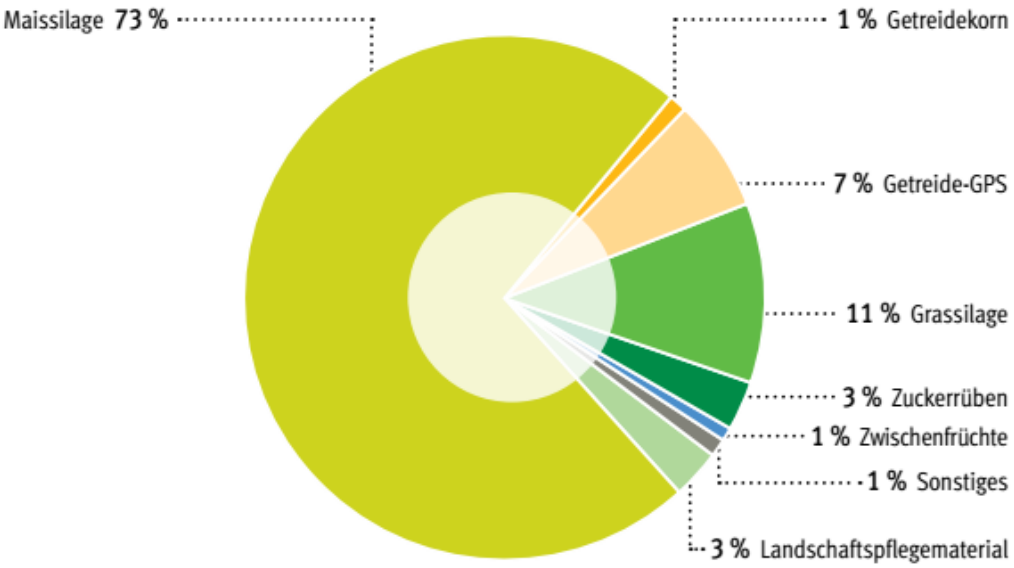
Laut der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR) schlüsselte sich der massebezogene Substrateinsatz in Biogasanlagen im Jahr 2012 wie in **Abbildung 39** graphisch dargestellt auf.

Abbildung 39: Massebezogener Substrateinsatz in Biogasanlagen 2012; Quelle [FNR 2013]



Die nachfolgende **Abbildung 40** zeigt, aus welchen Energiepflanzen sich der 54 %-Anteil an nachwachsenden Rohstoffen im Einzelnen zusammensetzte. Aus der Abbildung geht hervor, dass Maissilage, Grassilage, Getreide-GPS und Zuckerrüben einen Anteil von 94 % ausmachten. Für die Flächenverbrauchsberechnung wurde vereinfachend angenommen, dass diese vier Energiepflanzen 100 % stellten und hierzu die restlichen 6 % anteilig auf die vier verteilt.

Abbildung 40: Nachwachsende Rohstoffe in Biogasanlagen - Massebezogener Substrateinsatz 2012; Quelle [FNR 2013]



Mit den jeweiligen Methanerträgen der Energiepflanzen pro Hektar Fläche [FNR 2013] ergab sich ein Gesamtflächenverbrauch von rund 56.913 ha bzw. 569,13 km². Dies entspricht in etwa der gemeinsamen Fläche von Bremen und Frankfurt a. Main. Die nachstehende **Tabelle 54** zeigt Daten und Ergebnis der Flächenbedarfsberechnung in der Übersicht.

Tabelle 54: Daten und Ergebnis der Flächenbedarfsberechnung

Energiepflanze	Methanertrag/ha Fläche [Nm³]	Angenom. Anteil am Substrat	Deckungsanteil [Nm³]	Flächenbedarf [ha]	Flächenbedarf [km²]
Maissilage	4.664	0,76	185.364.000	39.744	397,44
Grassilage	3.105	0,12	29.268.000	9.426	94,26
Getreide-GPS	3.696	0,08	19.512.000	5.279	52,79
Zuckerrüben	3.960	0,04	9.756.000	2.464	24,64
GESAMT		1	243.900.000	**56.913**	**569,13**

9.1.3 Mehrkosten des Einsatzes erneuerbarer Energien in der Gegenwart

Wie zu Beginn des Kapitels beschrieben, werden im Rahmen der vorliegenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nachfolgend die Mehrkosten des Einsatzes erneuerbarer Energien einmal für den Fall ermittelt, dass die erneuerbare Energie zu 100% hinzugekauft wird (Kapitel 9.1.3.1), und einmal für den Fall, dass – zumindest teilweise – eine Eigenerzeugung der eingesetzten erneuerbaren Energie seitens des Gießereibetriebes erfolgt (Kap. 9.1.3.4).

9.1.3.1 Option Zukauf von EE - Datengrundlage

Für die Berechnung der Mehrkosten, die bei einer Substitution von konventionellem durch Ökostrom entstehen, sind die im Vorangegangenen genannten Preisaufschläge für Ökostrom herangezogen. Da über RECS-Zertifikate zertifizierter „Ökostrom“ unter ökologischen Aspekten nicht zu empfehlen ist und das Potenzial deutscher Wasserkraft bereits weitestgehend erschlossen ist und somit kaum noch Zubaumöglichkeiten existieren, wurden die Mehrkosten einmal bei Verwendung von nach dem Grüner Strom Label zertifizierten Ökostrom berechnet und einmal für den Bezug von nach dem OK Power Label zertifiziertem Ökostrom.

Für Biomethan wurde ein Preis von 7,77 ct/kWh angesetzt.

Für Strom aus konventionellem Mix und Erdgas wurden die vom IfG genannten, von der Gießereiindustrie durchschnittlich gezahlten Preise genommen (vgl. Kap. 9.1.1). Nur für die Modellgießereien

1 und 5 wurde der günstigere Strompreis von 9,31 ct/kWh angenommen, da dieser angesichts der hohen Stromverbrauchsmengen dieser beiden Modellgießereien eher dem Strompreis entsprechen dürfte, den ein Gießereibetrieb dieser Größe bezahlt. Aus demselben Grund wurde als weitere Ausnahme für die Modellgießerei 5 ebenfalls ein günstigerer Erdgaspreis angenommen, da nach BMWi [2012] industrielle Verbraucher mit einem Jahresgasverbrauch von >28GWh im Jahr 2012 einen Erdgaspreis von 3,94ct/kWh bezahlten.

Nachfolgende Tabelle fasst noch einmal alle Daten zusammen, auf deren Grundlage die Berechnung der Mehrkosten für die sechs Modellgießereien im Fall eines hundertprozentigen Zukaufs der benötigten Strom- bzw. Gasmenge erfolgte.

Tabelle 55: Datengrundlage zur Berechnung der Mehrkosten für den Zukaufsfall

Energieträger	Preis [ct/kWh]
Strom konventionell (Durchschnittspreis Gießereiindustrie)	13,70
Strom konventionell (für Modellgießereien 1 und 5)	9,31
Ökostrompreisaufschlag Grüner Strom Label	0,60
Ökostrompreisaufschlag OK Power Label	0,16
Erdgas (Durchschnittspreis Gießereiindustrie)	4,30
Erdgas(für Modellgießerei 5)	3,94
Biomethan	7,77

9.1.3.2 Option Zukauf EE - Darstellung der Ergebnisse und Diskussion

In **Tabelle 56** sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Fall des Zukaufs der benötigten erneuerbaren Energie (Ökostrom und Biomethan) für die sechs Modellgießereien tabellarisch dargestellt.

Aus der Tabelle geht hervor, dass den Modellgießereien 2, 3 und 4 durch einen Wechsel von konventionellem Strom zu Ökostrom je nach Zertifizierung des Ökostroms relative Mehrkosten von 4,4 % (Grüner Strom Label) bzw. 1,2 % (OK Power Label) entstehen würden. Aufgrund des niedrigeren angesetzten Preises für konventionellen Strom ergäben sich für die Modellgießereien 1 und 5 sogar relative Mehrkosten von 6,4 % (Grüner Strom Label) bzw. 1,7 % (OK Power Label). Die absoluten Mehrkosten liegen allerdings selbst bei kleineren Gießereibetrieben (Modellgießereien 2,3 und 6) im fünfstelligen Bereich und stellen somit beachtliche Mehrkosten dar. Die Ausnahme bildet die Modellgießerei 2, welcher bei Bezug von nach OK Power Label zertifiziertem Ökostrom vierstellige Mehrkosten entstehen würden

Somit ist es fraglich, ob deutsche Gießereibetriebe diese durch den Wechsel zu Ökostrom entstehenden Kosten in Kauf nehmen können bzw. würden.

Tabelle 56: Mehrkosten der Modellgießereien im Fall Zukauf Ökostrom und Biomethan (M: Messing)

Option Zukauf	Modellgießerei 1		Modellgießerei 2		Modellgießerei 3		Modellgießerei 4		Modellgießerei 5		Modellgießerei 6	
	Zukauf OKp	Zukauf GrStr	Zukauf OKp	Zukauf GrStr	Zukauf OKp	Zukauf GrStr	Zukauf OKp	Zukauf GrStr	Zukauf OKp	Zukauf GrStr	Zukauf OKp	Zukauf GrStr
Strombedarf [GWh]	102,5	102,5	4,65	4,65	10	10	18,6	18,6	120,75	120,75	13,2	13,2
Gas-Bedarf [GWh]	25	25	19,5	19,5	0,9	0,9	6,2	6,2	75,75	75,75	13,2	13,2
Strompreis konventionell [€/GWh]	93.100	93.100	137.000	137.000	137.000	137.000	137.000	137.000	93.100	93.100	137.000	137.000
Mehrkosten Ökostrom [€/GWh]	1.600	6.000	1.600	6.000	1.600	6.000	1.600	6.000	1.600	6.000	1.600	6.000
Mehrkosten Ökostrom-Bezug [€]	164.000	615.000	7.440	27.900	16.000	60.000	29.760	111.600	193.200	724.500	21.120	79.200
Preis Erdgas konventionell [€/GWh]	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	39.400	39.400	43.000	43.000
Preis Biomethan [€/GWh]	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700
Strom-Kosten konventionell [€]	9.542.750	9.542.750	637.050	637.050	1.370.000	1.370.000	2.548.200	2.548.200	11.241.825	11.241.825	1.808.400	1.808.400
Mehrkosten Ökostrom [€]	164.000	615.000	7.440	27.900	16.000	60.000	29.760	111.600	193.200	724.500	21.120	79.200
Mehrkosten Ökostrom [%]	1,7%	6,4%	1,2%	4,4%	1,2%	4,4%	1,2%	4,4%	1,7%	6,4%	1,2%	4,4%
Erdgas [€]	1.075.000	1.075.000	838.500	838.500	38.700	38.700	266.600	266.600	2.984.550	2.984.550	567.600	567.600
Mehrkosten Biomethan [€]	867.500	867.500	676.650	676.650	31.230	31.230	215.140	215.140	2.901.225	2.901.225	458.040	458.040
Mehrkosten Biomethan [%]	80,7%	80,7%	80,7%	80,7%	80,7%	80,7%	80,7%	80,7%	97,2%	97,2%	80,7%	80,7%
Summe Strom + Erdgas konv. [€]	10.617.750	10.617.750	1.475.550	1.475.550	1.408.700	1.408.700	2.814.800	2.814.800	14.226.375	14.226.375	2.376.000	2.376.000
EE-Mehrkosten [€]	1.031.500	1.482.500	684.090	704.550	47.230	91.230	244.900	326.740	3.094.425	3.625.725	479.160	537.240
EE-Mehrkosten [%]	9,7%	14,0%	46,4%	47,7%	3,4%	6,5%	8,7%	11,6%	21,8%	25,5%	20,2%	22,6%
Legende: OKp = nach OK Power Label zertifiziert; **GrStr** = nach Grüner Strom Label zertifiziert												

Aus **Tabelle 56** kann weiterhin ersehen werden, dass die Substitution von Erdgas durch Biomethan für alle Modellgießereien extreme relative Mehrkosten in Höhe von 80,7 %, für Modellgießerei 5 aufgrund des niedrigeren angesetzten Erdgaspreises sogar in Höhe von 97,2 % verursachen würde. Mit durchschnittlich 7,77 ct/kWh ist der Preis für Biomethan annähernd doppelt so hoch wie der Erdgaspreis für industrielle Verbraucher. Vor diesem Hintergrund ist eine Substitution von Erdgas durch Biomethan in deutschen Gießereibetrieben unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte gegenwärtig sehr unwahrscheinlich.

9.1.3.3 Exkurs Windenergie: Restriktionen und Einspeisevergütung

Die Gestehungskosten für Onshore-Windkraftanlagen können von einer Reihe von Faktoren wie z.B. die Ertragsleistung am jeweiligen Standort der Anlage oder auch die örtlichen Gegebenheiten (Zugänglichkeit der Anlage) beeinflusst werden und können daher mitunter von Anlage zu Anlage variieren und bewegen sich in einer Spanne von 6-11 ct/kWh (vgl. Kap. 6.1).

Der Aufstellung von Windkraftanlagen auf dem Gelände von Gießereibetrieben bzw. in der unmittelbaren Nähe dieser können verschiedene Restriktionen entgegenstehen, selbst wenn die Windverhältnisse am Wunschstandort günstig sind. Hierzu zählen neben Besitzverhältnissen bspw. die Abstandregelungen, welche den jeweiligen Mindestabstand von Windenergieanlagen zum nächstgelegenen Wohn- oder Industriegebiet, Camping- oder Sportplatz, Schutzgebiet etc. festlegen und von Bundesland zu Bundesland unterschiedlich sind. Der Mindestabstand zu reinen Wohngebieten bewegt sich in einer Bandbreite von 500-1000 m, zu Gewerbe- und Industriebebauung muss ein Mindestabstand von 20-500 m gewahrt werden. Die größten geforderten Abstände für Windkraftanlagen finden sich mit bis zu 5000 m in Sachsen und Sachsen-Anhalt für den Fall von Naturdenkmälern bzw. Kur- und Klinikgebieten [BLWE 2012].

Ist ein Bau der Windkraftanlage in unmittelbarer Nähe des Gießereistandortes möglich, sodass unter verhältnismäßigem Aufwand eine direkte Leitung von der Anlage zur Abnahme in der Gießerei gelegt werden kann, dann kann der erzeugte Strom teilweise zur Eigenversorgung genutzt werden und der überschüssige Strom könnte theoretisch in Brennstoffzellen oder über Power-to-Gas-Anlagen gespeichert werden. Angesichts der recht hohen spezifischen Kosten der Speichertechnologien ist aus ökonomischer Perspektive kurz- bis mittelfristig jedoch die Einspeisung nicht benötigten Stroms ins Netz zu empfehlen. Für die eingespeiste Menge Strom erhält der Gießereibetrieb dann eine Vergütung nach EEG.

Da diese Vergütung nicht einheitlich erfolgt, sondern von Faktoren wie der Standortqualität, dem erwirtschafteten Energieertrag der jeweiligen Anlage u.a.m. abhängt, wird im Folgenden kurz beschrieben, wie sich die Vergütung für Windenergie nach EEG gestaltet.

Vergütung von Windenergie nach dem Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)

Ins Netz eingespeister Windstrom wird nach EEG 2012 über einen Zeitraum von 20 Jahren zu festen Sätzen vergütet. Die Vergütung setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen (**Tabelle 57)**:

6. Einer erhöhten Anfangsvergütung, welche abhängig von der Standortqualität mindestens 5 Jahre lang und maximal 20 Jahre lang gezahlt wird (**Tabelle 58)**.
7. Einer Grundvergütung, die im Anschluss an die Anfangsvergütung bis zum Ende der Förderdauer von 20 Jahren gezahlt wird.
8. Einem SDL-Bonus, sofern die entsprechende Anlage Systemdienstleistungen erbringen kann.
9. Einem Repowering-Bonus, sofern Bestands-Anlagen unter bestimmten Voraussetzungen durch leistungsfähigere Anlagen ersetzt werden.

Die Vergütungssätze unterliegen dabei einer Degression von 1,5 % pro Jahr, je später die Inbetriebnahme erfolgt (§ 20 Abs. 2 EEG 2012). Kleinwindanlagen bis 50 kW Leistung erhalten eine gesonderte Vergüten, werden im Rahmen dieser Studie allerdings nicht betrachtet, da sie keine relevanten Beiträge zur Deckung des Strombedarfs von Gießereien leisten können.

Tabelle 57: Vergütung für Windstrom nach EEG 2012 (ct/kWh)

Inbetrieb-nahmejahr	Anfangsvergütung (für x Betriebs-monate s. Tab 1)	SDL-Bonus	Grundvergütung (ab dem x+1sten Betriebsmonat)	evtl. Repowering Bonus
2010	9,11	0,50	4,97	0,50
2011	9,02	0,49	4,92	0,49
2012	8,93	0,48	4,87	0,5
2013	8,80	0,47	4,80	0,49
2014	8,66	0,47	4,72	0,49
2015	8,53	0,46	4,65	0,48
2016	8,41	-	4,58	0,47
2017	8,28	-	4,52	0,46
2018	8,16	-	4,45	0,46

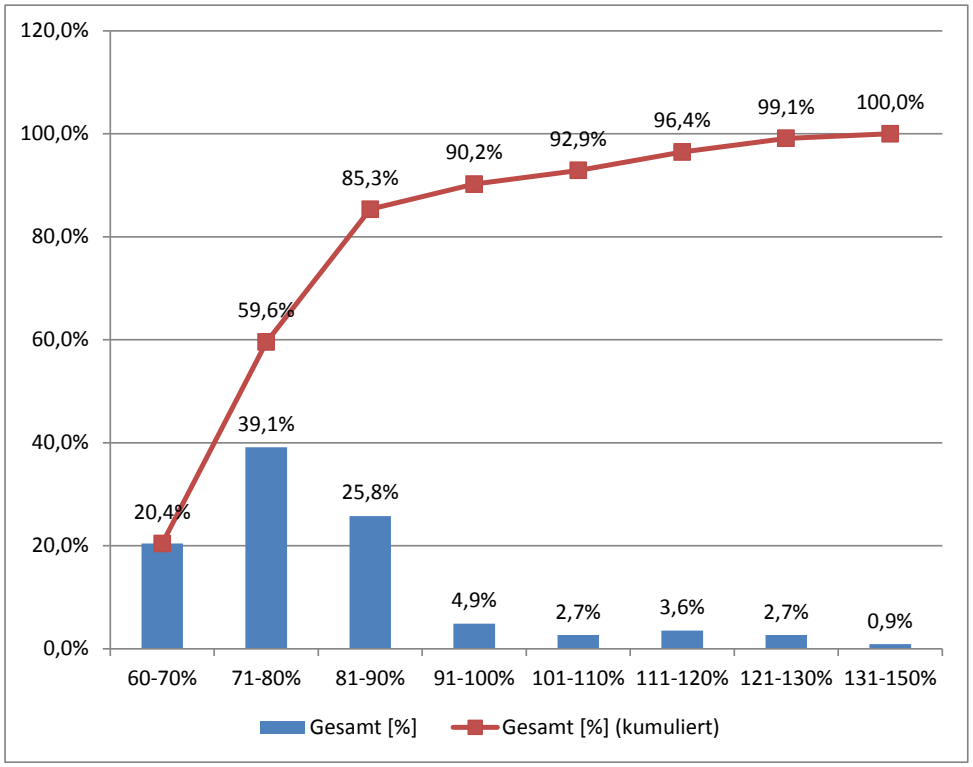
Tabelle 58: Laufzeiten der erhöhten Anfangsvergütung nach EEG 2012

Standort-Qualität	Laufzeit der erhöhten Vergütung (danach erfolgt Grundvergütung bis zum Ablauf der 20 Jahre EEG Förderung)
≥150%	5 Jahre (Mindestlaufzeit)
140%	7 Jahre + 3 Monate
130%	9 Jahre + 5 Monate
120%	11 Jahre + 8 Monate
110%	13 Jahre + 11 Monate
100%	16 Jahre + 1 Monat
90%	18 Jahre + 4 Monate
≤82,5%	20 Jahre (Maximallaufzeit)

Die Eingruppierung der Standortqualität und somit die Dauer der Anfangsvergütung hängt vom Verhältnis der am konkreten Standort erzielten Stromerträge zu einem anlagenspezifischen Referenzertrag ab. Beim Referenzertrag handelt es sich um 5-Jahresenergieerträge (in kWh), die gemäß EEG und der Technischen Richtlinie für Windenergieanlagen Teil 5 berechnet werden. Dadurch sollen sich Anlagen an unterschiedlich guten Standorten kostendeckend betreiben lassen.

Nach einer Erhebung der Deutschen WindGuard [2012] über 225 Windparkprojekte in den Jahren 2012/2013 weisen knapp 60 % der Standorte eine Qualität von ≤80 % auf und erhalten somit die Anfangsvergütung über die vollen 20 Jahre. Nur knapp 10 % der Projekte haben eine Standortqualität von mehr als 100 % und erhalten somit die Anfangsvergütung für einen Zeitraum von weniger als 16 Jahren **(Abbildung 41).**

Abbildung 41: Standortqualitäten für 225 Windparkprojekte in den Jahren 2012/2013 [Daten: Deutsche WindGuard 2012]



9.1.3.4 Option Eigenerzeugung EE - Datengrundlage

Aus den Ausführungen des Kap. 6.8 wurde der enorme Flächenbedarf deutlich, welcher zur Deckung eines nennenswerten Anteils des Strombedarfs einer deutschen Gießerei notwendig ist. Aus Kap. 6.1 bzw. 6.2 ging weiterhin hervor, dass die Gestehungskosten von Windkraft (Onshore) günstiger sind als die von PV-Strom. Daher wird bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für den Eigenerzeugungsfall EE die Eigenerzeugung von Strom aus Windkraft zugrunde gelegt.

Da für die Eigenerzeugungsoption die Standortwahl auf das nähere Umfeld der Gießereibetriebe beschränkt ist, muss von eher durchschnittlichen Standorten ausgegangen werden, welche die Anfangsvergütung von 8,8 ct/kWh (bei Inbetriebnahme in 2013) über die vollen 20 Jahre erhalten.

Für die Eigenerzeugung von Windenergie werden folgende Annahmen getroffen:

10. Es wird eine Windenergieanlage von 3 MW Leistung angenommen, da sich diese Anlagenklasse derzeit als Standard etabliert [Koenemann 2012].
11. Laut Fraunhofer ISE [2012] werden Onshore-Windenergieanlagen in Mitteleuropa bei 1300 bis 2700 Volllaststunden pro Jahr betrieben. In Deutschland liegen die Stromgestehungskosten für durchschnittliche Standorte mit 2.000 Volllaststunden im Rahmen einer Preisspanne von 6,5 bis 8,1 ct/kWh. Für die Berechnungen wird der Mittelwert von 7,3 ct/kWh für die Stromgestehungskosten angesetzt.
12. Bei einer Anlage von 3 MW Leistung und durchschnittlich 2.000 Volllaststunden ergibt sich eine mittlere Stromerzeugung von 6 GWh pro Jahr.
13. Es wird angenommen, dass der Anteil des selbst verbrauchten Stroms an der Gesamtstromerzeugung dem Anteil der Arbeitszeit an einem Gesamtjahr entspricht. Daraus ergibt sich z. B. für einen Dreischichtbetrieb und fünf Arbeitstagen pro Woche ein Anteil von 5/7 respektive 71,4 % und bei einem Zweischicht-Betrieb entsprechend zwei Drittel davon 47,6 %.

14. EEG vergütet. Dabei wird ein durchschnittlicher Standort mit einer Qualität ≤ 82,5 % angenommen, woraus sich eine Vergütung von 8,8 ct/kWh (bei Inbetriebnahme in 2013) über 20 Jahre ergibt.
15. Es wird angenommen, dass die Differenz zwischen Strombedarf und Stromeigenerzeugung der Modellgießereien durch den Zukauf von Ökostrom geschlossen wird.
16. Hierbei erfolgt die Berechnung der Mehrkosten wie bei der Option Zukauf (s. Kap.9.1.3.1) einmal für nach dem Grüner Strom Label zertifiziertem Ökostrom und einmal für nach dem OK Power Label zertifizierten Strom
17. Da aufgrund der zeitweisen Eigenversorgung mit Strom durch die eigene Windkraftanlage die Stromabnahme der Gießereibetriebe unregelmäßig wird, ist bei der Berechnung ein Preisaufschlag (0,2 – 0,5 ct/kWh) zu berücksichtigen. In der Mehrkostenberechnung wird für diesen Preisaufschlag der Mittelwert in Höhe von 0,35 ct/kWh angenommen

Die **Eigenerzeugung von Biogas** ist deutschen Gießereibetrieben nicht zu empfehlen, da Betrieb und Wartung einer Biogasanlage recht aufwendig sind. Die Betriebsführung von Biogasanlagen ist komplex und verlangt Know-how, welches außerhalb der Kernkompetenzen des Gießerei-Betriebspersonals liegt. Bereits die Kosten der verschiedenen Substrate weisen eine Volatilität auf, die die Wahl des besten und preisgünstigsten Substrats schwierig gestaltet.

Vor diesem Hintergrund wird der Fall der Eigenerzeugung von Biomethan in der vorliegenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung nicht durchexerziert, sondern zur Deckung des Gasbedarfs der Modellgießereien wiederum der Zukaufsfall herangezogen.

9.1.3.5 Option Eigenerzeugung EE – Darstellung der Ergebnisse und Diskussion

In **Tabelle 60** sind die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Fall Eigenerzeugung von Strom aus Windkraft für die sechs Modellgießereien tabellarisch dargestellt. Aus der Tabelle ist zu ersehen, dass sich im Fall der Eigenerzeugung von Strom aus Windkraft für die Modellgießereien 2,3,4 und 6 negative Mehrkosten der Stromkosten im sechsstelligen Bereich ergeben. Das bedeutet, dass sich die Stromkosten dieser Modellgießereibetriebe im Vergleich zum Bezug konventionellen Stroms sogar deutlich reduzieren lassen. Die relativen Kostenreduzierungen liegen im zweistelligen Prozentbereich und sind für die Modellgießerei 2 mit einer Reduktion der Kosten (im Vergleich zum Bezug konventionellen Stroms) um rund 70 % am größten, gefolgt von den Kostenminderungen bei Modellgießerei 3 (rund 30 %), Modellgießerei 6 (rund 20 %) und 4 (rund 12-15 %).

Bei den Modellgießereien 3 und 4 reichen die Kostenreduzierungen im Bereich Strom sogar dazu, die Mehrkosten, die dem Gießereibetrieb durch den Bezug von Biogas entstehen würden, sogar zu überkompensieren. Dies liegt auch daran, dass diese beiden Modellgießereien die niedrigsten Gasverbräuche besitzen und damit auch die geringsten Mehrkosten des Bezugs von Biomethan auszugleichen haben.

Bei den Modellgießereien 2 und 6 reichen die Kostenreduzierungen im Bereich Strom nicht dazu aus, die Mehrkosten des Bezugs von Biomethan zur Gänze auszugleichen, tragen jedoch dazu bei, diese Mehrkosten deutlich zu reduzieren (Reduzierung um rund 450.000 € bzw. rund 350.000 €).

Für die Modellgießereien 1 und 5 entstehen auch im Eigenerzeugungsszenario Mehrkosten bei der Substitution von Strom und Erdgas durch das jeweilige erneuerbare Pendant. Dies liegt u.a. daran, dass für diese zwei Modellgießereien ein niedrigerer konventioneller Strompreis angesetzt wurde. Vor allem aber ist dieser Umstand auf die im Vergleich zu den anderen Modellgießereien deutlich höheren Stromverbrauchsmengen zurückzuführen. Dadurch ist der Anteil der Eigenerzeugung durch

eine 3 MW-Windkraftanlage verschwindend gering im Vergleich zum Bedarf und damit im Vergleich zur Differenzmenge, die zum Ökostrompreis eingekauft werden muss.

Vor diesem Hintergrund wurde für alle sechs Modellgießereien untersucht, wie viel MW installierte Windkraftleistung im Eigenerzeugungsfall für den Break-Even-Punkt (Kosten Ökostrom + Biomethan entsprechen Kosten für konventionellen Strom und Erdgas) notwendig sind.

Aus den obigen Ausführungen wurde deutlich, dass für die Modellgießereien 3 und 4 der Break-Evene-Punkt bereits mit einer 3 MW-Anlage überschritten wird. Bei den Modellgießereien 2 und 6 wäre angesichts des Gasanteils an der Energiebereitstellung mit zwei 3 MW-Anlagen der Break-Even-Punkt überschritten, und somit die Kosten für Ökostrom und Biomethan in der Summe niedriger als der Bezug von konventionellem Strom und Erdgas.

Tabelle 59 zeigt die Ergebnisse dieser Berechnung in der Übersicht. Dabei werden die Zahlen einmal für den Fall des (Teil-)Bezugs von Ökostrom zertifiziert nach dem OK Power-Label angegeben und einmal (in Klammern) für den Fall des Bezugs von Ökostrom zertifiziert nach dem Grüner Strom Label. Die Spalte ganz rechts in der Tabelle nennt dabei die Anzahl an Windenergieanlagen (WEA), welche nötig wäre, um den Break-Even-Punkt zu durchbrechen und den Eigenerzeugungsfall[3] wirtschaftlicher werden zu lassen, als den Bezug von konventionellem Strom und Erdgas.

Tabelle 59: Mögliche Kostenreduzierungen im Eigenerzeugungsszenario (M: Messing)

Modellgießerei	Mehrkosten Ökostrom + Biomethan bei 3 MW Windkraft-Eigenerzeugung [€]	Notwendige Anzahl MW für Erreichen des Break-Even-Punktes	Notwendige Anzahl an 3 MW-WEA zum Überschreiten des Break-Even-Punktes
Modellgießerei1	1.131.933 (1.563.536)	16,113 (19,891)	6 (7)
Modellgießerei2M	226.365 (234.254)	4,433 (4,445)	2 (2)
Modellgießerei3	-391.770 (-360.341)	< 3 MW (< 3 MW)	1 (1)
Modellgießerei4	-164.000 (-94.731)	< 3 MW (< 3 MW)	1 (1)
Modellgießerei5	3.258.193 (3.770.636)	40,761 (43,733)	14 (15)
Modellgießerei6	78.360 (117.583)	3,526 (3,758)	2 (2)

Die graphische Darstellung der Wirtschaftlichkeit der Eigenerzeugung von Windkraft für die sechs Modellgießereien ist Kap 9.1.3.6 und 9.1.3.7 zu entnehmen.

[3] teilweise Eigenerzeugung Strom aus Windkraft, Zukauf Ökostrom zur Abdeckung restlichen Strombedarfs sowie Zukauf von Biomethan

Tabelle 60: Mehrkosten der Gießereien im Fall Eigenerzeugung von Strom aus Windkraft (M: Messing)

Option Eigenerzeugung + Zukauf	Modellgießerei 1		Modellgießerei 2M		Modellgießerei 3		Modellgießerei 4		Modellgießerei 5		Modellgießerei 6	
	Eigenerzeu-gung + OKp	Eigenerzeu-gung + GrStr	Eigenerzeu-gung + OKp	Eigenerzeu-gung + GrStr	Eigenerzeu-gung + OKp	Eigenerzeu-gung + GrStr	Eigenerzeu-gung + OKp	Eigenerzeu-gung + GrStr	Eigenerzeu-gung + OKp	Eigenerzeu-gung + GrStr	Eigenerzeu-gung + OKp	Eigenerzeu-gung + GrStr
Strombedarf [GWh]	102,5	102,5	4,65	4,65	10	10	18,6	18,6	120,75	120,75	13,2	13,2
Gas-Bedarf [GWh]	25	25	19,5	19,5	0,9	0,9	6,2	6,2	75,75	75,75	13,2	13,2
Schichtbetrieb [Anz. Schichten]	3	3	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3
Eigenerzeugung in [GWh]	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6		6
Eigennutzung [%]	71,4%	71,4%	47,6%	47,6%	47,6%	47,6%	47,6%	47,6%	71,4%	71,4%	71,4%	71,4%
Eigennutzung [GWh]	4,286	4,286	2,857	2,857	2,857	2,857	2,857	2,857	4,286	4,286	4,286	4,286
Einspeisung [GWh]	1,714	1,714	3,143	3,143	3,143	3,143	3,143	3,143	1,714	1,714	1,714	1,714
Restbezug [GWh]	98,214	98,214	1,793	1,793	7,143	7,143	15,743	15,743	116,464	116,464	8,914	8,914
Gestehungskosten [€/GWh]	73.000	73.000	73.000	73.000	73.000	73.000	73.000	73.000	73.000	73.000	73.000	73.000
EEG-Vergütung [€/GWh]	88.000	88.000	88.000	88.000	88.000	88.000	88.000	88.000	88.000	88.000	88.000	88.000
Strompreis konventionell [€/GWh]	93.100	93.100	137.000	137.000	137.000	137.000	137.000	137.000	93.100	93.100	137.000	137.000
Mehrkosten Ökostrom [€/GWh]	1.600	6.000	1.600	6.000	1.600	6.000	1.600	6.000	1.600	6.000	1.600	6.000
Mehrkosten durch flukt. Bezug [€/GWh]	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500	3.500
Ersparnis durch Eigennutzung [€]	86.143	86.143	182.857	182.857	182.857	182.857	182.857	182.857	86.143	86.143	274.286	274.286
Ersparnis durch EEG-Vergütung [€]	150.857	150.857	276.571	276.571	276.571	276.571	276.571	276.571	150.857	150.857	150.857	150.857
Mehrkosten Ökostrom-Bezug [€]	500.893	933.036	9.144	17.032	36.429	67.857	80.289	149.557	593.968	1.106.411	45.463	84.686
Preis Erdgas konventionell [€/GWh]	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	43.000	39.400	39.400	43.000	43.000
Preis Biomethan [€/GWh]	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700	77.700
Strom-Kosten konventionell [€]	9.542.750	9.542.750	637.050	637.050	1.370.000	1.370.000	2.548.200	2.548.200	11.241.825	11.241.825	1.808.400	1.808.400
Mehrkosten Ökostrom [€]	263.893	696.036	-450.285	-442.396	-423.000	-391.571	-379.140	-309.871	356.968	869.411	-379.680	-340.457
Mehrkosten Ökostrom [%]	2,8%	7,3%	-70,7%	-69,4%	-30,9%	-28,6%	-14,9%	-12,2%	3,2%	7,7%	-21,0%	-18,8%
Erdgas [€]	1.075.000	1.075.000	838.500	838.500	38.700	38.700	266.600	266.600	2.984.550	2.984.550	567.600	567.600
Mehrkosten Biomethan [€]	867.500	867.500	676.650	676.650	31.230	31.230	215.140	215.140	2.901.225	2.901.225	458.040	458.040
Mehrkosten Biomethan [%]	80,7%	80,7%	80,7%	80,7%	80,7%	80,7%	80,7%	80,7%	97,2%	97,2%	80,7%	80,7%
Summe Strom + Erdgas konv. [€]	10.617.750	10.617.750	1.475.550	1.475.550	1.408.700	1.408.700	2.814.800	2.814.800	14.226.375	14.226.375	2.376.000	2.376.000
EE-Mehrkosten [€]	1.131.393	1.563.536	226.365	234.254	-391.770	-360.341	-164.000	-94.731	3.258.193	3.770.636	78.360	117.583
EE-Mehrkosten [%]	10,7%	14,7%	15,3%	15,9%	-27,8%	-25,6%	-5,8%	-3,4%	22,9%	26,5%	3,3%	4,9%
Legende: OKp = nach OK Power Label zertifiziert; **GrStr** = nach Grüner Strom Label zertifiziert												

9.1.3.6 Zusammenfassung der Ergebnisse

Aus den bisherigen Ausführungen wurde deutlich, dass sich beim Zukaufszenario für alle Modellgießereien sowohl durch den Bezug von Ökostrom als auch durch den Bezug von Biomethan erhebliche Mehrkosten im Vergleich zum Bezug von konventionellem Strom und Erdgas ergeben. Die Mehrkosten liegen dabei meist im fünf- oder sechsstelligen Bereich, sodass es zum gegenwärtigen Zeitpunkt sehr unwahrscheinlich ist, dass deutsche Gießereibetriebe diesen finanziellen Mehraufwand auf sich nehmen.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Eigenerzeugungsfall dagegen hat ergeben, dass mitunter bereits die Installation einer 3MW-Windkraftanlage zur teilweisen Eigenversorgung mit Strom nicht nur im Hinblick auf ökologische Gesichtspunkte sondern auch unter ökonomischen Aspekten bereits heute eine sinnvolle Investition für deutsche Gießereibetriebe darstellt.

Angesichts einer zunehmenden Einbeziehung von Umweltaspekten entlang der Lieferketten kann sich die ressourcenschonende und umweltfreundliche Produktion von Gussprodukten künftig zu einem wettbewerbsrelevanten Kriterium für die deutsche Gießereibranche entwickeln. Vor diesem Hintergrund ist es also möglich, dass zukünftig eventuelle Mehrkosten durch den Einsatz erneuerbarer Energieträger von einem sich in steigenden Umsatzzahlen niederschlagenden Imagegewinn ausgeglichen bzw. abgemildert werden.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für die Gegenwart noch einmal graphisch dargestellt. Für jede der sechs Modellgießereien fasst jeweils eine Graphik die Ergebnisse aus Zukaufszenario und Eigenerzeugungsszenario zusammen und stellt diese einander gegenüber. Angesichts der Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung lassen sich die sechs Modellgießereien in drei Gruppen oder Typen einteilen.

Die erste Gruppe bilden die Modellgießerei 1 **(Abbildung 42).** Sie weisen im Vergleich zu den übrigen, in der vorliegenden Studie betrachteten Modellgießereien einen deutlich höheren Jahresstromverbrauch sowie eine ebenfalls relativ hohe Jahresverbrauchsmenge an Gas auf. Sowohl im Zukaufszenario als auch im Fall der Eigenerzeugung von Strom aus Windkraft entstehen den beiden Modellgießereien erhebliche Mehrkosten durch den Einsatz erneuerbarer Energien. Diese sind im Zukaufszenario im Wesentlichen auf die hohen Mehrkosten für Biomethan zurückzuführen. Angesichts der hohen jährlichen Stromverbrauchsmengen dieser Modellgießereien deckt der aus der eigenen 3MW-Windkraftanlage gewonnene und verbrauchte Stromertrag nur einen Bruchteil (4,18 % bei Modellgießerei 1; 3,55 % bei Modellgießerei 5 (**Abbildung 43**)) der insgesamt benötigten Strommenge ab, sodass der Großteil hinzugekauft werden muss. Aufgrund der durch die Eigenstromerzeugung unregelmäßigen Stromabnahme beziehen die Gießereien in diesem Fall den Ökostrom zu einem etwas höheren Preis als bei kontinuierlicher Stromabnahme. Daher sind die Mehrkosten für Ökostrom in den Graphiken für den Eigenerzeugungsfall etwas höher als im Zukauffall (s. jeweils mittlere zwei Säulen der Graphiken). Angesichts der hohen Gasverbrauchsmengen sowie dem im Vergleich zu Erdgas hohen Biomethanpreis ist Gießereibetrieben dieser Art ein Wechsel von Erdgas zu Biogas zum gegenwärtigen Zeitpunkt unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten nicht zu empfehlen. Um für Gießereien dieser Größe im Eigenerzeugungsfall zu einer Kostenreduktion zu gelangen, müsste der Anteil der eigens erzeugten an der insgesamt benötigten Strommenge durch die Installation mehrerer Windkraftanlagen angehoben werden. Wie aus den vorangegangenen Kapiteln deutlich wurde, wären bei der Modellgießerei 1 sechs bis sieben sowie bei Modellgießerei 5 vierzehn bis fünfzehn 3 MW-Windenergieanlagen notwendig, um die Mehrkosten des Biomethans durch die Gewinne der Stromeigenerzeugung zu kompensieren und somit die Investition wirtschaftlich werden zu lassen. Unter Berücksichtigung der für eine solche Anlagenanzahl notwendigen sehr hohen Investitionssumme sowie den dargestellten Restriktionen (Fläche, Abstandsregelungen etc.), welche sich mit steigender Anlagenzahl verstärken dürften, ist Gießereien vom Typ 1 und 5 diese Investition nicht zu empfehlen.

Abbildung 42: Kostenvergleich für Modellgießerei 1

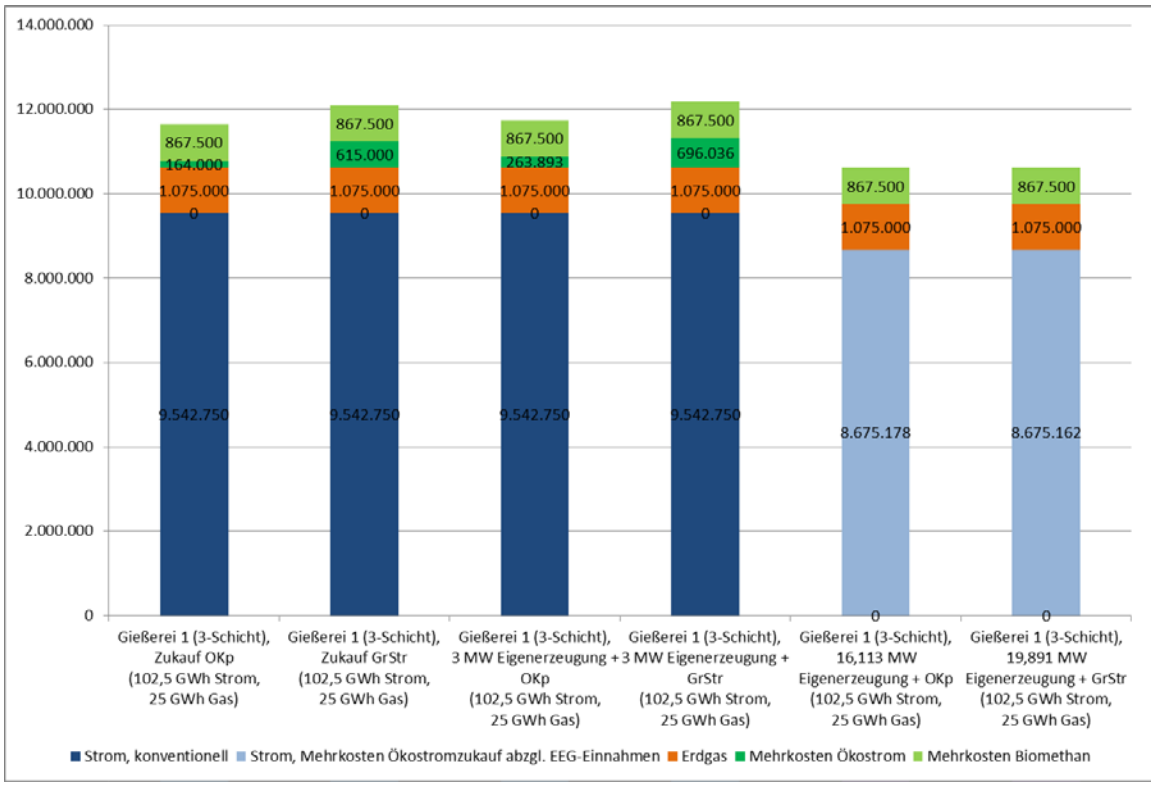
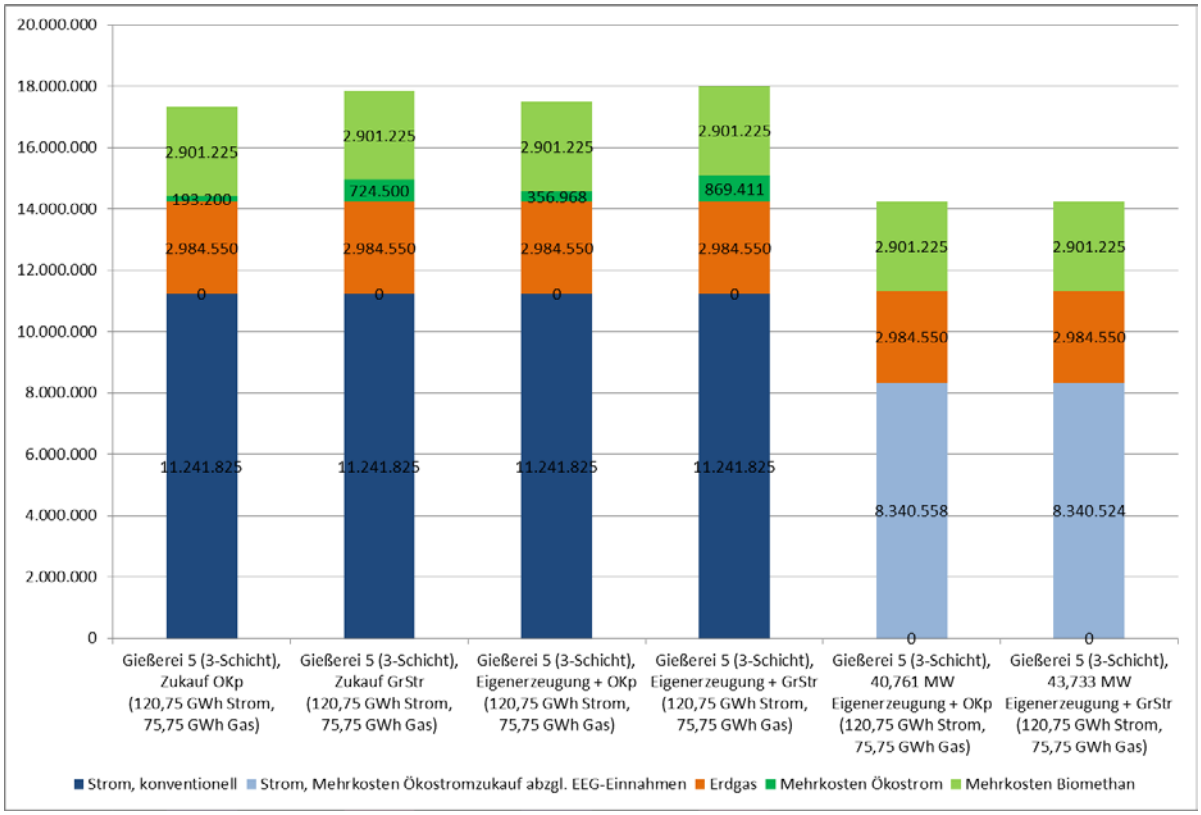


Abbildung 43: Kostenvergleich für Modellgießerei 5



Bevor die Ergebnisse der zweiten Gruppe der Modellgießereien dargestellt werden, soll an dieser Stelle zum besseren Verständnis kurz der generelle Aufbau der Graphiken erläutert werden. Die Graphiken bilden stets die Betrachtung für nach dem OK-Power Label zertifizierten Strom sowie für nach dem Grüner

Strom Label zertifizierten Ökostrom ab. Die zwei linken Säulen stellen jeweils den Zukaufsfall dar (OK Power, Grüner Strom). Die zwei mittleren Säulen stellen die Kosten dar, die sich bei Eigenerzeugung von Strom mit einer 3 MW-Anlage ergeben. Die zwei rechten Säulen zeigen die Kosten für den Fall des Erreichens des Break-Even-Punktes. Die Oberkante dieser Säulen entspricht daher der Höhe der konventionellen Kosten. Diese sind jeweils in den zwei linken Säulen zu sehen (dunkelblau + oranger Teil der Säulen).

Die zweite Gruppe bilden die Modellgießereien 3 und 4 **(Abbildung 44** und **Abbildung 45)**. Dabei handelt es sich um Gießereien mit wesentlich geringeren Verbrauchsmengen für Strom und Gas. Insbesondere durch die geringen Gasverbrauchsmengen ergeben sich vergleichsweise niedrige Mehrkosten im Zukauffall.

Im Eigenerzeugungsszenario lässt sich sogar eine Minderung der gesamten Strom- und Gaskosten (im Vergleich zum Fall konventioneller Strom & Erdgas) realisieren. Für die Modellgießerei 3 ergibt sich eine relative Kostenreduktion um 27,8 % (OK-Power Label) bzw. 25,6 % (Grüner Strom Label). Bei der Modellgießerei 4 kann eine Reduzierung der Kosten um 5,8 % bzw. 3,4 % realisiert werden. Die Kostenreduktion ist deutlich in den Abbildungen zu erkennen (verringerte Säulenhöhe).

Für diese Art von Gießereibetrieben ist das Eigenerzeugungsszenario bereits heute als wirtschaftlich sinnvoll zu empfehlen.

Abbildung 44: Kostenvergleich für Modellgießerei 3

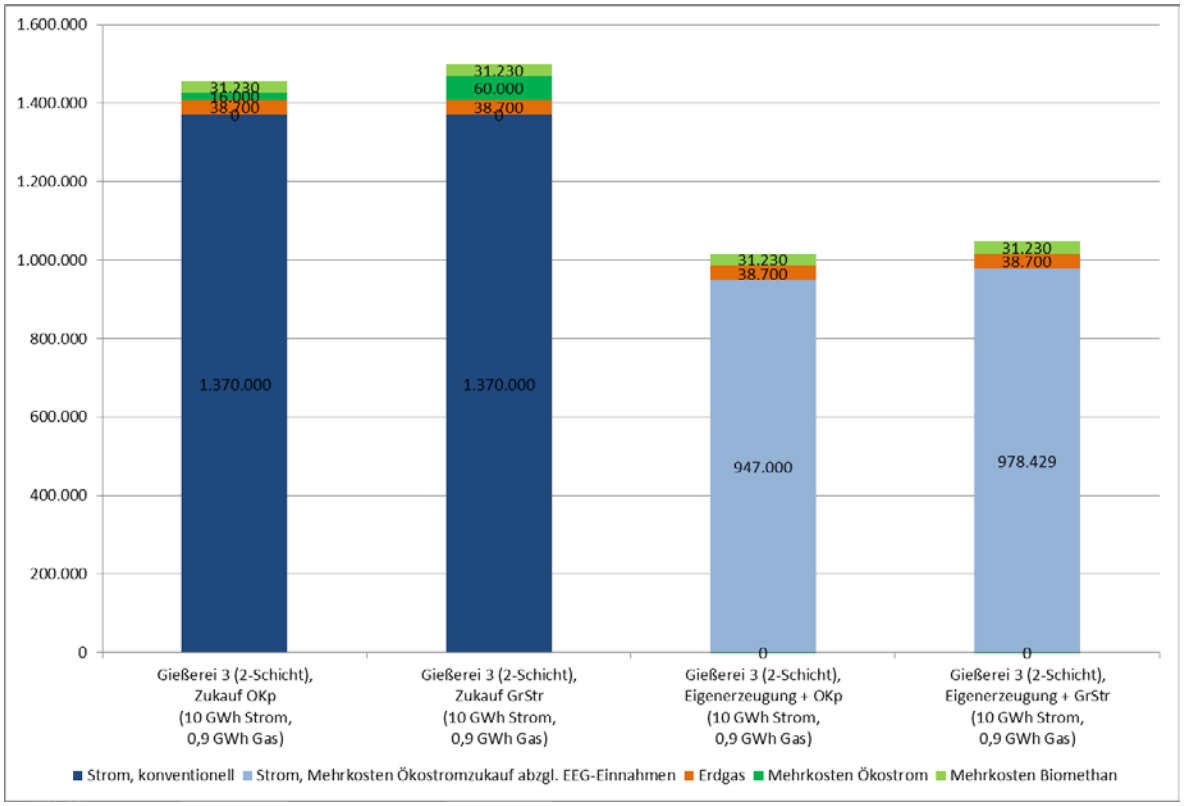
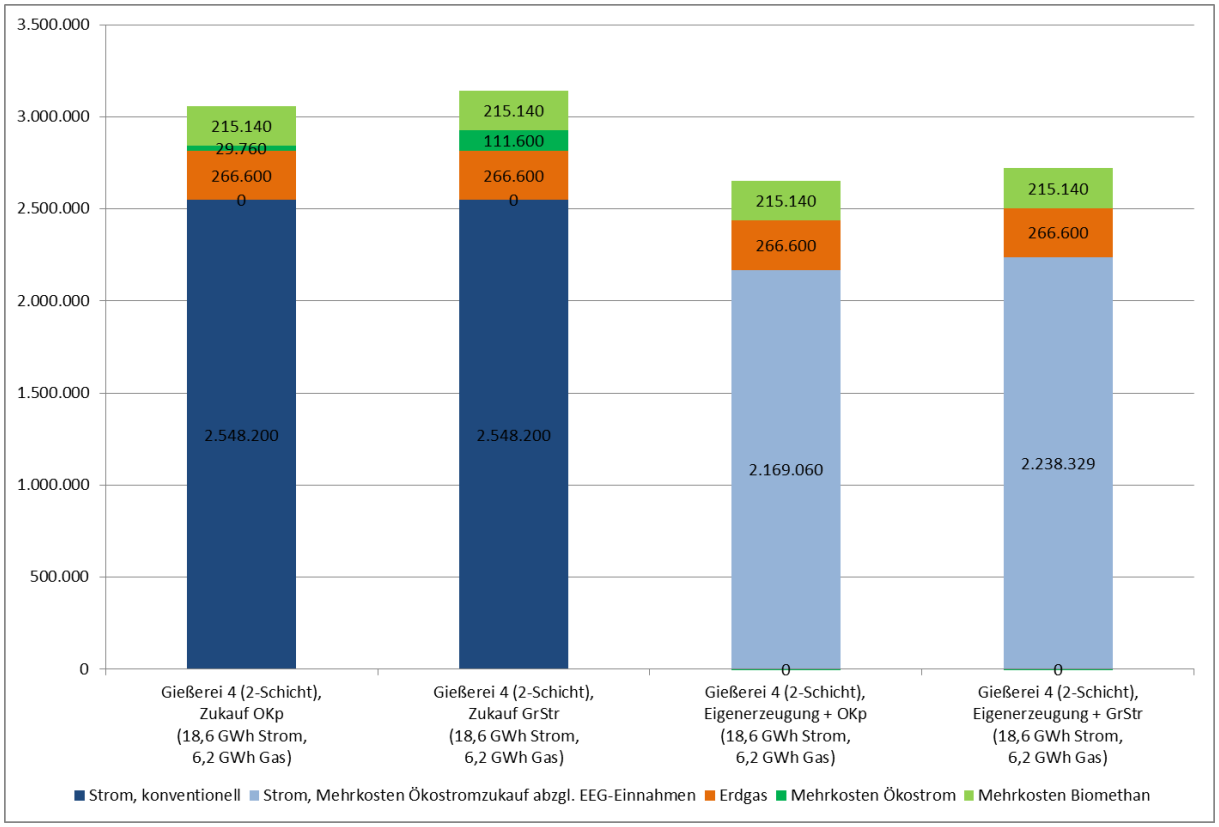


Abbildung 45: Kostenvergleich für Modellgießerei 4



Die dritte Gruppe bilden die Modellgießereien 2 **(Abbildung 46)** und 6 **(Abbildung 47).** Diese Gießereien weisen einen im Vergleich zu den anderen betrachteten Modellgießereien hohen Anteil von Gas an der Energiebereitstellung auf. Dadurch ergeben sich hohe Mehrkosten bei der Substitution von Erdgas durch Biomethan. Anders als bei den Gießereibetrieben der Gruppe 1 (s. oben) lässt sich mit dem durch Eigenerzeugung gewonnenen Stromertrag jedoch ein weitaus höherer Anteil des jährlichen Strombedarfs decken, und es muss somit weniger Ökostrom zum erhöhten Preis zugekauft werden. Bei der Modellgießerei 2 können rund 61,4 % und bei der Modellgießerei 6 rund 32,5 % der gesamten Strombedarfsmenge über die installierte Windkraftanlage gewonnen und benutzt werden. Da sich somit durch die Stromeigenerzeugung Gewinne erzielen lassen, können diese einen Teil der Mehrkosten des Biomethans ausgleichen, jedoch nicht vollständig kompensieren, sodass für diese Gießereitypen insgesamt Mehrkosten bestehen bleiben. Vor diesem Hintergrund wäre Gießereibetrieben dieser Art zum gegenwärtigen Zeitpunkt entweder zu empfehlen, lediglich für Strom den Eigenerzeugungsfall anzuwenden, das benötigte Gas jedoch nicht durch teures Biomethan zu ersetzen. Eine andere Möglichkeit wäre, ähnlich wie bei den Modellgießereien 1 und 5 durch die Installation mehrerer Windkraftanlagen den Gewinn aus der Stromeigenerzeugung derart zu erhöhen, dass dieser die Mehrkosten des Biomethans vollständig kompensiert bzw. überkompensiert. Aus den oben dargestellten Ausführungen ging hervor, dass dieser Umstand sowohl für die Modellgießerei 2 als auch Modellgießerei 6 bei Installation von zwei 3 MW-Windkraftanlagen erreicht wäre.

Abbildung 46: Kostenvergleich für Modellgießerei 2 (Messingguss)

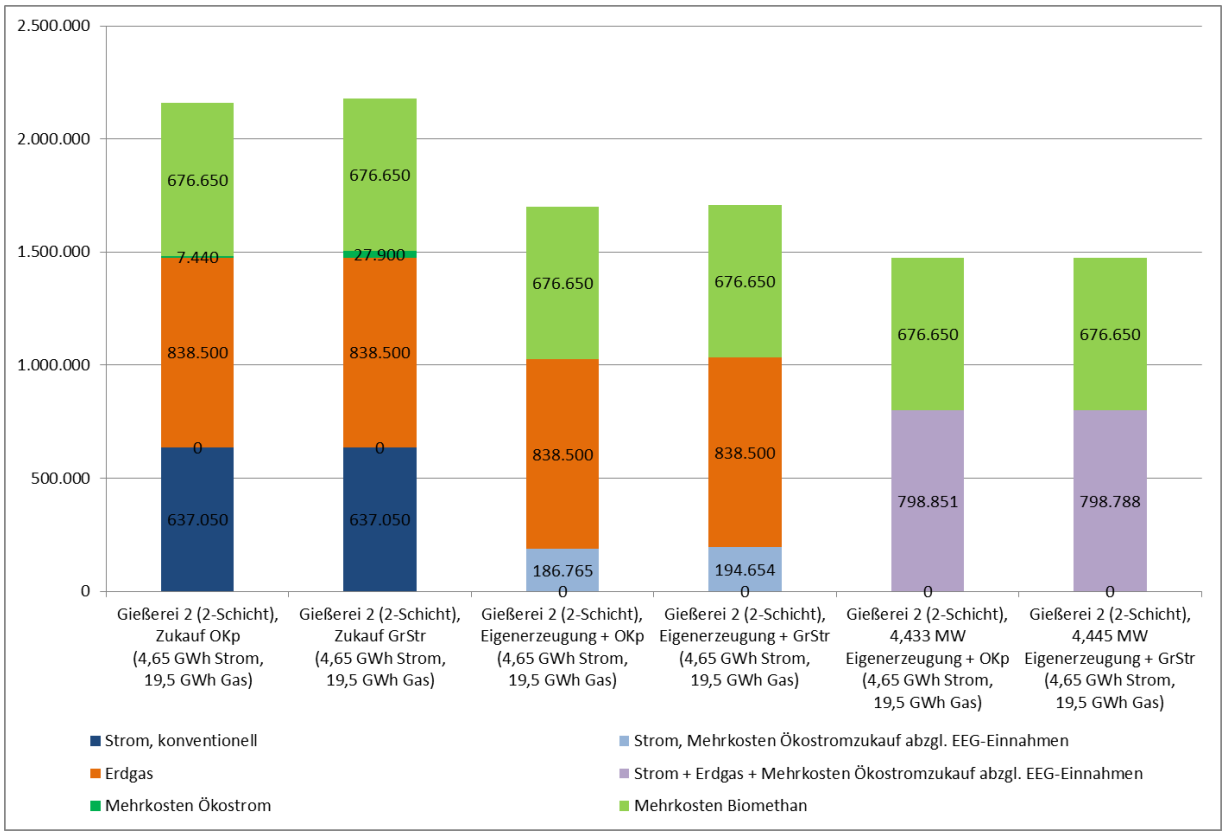
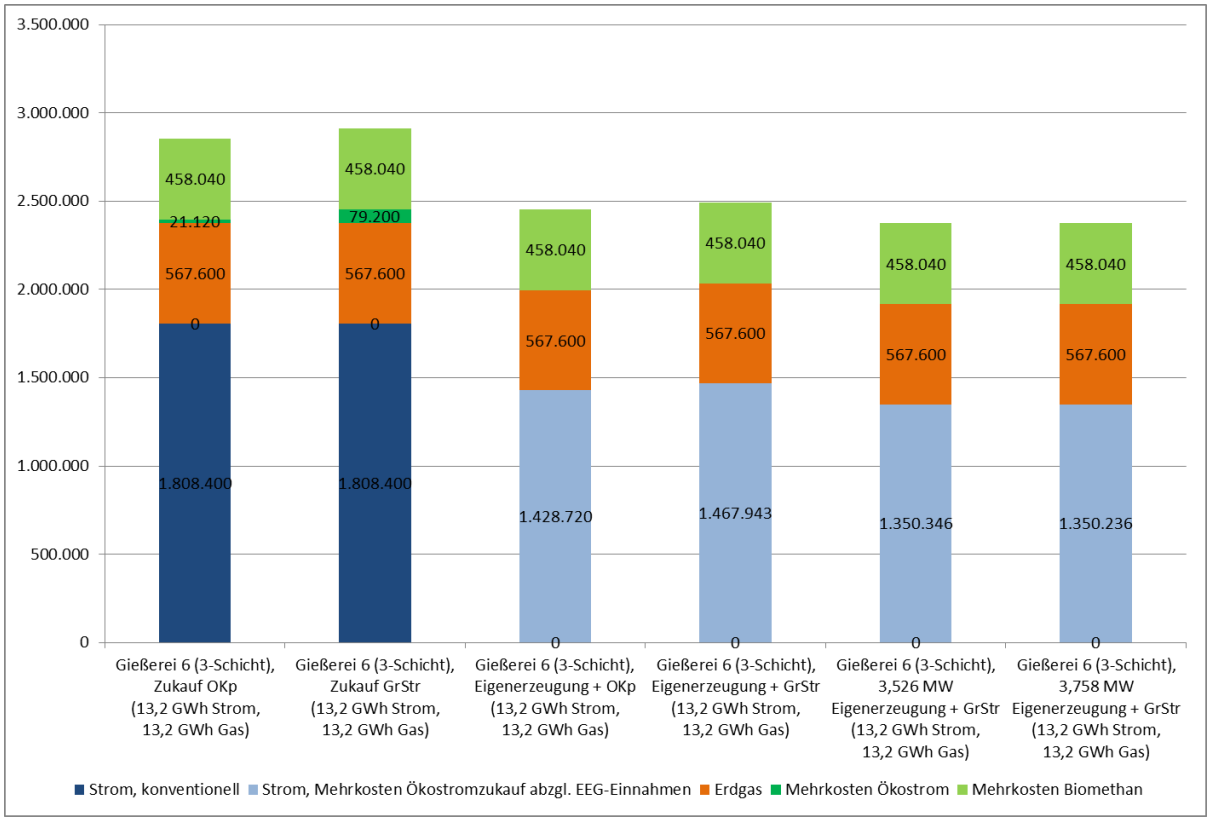


Abbildung 47: Kostenvergleich für Modellgießerei 6



9.1.3.7 Auswirkung einer zusätzlichen Steuerabgabe bei Eigenerzeugung EE

Die EEG-Umlage ist in den letzten Jahren stark angestiegen und stellt mit nunmehr 6,24 ct/kWh eine bedeutende Belastung der Strompreise der Letztverbraucher dar. Die ist im Wesentlichen auf folgende Punkte zurückzuführen:

- Ein hohes Ausbautempo der erneuerbaren Energien in Verbindung mit einer Ausbaustruktur, welche von einem hohen Anteil vergleichsweise teurer Technologien geprägt ist,
- Der Rückgang des für den EEG-Strom an der Börse erzielbaren Preises, sowie
- Die Verminderung der Strommenge, auf die die EEG-Differenzkosten verteilt werden.

Wer Strom selbst erzeugt und ohne Inanspruchnahme des öffentlichen Netzes den selbst erzeugten Strom auch selbst verbraucht, ist von der EEG-Umlage vollständig befreit. Des Weiteren entfallen – je nach konkreter Konstellation – ebenfalls Netzentgelte, Stromsteuer, Konzessionsabgabe, KWK-Umlage sowie Mehrwertsteuer. Insgesamt werden derzeit ca. 150 TWh fast vollständig von der EEG-Umlage befreit [vgl. BMU 2013].

Trotz des Eigenverbrauchs wird das öffentliche Netz jedoch weiter benötigt und in Anspruch genommen (Spitzenlastdeckung, Back-up, Systemdienstleistungen etc.). Obgleich die Kosten für das Gesamtsystem durch eine Verringerung der aus dem Netz gekauften kWh nicht proportional sinken, werden die meisten Abgaben und Steuern jedoch pro kWh verrechnet. In der Folge kommt es zu Preisverzerrungen und erheblichen Verteilungseffekten, da durch die Begünstigung des selbst erzeugten Stroms die übrigen Stromverbraucher eine entsprechend höhere EEG-Umlage sowie höhere Netzentgelte zahlen müssen, da die Abgaben auf weniger Schultern verteilt werden. Vor diesem Hintergrund wird (z.B. im Rahmen des 6.EEG-Dialogs) diskutiert, ob und wie durch eine Anpassung der Abgabenbefreiung diesen negativen Effekten entgegengewirkt werden könnte.

Daher wurde im Rahmen der angestrengten Wirtschaftlichkeitsberechnung zusätzlich untersucht, inwiefern sich die Wirtschaftlichkeit der EE-Eigenerzeugung für die sechs Modellgießereien ändert, wenn eine steuerliche Abgabe von 1, 2 oder 3 ct/kWh zu entrichten wäre.

Es wird deutlich, dass sich für die Modellgießereien 3 und 4 bereits mit Installation einer 3 MW-Windkraftanlage die Gesamtkosten für Strom und Gas deutlich reduzieren und somit Gewinne realisieren lassen. Daher hätte eine zusätzliche Abgabe in Höhe von 1-3 ct/kWh den geringsten Einfluss und würde die Wirtschaftlichkeit der Investition in eine Windkraftanlage nicht gefährden. Allerdings fielen die Gewinne durch die zusätzlichen Kosten der Abgabe geringer aus. Bei der Modellgießerei würde die ursprünglich im Eigenerzeugungsfall mögliche Kostenreduzierung von 27,8 % (bzw. 25,6 % bei Bezug von nach Grüner Strom Label zertifiziertem Ökostrom) auf bis zu 21,5 % (bzw. 19,5 %) sinken, sofern die steuerliche Abgabe 3 ct/kWh betragen würde. Das Ergebnis für die Modellgießereien 3 und 4 ist in den nachfolgenden zwei Graphiken noch einmal bildlich dargestellt. In den Graphiken ist dabei die steuerliche Abgabe in Gelb gekennzeichnet, wobei diese in drei Balken unterteilt ist, entsprechend der Höhe der zu entrichtenden Abgabe (1, 2 oder 3ct/kWh).

Abbildung 48: Auswirkung einer steuerlichen Abgabe auf die Wirtschaftlichkeit der Modellgießerei 3

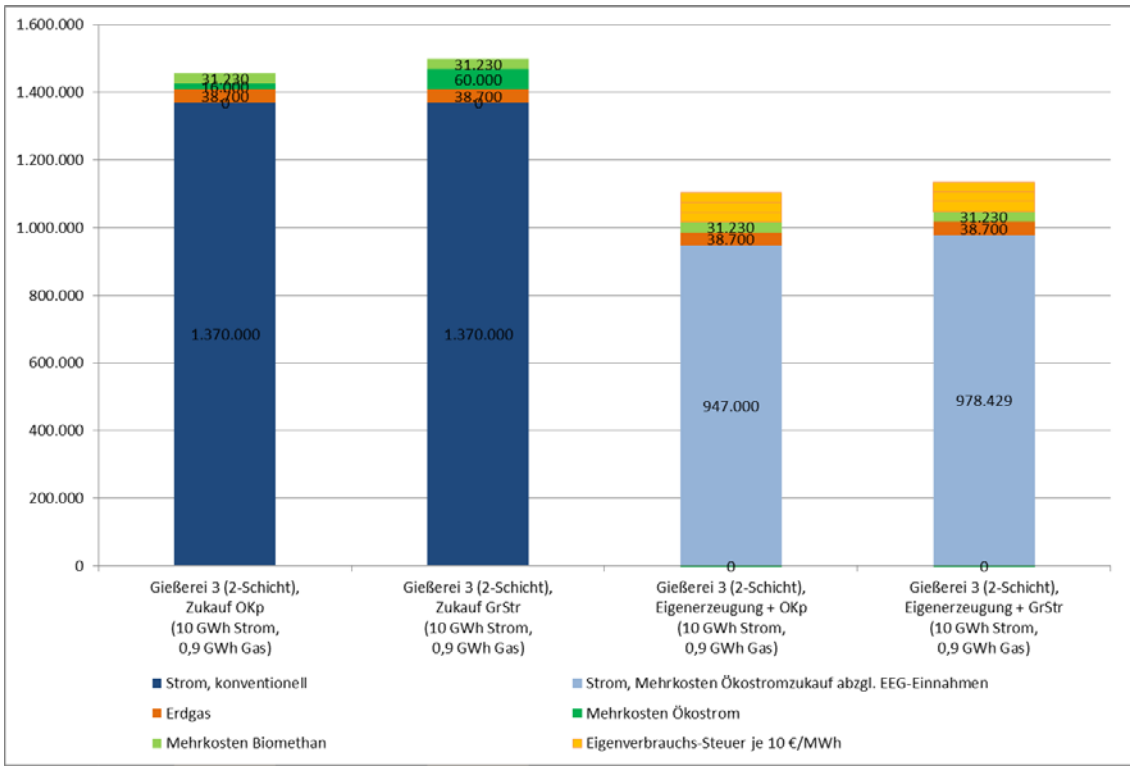
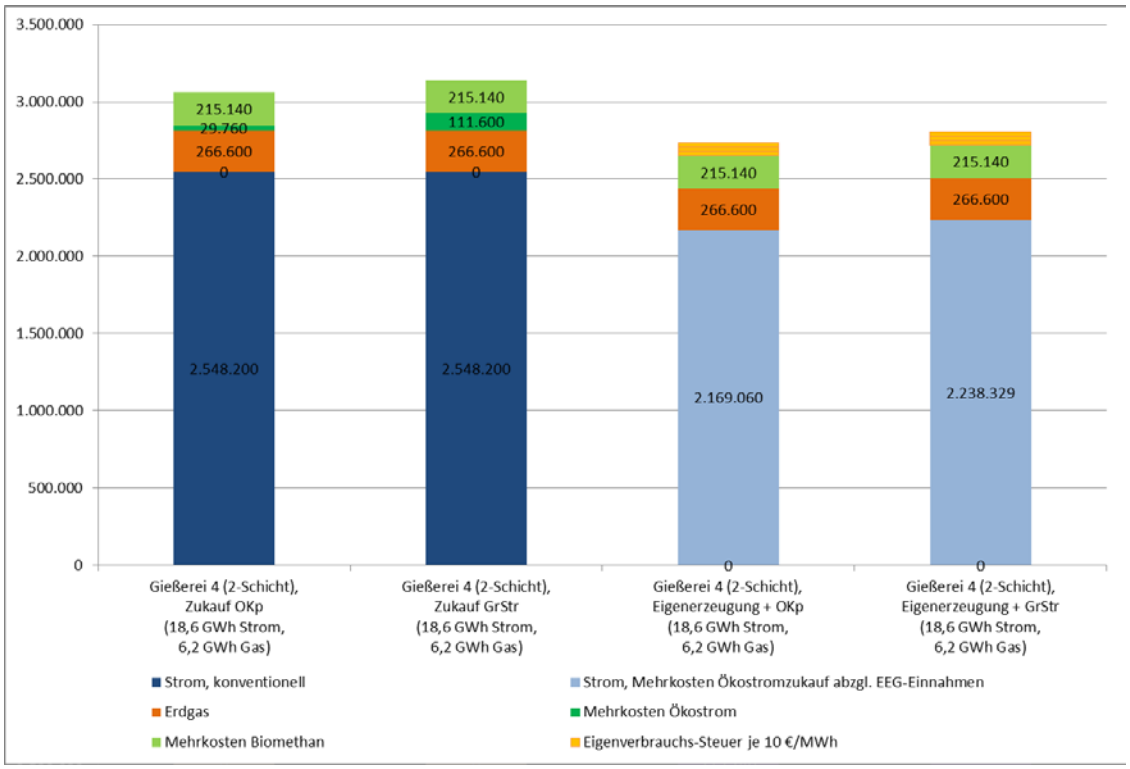


Abbildung 49: : Auswirkung einer steuerlichen Abgabe auf die Wirtschaftlichkeit der Modellgießerei 4



Bei den Modellgießereien 1, 2, 5 und 6 würde die Entrichtung einer steuerlichen Abgabe eine deutliche Verschiebung des Break-Even-Punktes erwirken. Die nachfolgende **Tabelle 61** zeigt diese Verschiebung beispielhaft für den Fall des Bezugs von nach Grüner Strom Label zertifiziertem Ökostrom in der Übersicht für die vier Modellgießereien. Der Tabelle sind ferner die absoluten wie auch die relativen Mehrkosten, welche sich durch die Erhebung einer steuerlichen Abgabe in Höhe von 1, 2 oder 3 ct/kWh ergeben würden, zu entnehmen.

Tabelle 61: Mehrkosten und Verschiebung des Break-Even-Punktes bei Entrichtung einer steuerlichen Abgabe für die Modellgießereien 1,2M,5 und 6 (M: Messing)

	Gießerei 1 (3-Schicht)	**Gießerei 2 (2-Schicht)**	**Gießerei 5 (3-Schicht)**	**Gießerei 6 (3-Schicht)**
	Eigenerzeugung + GrStr	Eigenerzeugung + GrStr	Eigenerzeugung + GrStr	Eigenerzeugung + GrStr
Strombedarf [GWh]	102,5	4,65	120,75	13,2
Gas-Bedarf [GWh]	25	19,5	75,75	13,2
Schichtbetrieb [Anz. Schichten]	3	2	3	3
Summe Strom + Erdgas konv. [€]	10.617.750	1.475.550	14.226.375	2.376.000
Szenarien mit EV-Steuer				
Mehrkosten durch EVSt 10 €/MWh [€]	284.157	42.333	624.757	53.686
Mehrkosten durch EVSt 20 €/MWh [€]	568.314	84.667	1.249.514	107.371
Mehrkosten durch EVSt 30 €/MWh [€]	852.471	127.000	1.874.271	161.057
EE-Mehrkosten bei EVSt 10 €/MWh [€]	284.069	42.222	624.681	53.562
EE-Mehrkosten bei EVSt 20 €/MWh [€]	568.226	84.555	1.249.438	107.248
EE-Mehrkosten bei EVSt 30 €/MWh [€]	852.383	126.888	1.874.195	160.933
EE-Mehrkosten bei EVSt 10 €/MWh [%]	2,7%	2,9%	4,4%	2,3%
EE-Mehrkosten bei EVSt 20 €/MWh [%]	5,4%	5,7%	8,8%	4,5%
EE-Mehrkosten bei EVSt 30 €/MWh [%]	8,0%	8,6%	13,2%	6,8%
Wind-Leistung für Break Even [MW]				
Ohne EVSt	19,891	4,445	43,733	3,758
bei EVSt 10 €/MWh	23,520	4,722	51,713	4,138
bei EVSt 20 €/MWh	28,770	5,036	63,255	4,604
bei EVSt 30 €/MWh	37,037	5,395	81,432	5,189
Eigennutzung bei EVSt 30 €/MWh [GWh]	52,909	5,138	116,332	7,413

Nachfolgend sind die Ergebnisse für die Modellgießereien 1, 2, 5, und 6 noch einmal graphisch dargestellt. Die Unterschiede der Kosten der steuerlichen Abgaben zwischen den mittleren und den zwei rechten Säulen der Graphiken ist auf den höheren Eigenerzeugungsanteils zurückzuführen. Da die steuerliche Abgabe pro kWh angesetzt wird, drückt sich eine höhere kWh-Anzahl selbstverständlich in höheren Kosten aus.

Abbildung 50: Auswirkung einer steuerlichen Abgabe auf die Wirtschaftlichkeit der Modellgießerei 2

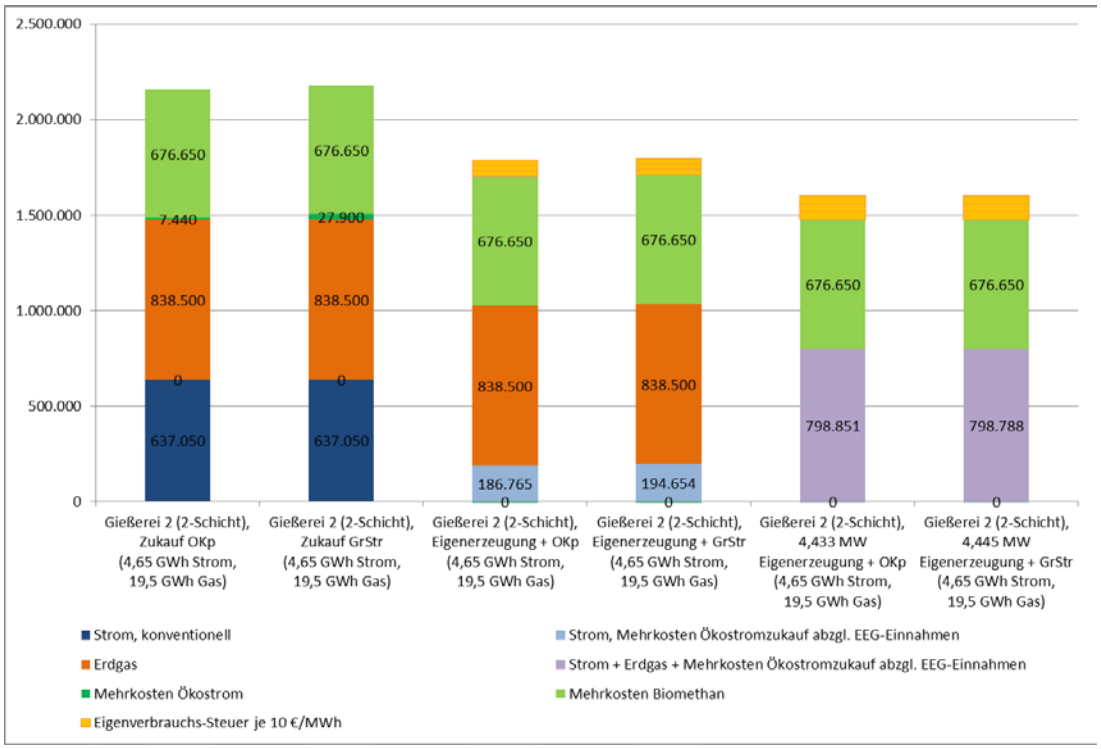
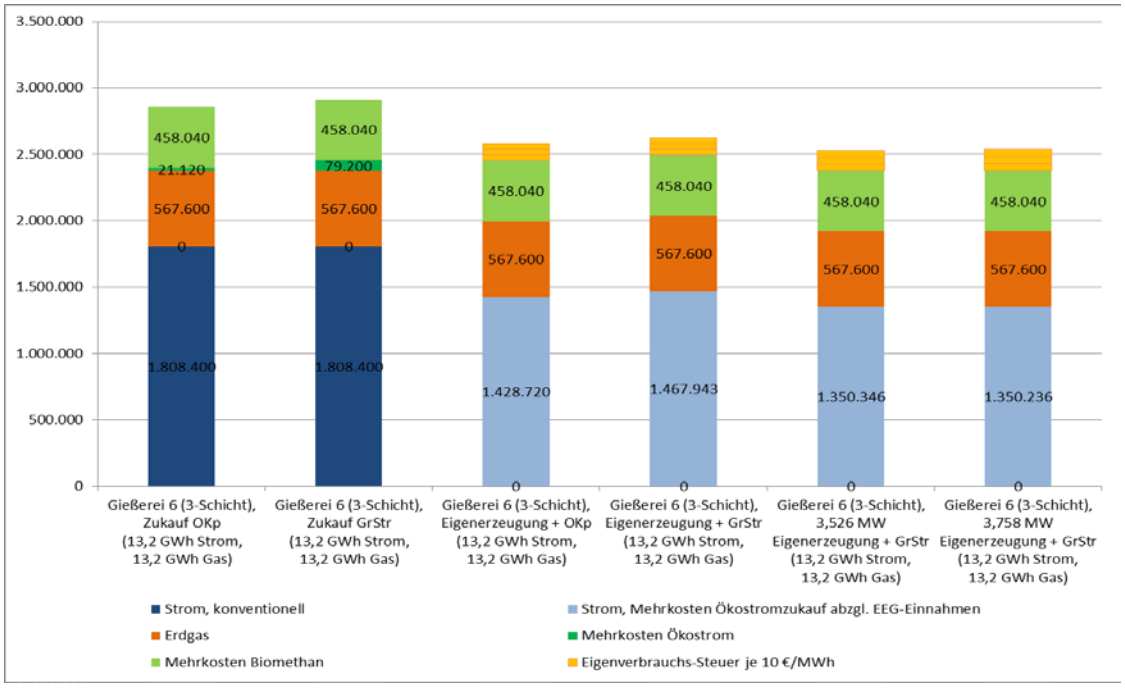


Abbildung 51: Auswirkung einer steuerlichen Abgabe auf die Wirtschaftlichkeit der Modellgießerei 6



Aus den obigen Graphiken und der **Tabelle 61** wird ersichtlich, dass für die Modellgießereien 2 und 6 es durch die Entrichtung einer steuerlichen Abgabe von bis zu 3 ct/kWh zu einer max. Verschiebung des Break-Even-Punktes um 0,95 MW (Modellgießerei 2) bzw. 1,43 MW (Modellgießerei 6) kommt. Diese höheren Break-Even-Punkte erfordern nicht die Installation weiterer Windenergieanlagen, sondern sind mit den veranschlagten zwei 3 MW-Anlagen ebenfalls wirtschaftlich abzudecken.

Aus den nachfolgenden zwei Graphiken für die Modellgießereien 1 und 5 sowie der obigen **Tabelle 61** ist zu ersehen, dass sich bei diesen beiden Modellgießereien durch die Entrichtung einer steuerlichen Abgabe eine erhebliche Verschiebung des Break-Even-Punktes ergeben würde. Dies ist vor allem auf die im Vergleich zu den übrigen vier betrachteten Modellgießereien bedeutend höheren Stromverbräuche dieser beiden Modellgießereien zurückzuführen, da die steuerliche Abgabe pro erzeugter kWh zu entrichten ist. Für die Modellgießerei 1 würde sich der Break-Even-Punkt max. von 19,89 MW auf 52,51 MW verschieben und damit mehr als verdoppeln, für die Modellgießerei 5 würde er sich von 43,73 MW auf max. 81,43 MW erhöhen. Zur wirtschaftlichen Abdeckung des Break-Even-Punktes wären anstatt der veranschlagten 7 bzw. 15 3 MW-Anlagen nunmehr 18 bzw. 28 Anlagen notwendig.

Abbildung 52: Auswirkung einer steuerlichen Abgabe auf die Wirtschaftlichkeit der Modellgießerei 1

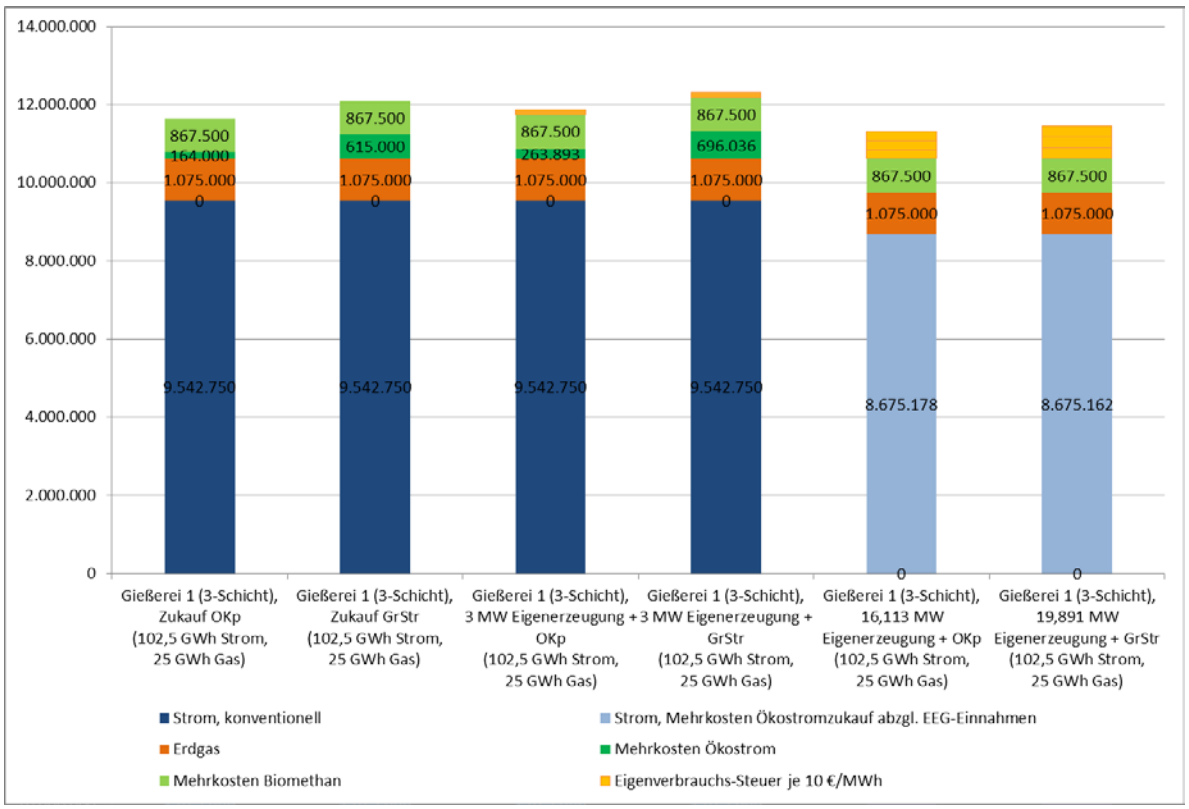
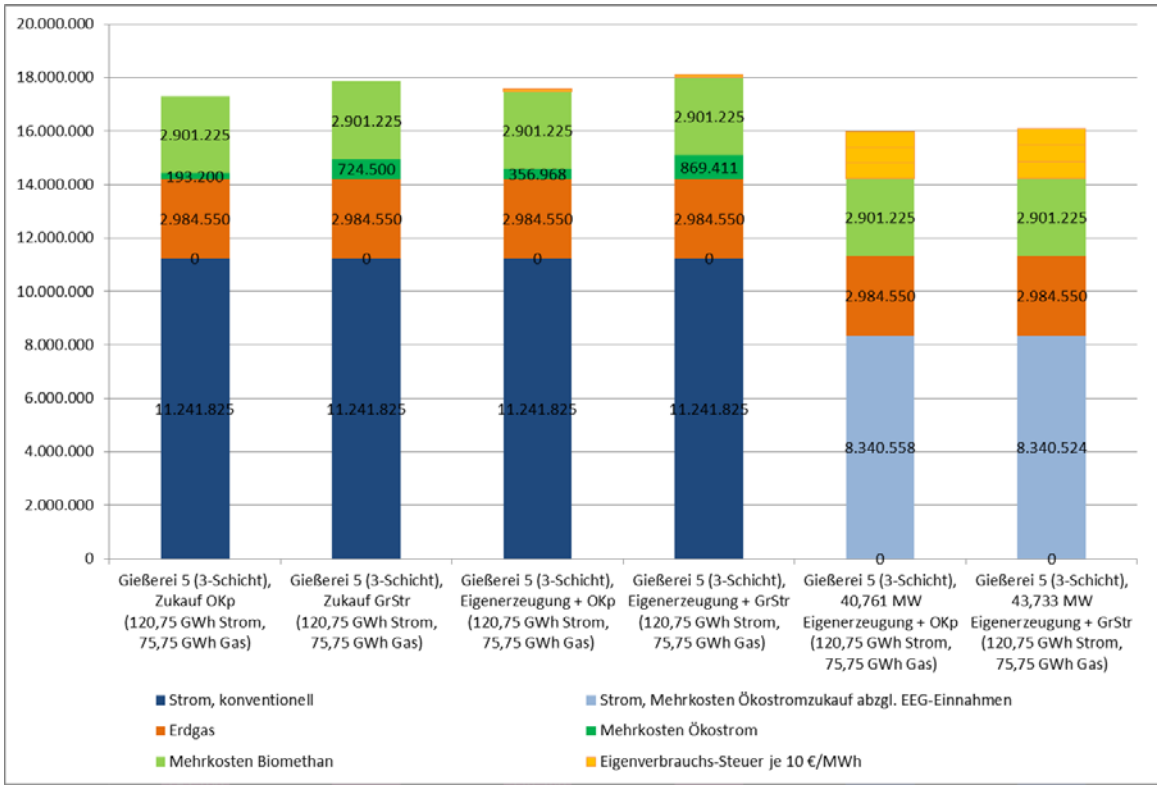


Abbildung 53: Auswirkung einer steuerlichen Abgabe auf die Wirtschaftlichkeit der Modellgießerei 5



Zusammenfassend ist festzuhalten, dass eine steuerliche Abgabe in Höhe von 1, 2, bzw. 3 ct/kWh bei mittleren Gießereibetrieben, mit einem geringen Gasanteil (Modellgießereien 3

und 4) die durch die Eigenerzeugung bzw. Einspeisung von Strom aus Windkraftanlagen realisierbaren Gewinne verringert, jedoch nicht in Kosten umkehrt. Dies ist ebenfalls der Fall für kleinere bis mittlere Gießereibetrieb mit einem höheren Gasanteil (Modellgießereien 2 und 6). Da die steuerliche Abgabe pro erzeugter bzw. eingespeister kWh zu entrichten ist, würde eine solche Abgabe für große Gießereibetriebe mit hohen Stromverbräuchen eine enorme Kostenbelastung darstellen und die Wirtschaftlichkeit der Stromeigenerzeugung in weite Ferne rücken.

9.2 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Einsatzes erneuerbarer Energien in der Zukunft

Eine perspektivische Abschätzung für den Einsatz erneuerbarer Energien (EE) in der Gießereiindustrie ist von vielen Unsicherheiten und Einflussfaktoren nicht nur hinsichtlich der künftigen Entwicklung der Energiepreise geprägt, sondern insbesondere auch bezüglich der Rahmenbedingungen eines möglicherweise veränderten Energiemarktdesigns. Bedingt durch den starken EE-Ausbau der letzten Jahre werden zunehmend neue Ansätze - sowohl bei der Förderung der Erneuerbaren (EEG) als auch beim generellen Strommarktdesign - in Deutschland diskutiert. Einerseits wird von den erneuerbaren Energien mehr Marktnähe gefordert, andererseits steht das bestehende Marktdesign mit einer auf Grenzkosten der Stromerzeugung basierenden Merit-Order ohne Berücksichtigung des Bedarfs an gesicherter Leistung diesem Ziel zunehmend im Wege. So haben sich durch die zunehmende EE-Einspeisung in den letzten Jahren

- die durchschnittlichen Börsenstrompreise reduziert, was sich negativ auf die Wettbewerbsfähigkeit der erneuerbaren Energien auswirkt,

- die durchschnittlichen Preisspreads (Peak-Base, insbes. durch die PV der Preis-Peak zur Mittagszeit) reduziert, was sich negativ auf die Wirtschaftlichkeit flexibler Gaskraftwerke und Speicher auswirkt.

Vor diesem Hintergrund wird eine Vielzahl von Gestaltungsmöglichkeiten für ein **künftiges Marktdesign** diskutiert. Neben Maßnahmen zur Erhöhung der Flexibilität auf der Nachfrageseite stehen dabei vor allem folgende Punkte im Mittelpunkt der Diskussion:

18. Zur **Marktintegration und Kosteneffizienz der erneuerbaren Energien** werden neben Weiterentwicklungsoptionen des bestehenden EEG auch alternative Fördermodelle wie EE-Quoten respektive EE-Zertifikatsmärkte, technologiespezifische EE-Ausschreibungen oder eine vollständige Beendigung der EE-Förderung diskutiert.

19. Die derzeitige **Befreiung des Eigenverbrauchs** von selbst erzeugtem Strom von diversen Strompreiskomponenten (Stromsteuer, EEG-Umlage, KWK-Förderung, Netzentgelte etc.) wird zunehmend kritisch diskutiert. So argumentieren u. a. BDEW und Netzbetreiber, dass dieser Eigenverbrauch zu **Wettbewerbsverzerrungen, Mitnahmeeffekten und einer „Entsolidarisierung“** auf Kosten der Allgemeinheit führe, da für letztere diese Abgaben entsprechend stärker steigen. Zur Begrenzung der zuletzt stark gestiegenen mengenbasierten Umlagefinanzierung (EEG-Umlage in ct/kWh) werden daher **alternative Abrechnungsmodelle** diskutiert, wie z. B. eine Verlagerung der Netzentgelte und anderer Strompreiskomponenten vom Arbeitspreis (pro aus dem Netz bezogener kWh) auf den Grundpreis oder die Beaufschlagung von selbst verbrauchtem Strom mit bestimmten Komponenten [BMU 2012c, 2012d]. *Die im Rahmen dieser Studie aufgezeigten Kostenvorteile durch Eigenerzeugung könnten dadurch zu Nichte gemacht werden.*

20. Vom europäischen **Emissionshandelssystem** zur Begrenzung der CO_2-Emissionen gehen derzeit keine hinreichenden Preissignale aus. Anstatt zu steigen sank der Preis pro Tonne CO_2 in den letzten drei Jahren von über 14 €/t auf unter 3 €/t und ist damit weit entfernt von den prognostizierten Schadenkosten eines ungebremsten Klimawandels, welche bei etwa 70–85 €/t CO_2 liegen [BMU 2012b; Stern 2007]. Diese Kosten sind gegenwärtig praktisch vollständig externalisiert. Daher werden neben Anpassungen am bestehenden Emissionshandelssystem auch immer wieder alternative Instrumente wie eine CO_2-Steuer oder Emissionsstandards diskutiert. Steigerungen beim CO_2-Preis könnten die Wettbewerbsfähigkeit der erneuerbaren Energien stark begünstigen, sofern sie nicht durch Befreiungsregelungen für bestimmte Industriezweige konterkariert wird.

21. Die z. T. sehr umfassenden **Befreiungen und Ermäßigungen** für bestimmte Industriezweige bspw. hinsichtlich Stromsteuer, EEG- & KWK-Umlage, Netzentgelte, CO_2 etc. stehen immer wieder in der Kritik. Auch einige (insbes. größere) Gießereien profitieren z. T. von diesen Regelungen. Auf der anderen Seite steht die deutsche Industrie in einem starken internationalen Wettbewerb und sieht sich insbesondere gegenüber den USA mit vergleichsweise hohen Energiepreisen konfrontiert [BCG 2013]. Es ist zu erwarten, dass auch künftig diese Regelungen nur in dem Rahmen verändert werden, wie es der internationale Wettbewerb zulässt.

22. Zur **Erhaltung der Wirtschaftlichkeit von Backup-Kraftwerken** zur Sicherstellung der Versorgungssicherheit bei hohen Anteilen fluktuierender Stromerzeuger werden verschiedene Optionen wie z. B. eine strategische Reserve, Kapazitätsmärkte oder Absicherungsquoten für fluktuierende erneuerbare Energien diskutiert, die auch einen Einfluss auf den Betrieb und die Kosten von EE haben können.

Aufgrund der Vielzahl und Komplexität der Einflussfaktoren auf den perspektivischen Einsatz von erneuerbaren Energien in der Gießereiindustrie ist es weder sinnvoll noch objektiv möglich, konkrete Eigenerzeugungsoptionen zu berechnen. Es bietet sich vielmehr eine Betrachtung auf einer allgemeineren Ebene wie bspw. den Prognosen für die Kosten eines künftigen EE-Mixes und für konventionelle Strompreise an.

Abbildung 54 zeigt eine solche Prognose in Realpreisen für 2012 (bei 2 % Inflation), die auf den Langfristszenarien des BMU basiert [BMU 2012b]. Die anhand des sich verändernden Kraftwerksparks gewichteten Stromgestehungskosten der fossil-nuklearen Stromerzeugung werden als „anlegbare Stromkosten“ in zwei Preispfaden dargestellt (Preispfad A „deutlicher Anstieg“; Preispfad C „sehr niedriger Anstieg“). Sie stellen gewissermaßen einen Korridor dar, in dem sich diese Kosten entwickeln dürften. Die dem zugrundeliegenden Annahmen bzgl. CO_2-, Erdgas- und Kohle-Preisen sind in **Tabelle 62** dargestellt. Diesem Korridor sind die sinkenden Stromgestehungskosten des EE-Mixes des Ausbauszenarios A aus der BMU-Leitstudie gegenübergestellt. Die Betrachtung eines EE-Mixes ist an dieser Stelle sinnvoll, da sich langfristig die unterschiedlichen erneuerbaren Energien in ihrer Fluktuation und Steuerbarkeit sinnvoll werden ergänzen müssen. Aus **Abbildung 54** geht hervor, dass die Kosten der erneuerbaren Stromerzeugung zwischen 2025 und 2040 die Kosten der bis dahin rein fossilen Stromerzeugung unterschreiten werden. Mit zunehmender Kostenschere werden auch Maßnahmen zur Erhöhung des EE-Anteils bspw. durch Speichertechnologien zunehmend attraktiv. Vor diesem Hintergrund dürfte es nur eine Frage der Zeit sein, dass sich erneuerbare Energien auch in Industriezweigen mit bisher sehr geringen konventionellen Strombezugskosten durchsetzen werden, wobei der CO_2-Preis einen maßgeblichen Treiber darstellt.

Abbildung 54: Strompreisprognosen bis 2050 in Realpreisen bezogen auf das Jahr 2012 [Daten: BMU 2012b]

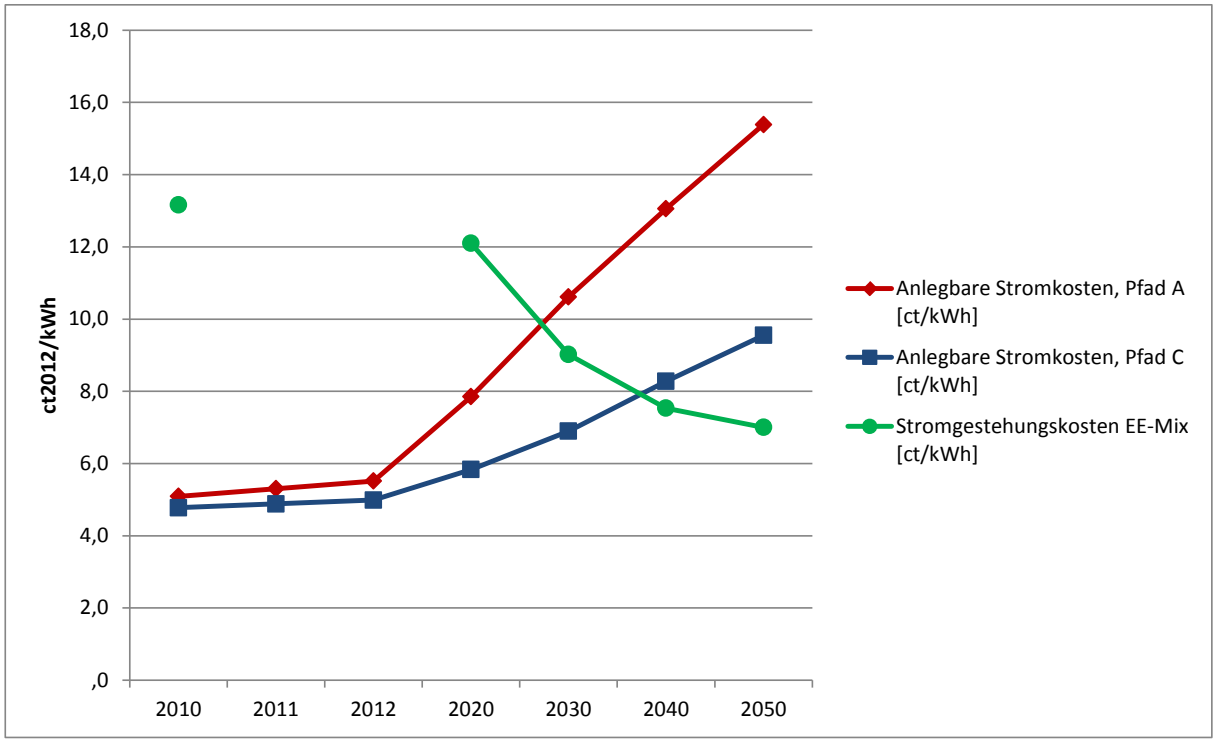


Tabelle 62: Preispfade für CO_2, Erdgas und Steinkohle [BMU 2012b]

Realpreise 2012	2010	2020	2030	2040	2050
CO_2-Preis Pfad A ("deutlich") [€/t CO2]	15,18	28,65	47,75	63,67	79,59
CO_2-Preis Pfad C ("sehr niedrig") [€/t CO_2]	15,18	21,22	27,59	38,20	47,75
Grenzübergangspreis Erdgas Pfad A [ct/kWh]	2,216	3,094	4,011	4,852	5,692
Grenzübergangspreis Erdgas Pfad C [ct/kWh]	2,216	2,330	2,521	2,789	3,094
Steinkohle Pfad A [ct/kWh]	1,108	1,872	2,407	2,942	3,400
Steinkohle Pfad C [ct/kWh]	1,108	1,299	1,452	1,643	1,796

Anders stellt sich die Substitution von Erdgas durch Biomethan dar. Aufgrund der begrenzten Biomasse-Potenziale und dem gleichzeitig aufgrund des weltweit zunehmenden Fleischkonsums steigenden Flächenbedarfs für die Nahrungsmittelproduktion ist für Biomethan keine nennenswerte Kostenreduktion zu erwarten. Beaufschlagt man die BMU-Prognosen für die Grenzübergangspreise von Erdgas aus **Tabelle 62** mit den derzeit üblichen Margen und Abgaben, so erhält man die in **Tabelle 63** dargestellten Industrie-Bezugspreise. Ohne Beaufschlagung mit den angenommenen CO_2-Preisen werden diese jedoch bis 2050 nicht auf das Niveau der heutigen Biomethanpreise von 7–11 ct/kWh steigen, sondern mit 3,75–6,67 ct/kWh deutlich darunter bleiben. Aber auch bei Beaufschlagung der Preise mit den vollen CO_2-Schadenskosten bis 2050 erreicht mit 8,28–8,6 ct/kWh lediglich der Preispfad A das Niveau heutiger Biomethanpreise, während Preispfad C mit 4,91–5,23 ct/kWh deutlich darunter bleibt. Eine wettbewerbsfähige Substitution von Erdgas durch Biomethan ist im Industrie-Sektor daher bis 2050 eher unwahrscheinlich und bleibt eher anderen Sektoren (bspw. Verkehr) vorbehalten. Als Alternative könnte sich hier eventuell EE-Gas erweisen, Wasserstoff oder Methan welches aus überschüssigem EE-Strom erzeugt wird.

Tabelle 63: Prognostizierte Industrie-Bezugspreise für Erdgas bei zwei unterschiedlichen Bezugsmengen und Preispfaden

Realpreise 2012 ohne CO_2-Preis	2010	2020	2030	2040	2050
Industrie-Bezugspreis Erdgas Pfad A [ct/kWh] < 280 GWh	3,657	4,275	4,980	5,646	6,344
Industrie-Bezugspreis Erdgas Pfad C [ct/kWh] < 280 GWh	3,657	3,511	3,490	3,583	3,746
Industrie-Bezugspreis Erdgas Pfad A [ct/kWh] < 28 GWh	4,198	4,863	5,463	6,042	6,669
Industrie-Bezugspreis Erdgas Pfad C [ct/kWh] < 28 GWh	4,198	4,099	3,973	3,979	4,071
Realpreise 2012 inkl. CO_2-Preis	**2010**	**2020**	**2030**	**2040**	**2050**
Industrie-Bezugspreis Erdgas Pfad A [ct/kWh] < 280 GWh	4,026	4,971	6,140	7,194	8,278
Industrie-Bezugspreis Erdgas Pfad C [ct/kWh] < 280 GWh	4,026	4,027	4,160	4,512	4,907
Industrie-Bezugspreis Erdgas Pfad A [ct/kWh] < 28 GWh	4,567	5,560	6,623	7,590	8,603
Industrie-Bezugspreis Erdgas Pfad C [ct/kWh] < 28 GWh	4,567	4,615	4,643	4,908	5,231

10 Transfer und Umsetzung der Ergebnisse der Ausarbeitung zur Förderung des Einsatzes von Erneuerbarer Energie in Gießereien

Die weitere Erschließung von EE-Potentialen in Gießereien hängt von Maßnahmen und Entwicklungen bei den Beteiligten ab, die direkt oder indirekt Einfluss auf die Entwicklung in den Gießereiunternehmen haben. Es sind die verschiedenen Personengruppen innerhalb der Unternehmen,

- die Unternehmensleitung und - insbesondere bei Arbeitszeitregelungen - die Betriebsräte, und außerhalb der Unternehmen,

- die beratenden Branchenvertreter und die Tarifparteien, sowie

- die politischen und gesetzgebenden Institutionen.

Im Weiteren werden die Einflussmöglichkeiten dieser Gruppen von Beteiligten am zukünftigen Einsatz von EE beleuchtet.

Unternehmensleitungen und Betriebsräte

Entscheidungen über zukünftige strategische und operative Entwicklungen fallen in den Unternehmen. Für jedes Unternehmen gibt es eine individuelle Zukunftsorientierung. Diese ist mehr und mehr ausgerichtet an den Prinzipien des Nachhaltigen Wirtschaftens [LeiKom 2009;Technikerhebung 2012].

Dies heißt, dass eine zukunftsgerichtete Entwicklung primär auf dem Gussmarkt ausgerichtet sein muss und dass das man anschließend im Unternehmen entsprechende wirtschaftliche, umweltverträgliche und soziale Ziele definiert und verfolgt. Hierbei ist ein Element die Steigerung der Energieeffizienz – erreicht durch Verminderung des spezifischen Energieeinsatzes und der Abwärmenutzung - und der Einsatz von Erneuerbarer Energie.

Bei Diskussionen zum Einsatz von EE im Gießereibetrieb stehen Fragen der technischen Einsatzfähigkeit nicht Vordergrund und werden zukünftig lediglich bei speziellen Einsatzbereichen, wie beim Kupolofen, von Bedeutung sein (siehe Kapitel 5). Die Wirtschaftlichkeit ist vor dem Hintergrund der jeweiligen Betriebsbedingungen zu bewerten – hierzu stellt diese Ausarbeitung eine Basis für die Unternehmen dar (siehe Kapitel 7). Es ist festzustellen, dass der Einsatz von EE unter derzeitigen Bedingungen für zahlreiche Gießereien wirtschaftlich sein kann.

Mit der Wirtschaftlichkeit ist allerdings eng verknüpft die Flexibilität der Produktion. Was in den Unternehmen zu entwickeln sein wird, ist ein Höchstmaß an zeitlicher Flexibilität (siehe Kapitel 6.3), um sich mit den Betriebszeiten an die Zeiten mit erhöhtem Angebot an EE möglichst weit anpassen zu können. Dies ist eine Aufgabe für die Unternehmensleitung und den Betriebsrat. Sie zu informieren und zu motivieren ist eine Aufgabe der Beteiligten von außerhalb des Unternehmens (siehe im Weiteren).

Es bedarf der Information und der Kommunikation mit den Gießerei-Beschäftigten zu den Themen Klimaschutz und EE-Einsatz. Dabei ist die Notwendigkeit des Klimaschutzes als Aufgabe für Jedermann in der Gesellschaft zu erläutern. Der zunehmende Einsatz von EE ist eine Maßnahme des Klimaschutzes in dem Unternehmen, in dem man beschäftigt ist, die allerdings alle Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter betrifft. Arbeitszeitregelungen gehören gemäß Betriebsverfassungsgesetz zu den Angelegenheiten, bei denen der Betriebsrat mitzubestimmen hat – sofern im Arbeitszeitgesetz keine Regelung festlegt ist.

Unternehmensverbände und Gewerkschaft

Die Aufgabe der Industrieverbände und der Gewerkschaften zur Intensivierung des zukünftigen EE-Einsatz besteht darin, Fachinformationen und strategische Leitlinien in Form von Handlungshilfen für die Unternehmensleitungen und die Arbeitnehmervertreter zur Verfügung zu stellen. Hierfür ist die vorliegende Ausarbeitung sehr gut geeignet, bzw. sie ist eine sehr gute Basis für die diesbezüglichen Tätigkeiten: auf dem Deutschen Gießereitag im April 2013, der Jahresveranstaltung der deutschen Gießereivereinigungen, sind die Ergebnisse dieser Ausarbeitung in einem eigenen Vortrag vorgestellt worden und auf der Gießerei-Tagung der IG Metall im September 2013 sind sie Teil eines Vortrags zur zukünftigen Entwicklung der deutschen Gießereien gewesen. Die große Resonanz zeigt, dass die Notwendigkeit der Auseinandersetzung mit dem Thema Erneuerbare Energien in der Gießereibranche erkannt worden ist. Es ist ein weiterer Informationstransfer von den Brancheninstitutionen in die Gießereiunternehmen in Form von Fachartikeln (ein Aufsatz in der am weitesten verbreiteten deutschsprachigen Gießereifachzeitschrift GIESSEREI ist bereits geplant), Fachbeiträgen in Fachvortrags- und Weiterbildungsveranstaltungen sowie in der Ausbildung von Gießereimechaniker/innen, von Gießerei-Meister/innen und in den verschiedenen akademischen Ausbildungsgängen. Der enge Verbund zwischen den Gießereivereinigungen und den Ausbildungsträgern bzw. den Hochschulen ermöglicht diesen wichtigen Transfer in die Gießereibranche und in die ihr verbundenen Unternehmen, wie die Unternehmen des Gießerei-Maschinenbaus.

Politische Gremien und gesetzgebende Institutionen

Für die politischen Gremien und gesetzgebende Institutionen stellt die Ausarbeitung eine fachliche Basis dar für die zukünftige Arbeit. Sie können auch in den Ergebnissen dieser Ausarbeitung erkennen, wo für sie Handlungsbedarf besteht, um den zukünftigen EE-Einsatz zu vergrößern.

Auf technischem Gebiet können in Form einer FuE-Unterstützung Anreize geschaffen werden. Hier besteht insbesondere hinsichtlich des Schmelzens im Kupolofen FuE-Bedarf.

Um die Wirtschaftlichkeit von EE-Einsatz in Gießereien zu erhöhen, werden im Kapitel 7 entsprechende Hinweise für die gesetzgebenden Institutionen und die Umweltämter auf den Gebieten Energie und Klimaschutz gegeben.

Die Bedeutung einer flexiblen Arbeitszeit für den EE-Einsatz ist im Vorangegangenen dargestellt worden. Die Verknüpfung zu den politisch-gesetzgebenden Institutionen besteht hierbei im Arbeitszeitgesetz.

11 Zusammenfassung und Ausblick

Die Gießereiindustrie zählt zu den energieintensiven Industriebranchen. Dies ist im Wesentlichen dem Umstand geschuldet, dass für das Schmelzen und Gießen metallischer Werkstoffe hohe Temperaturen und damit große Energiemengen im Produktionsprozess benötigt werden. Vor dem Hintergrund des im Rahmen der Energiewende beschlossenen Zieles, die nationalen Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2020 um 40 % und bis zum Jahr 2050 um 80-90 % (im Vergleich zum Jahr 1990) zu senken, ist es von besonderem Interesse zu ermitteln, inwieweit in energieintensiven Industriebranchen wie der Gießereiindustrie die Substitution fossiler durch erneuerbare Energieträger möglich ist. Denn ohne eine deutliche Reduktion des Einsatzes fossiler Brennstoffe wird das o.g. Ziel nicht erreichbar sein.

Hierzu wurden im Rahmen der vorliegenden Studie zunächst Daten zusammengetragen hinsichtlich des Gesamtenergieeinsatzes in der deutschen Gießereiindustrie sowie des spezifischen Energieeinsatzes in den einzelnen Fertigungsbereichen, der benötigten Temperaturen sowie der derzeit eingesetzten Energieträger. Weiterhin erfolgte eine Ermittlung des Status Quo sowie eine Bestimmung der Potenziale für die zukünftige Entwicklung der verschiedenen erneuerbaren Energien (z.B. Windkraft, Photovoltaik, Biomasse) in Deutschland. Darauf aufbauend wurde für jeden Prozessschritt des Gießereiprozesses untersucht, ob und wenn ja, welche erneuerbaren Energieträger geeignet sind, den derzeit eingesetzten Energieträger zu ersetzen.

Es wurde deutlich, dass im gesamten Gießereiprozess der überwiegende Anteil der benötigten Energie entweder durch Strom oder durch Erdgas bereitgestellt wird. In Eisengießereien wird in Kupolöfen Gießereikoks als Energieträger eingesetzt. Die bisherigen Ergebnisse eines laufenden Vorhabens zeigen, dass carbonisierte Biomasse grundsätzlich geeignet ist, Gießereikoks zumindest teilweise zu ersetzen. Eine weitere Prozessentwicklung ist aber vor einer betrieblichen Umsetzung notwendig. Beim Schmelzen in Nichteisenmetallgießereien wird teilweise Heizöl und im Bereich des innerbetrieblichen Transports wird teilweise Dieselkraftstoff verwendet.

Vor diesem Hintergrund konnte festgestellt werden, dass grundsätzlich, unter rein technischen Gesichtspunkten, eine nahezu 100 %ige Substitution fossiler durch erneuerbare Energieträger entlang der Gießereiprozesskette möglich ist. Konventioneller Strom könnte durch erneuerbaren Strom ersetzt werden, Erdgas durch Biomethan oder regeneratives Methan und Dieselkraftstoff durch Biodiesel oder synthetische Kraftstoffe; mittel- oder langfristig kann von heizöl- oder dieselbetriebenen Aggregaten auf strom- oder erdgasbetriebene umgestellt werden. In den Fertigungsschritten, in denen die Energie thermisch bereitgestellt wird, kommt aufgrund der hohen Arbeitstemperaturbereiche meist nur Biomethan als regenerativer Brennstoff in Betracht. Letzteres könnte beispielsweise über die Power-to-Gas-Technologie gewonnen werden. Allerdings ist die Technologie derzeit noch recht teuer. Die Investitionskosten für die Anlagentechnik liegen gegenwärtig deutlich über dem, was am Markt wirtschaftlich darstellbar wäre. Es ist davon auszugehen, dass sie nicht vor 2020-2030 zu wirtschaftlicher Reife gelangen wird. Ferner beeinflusst eine Reihe von Standortbedingungen die Wirtschaftlichkeit von Power-to-Gas-Anlagen, wie z.B. die Nähe zu Erzeugungsquellen erneuerbaren Stroms, da so eine maximale Netzentlastung realisiert werden kann, oder aber die Nähe zu Quellen des für die Methanisierung benötigten Kohlenstoffdioxids.

In einzelnen Prozessschritten wie der Form- und Kernherstellung oder der Formstoffaufbereitung und -regenerierung erlauben die zumeist niedrigeren Arbeitstemperaturen prinzipiell den Einsatz weiterer erneuerbarer Energieträger bzw. Technologien wie z.B. Holzhackschnitzel und Holzpellets oder solare Prozesswärme. Hierbei ist allerdings anzumerken, dass solare Prozesswärmetechnik für Temperaturen von 100-250°C derzeit noch relativ teuer ist und für den wirtschaftlichen Einsatz von solarer Prozesswärme noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf notwendig ist. Mittel- und langfristig gesehen kann solare Prozesswärmetechnik jedoch eine attraktive und umweltfreundliche Alternative für die Energiebereitstellung

in Fertigungsschritten mit niedrigeren Arbeitstemperaturen darstellen. Hinsichtlich des Einsatzes von Holzhackschnitzeln oder Holzpellets in der Form-und Kernherstellung bzw. der Formstoffaufbereitung ist anzuführen, dass Gießereibetriebe dabei entsprechende Lagerkapazitäten auf dem Betriebsgelände errichten und vorhalten müssten.

Ob erneuerbare Energien in der Gießereiindustrie zum Einsatz kommen, hängt neben der technischen Machbarkeit letztendlich auch in starkem Maße von der Wirtschaftlichkeit ab. Die Betrachtungen des Energieeinsatzes und der Wirtschaftlichkeit wurden auf Grundlage von sechs definierten Modellgießereibetrieben (zwei Eisengießereien, eine Stahlgießerei, zwei Aluminiumgießereien und eine Messinggießerei) durchgeführt. Dabei erfolgte die Definition der Modellgießereien hinsichtlich der Gusswerkstoffe, Gießereiprozesse und des Energieeinsatzes derart, dass diese etwa 95 % der deutschen Gießereiindustrie repräsentativ abbilden. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Energieverbräuche der sechs Modellgießereien aufgeschlüsselt nach verschiedenen Energieträgern in der Übersicht. Aus der Tabelle geht hervor, dass fast alle Modellgießereien nahezu ausschließlich Strom und Erdgas als Energieträger einsetzen. Rund 97-98 % der benötigten Energie werden über diese beiden Energieträger bereitgestellt. Bei der Modellgießerei 1 stellen Strom und Erdgas ebenfalls die zwei Energieträger dar, die den größten Anteil zur Deckung des Energiebedarfs der Gießerei leisten, jedoch haben sie mit knapp 44 % im Vergleich zu den restlichen Modellgießereien einen geringeren Anteil an der Energiebereitstellung. So dient in der Modellgießerei 1 u. a. Steinkohlekoks als weiterer Energieträger.

Tabelle 64: Anteile verschiedener Energieträger an der Deckung des Energiebedarfs der sechs Modellgießereien (M: Messing)

Verbrauchsmenge	MG 1	MG 2M	MG 3	MG 4	MG 5	MG 6
Strom [GWh/a]	102,5	4,65	10,0	18,6	120,75	13,2
Gas [GWh/a]	25,0	19,5	0,9	6,2	75,75	13,2
Energie gesamt [GWh/a]	292,5	24,45	11,2	25,1	199,5	27,0
Anteil Energie durch Strom [%]	35,04	19,02	89,29	74,10	60,53	48,89
Anteil Energie durch Gas [%]	8,55	79,76	8,04	24,70	37,97	48,89
Anteil Energie durch Gas & Strom [%]	**43,59**	**98,78**	**97,32**	**98,81**	**98,50**	**97,78**

Vor dem Hintergrund, dass Strom und Erdgas für die große Mehrheit der Gießereien die fast ausschließlichen Energieträger darstellen, wurde die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für diese beiden Energielieferanten durchgeführt.

Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergab, dass der Zukauf von Ökostrom und Biomethan zum gegenwärtigen Zeitpunkt bei allen Modellgießereien zu erheblichen Mehrkosten führen würde. Laut Erhebungen des BDG zahlten deutsche Gießereien im Jahr 2012 durchschnittlich einen Strompreis von 13,70 ct/kWh. Für die Modellgießereien 1 und 5 wurde dagegen angesichts ihrer hohen Stromverbräuche ein Strompreis von 9,31ct/kWh angesetzt. Dies war laut BDEW [2012] der Strompreis, welcher im Jahr 2012 von industriellen Verbrauchern mit einem Jahresstromverbrauch von 70 bis 150 GWh zu bezahlen war. Im Vergleich zu konventionellem Strom ist bei Ökostrom je nach Art der Zertifizierung mit einem Preisaufschlag von 0,16 ct/kWh (OK Power Label) bis 0,6 ct/kWh (Grüner Strom Label) zu rechnen. Biomethan ist mit einem Durchschnittspreis von derzeit 7,77ct/kWh beinahe doppelt so teuer wie Erdgas, für welches deutsche Gießereibetriebe im Schnitt 4,30 ct/kWh zahlen.

Neben dem Zukauffall wurde im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auch der Fall der Eigenerzeugung untersucht. Hierfür wurde angenommen, dass die Gießereibetriebe eine Windkraftanlage mit 3 MW Nennleistung installieren (Annahme: Standort durchschnittlicher Qualität/ Ertragsleistung), sich damit zu Betriebszeiten selbst mit Strom versorgen, nicht benötigten Strom ins Netz einspeisen und nach EEG vergüten lassen und die Differenz zwischen Eigenerzeugungsmenge und Strombedarf über zugekauften

Ökostrom abdecken. Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Eigenerzeugungsfalls kam grundsätzlich neben der Windkraft auch die Photovoltaik als erneuerbare Energie in Frage. Die Entscheidung aber, letztlich eine 3 MW-Windkraftanlage für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung heranzuziehen, erfolgte im Wesentlichen aus zwei Gründen: Zum einen wegen der niedrigeren Stromgestehungskosten von Windkraft (6,5-8,1 ct/kWh; im Mittel 7,3ct/kWh) im Vergleich zu denen der Photovoltaik (13-14ct/kWh für Freiflächenanlagen), zum anderen wegen des Flächenbedarfs. Um mit Photovoltaik die Leistung einer 3 MW-Windenergieanlage zu erzielen, wäre eine Fläche von 37.500 m^2 (Spitzen-PV-Module) bis 51.725m^2 (normale PV-Module) notwendig. Obgleich auch die Errichtung von Windkraftanlagen ebenfalls mit einigen Restriktionen (Flächenbedarf, Abstandsregelungen, Naturschutzgebiete,etc.) verbunden ist, wurde für den Eigenerzeugungsfall letztlich doch die Windkraft herangezogen.

Da der Betrieb und die Wartung von Biogasanlagen komplex und zeitaufwendig sind, wurde auch beim Eigenerzeugungsszenario angenommen, dass Biomethan gekauft und nicht selbst erzeugt wird.

Die Untersuchung des Eigenerzeugungsszenarios lieferte im Wesentlichen folgende Ergebnisse:

- Die Installation von eigenen Windkraftanlagen kann bereits heute eine sinnvolle Investition für Gießereibetriebe darstellen, da sie dazu beitragen kann, die Stromkosten gegenüber dem Bezug konventionellen Stroms zu senken. Prämisse hierfür ist, dass ein bestimmtes Verhältnis der Strommenge, die selbst erzeugt wird zu der die zugekauft wird, gegeben ist. Ist der Anteil der eigenerzeugten Strommenge im Verhältnis zur benötigten Strommenge verschwindend gering, entstehen den Gießereien durch die Eigenerzeugung von Strom aus Windkraft sogar Mehrkosten (s. Modellgießereien 1 und 5);

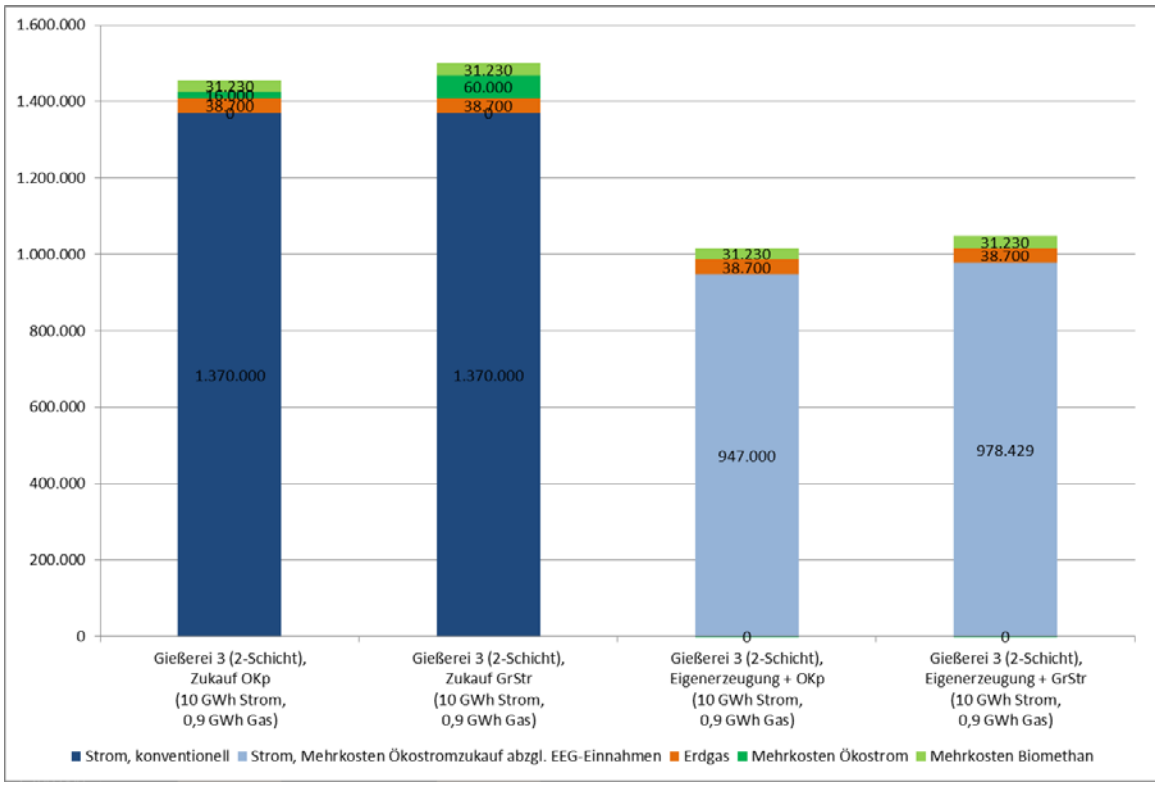
- Bei Gießereibetrieben mit verhältnismäßig geringem Gaseinsatz (Modellgießereien 3 und 4) kann die durch die Eigenerzeugung von Strom aus Windkraft erzielte Kostenreduktion die Mehrkosten, welche durch den Zukauf von Biomethan entstehen, decken bzw. sogar überkompensieren;

- Gießereibetrieben mit einem verhältnismäßig hohen Anteil von Gas an der Energiebereitstellung (Modellgießereien 2 und 6) ist angesichts der extremen Mehrkosten von Biomethan zum gegenwärtigen Zeitpunkt zu empfehlen, weiterhin Erdgas zu beziehen, um von der Kostenreduktion, die aus der Eigenerzeugung von Windkraftstrom resultiert, profitieren zu können.

- Durch die Errichtung von zwei 3 MW-Anlagen können auch Gießereibetriebe mit einem verhältnismäßig hohen Anteil von Gas an der Energiebereitstellung, durch die Eigenerzeugung von Strom aus Windkraft Gewinne realisieren, welche in der Lage sind, die Mehrkosten von Biomethan zu kompensieren.

Die nachfolgenden Abbildungen verdeutlichen diese wesentlichen Ergebnisse noch einmal graphisch.

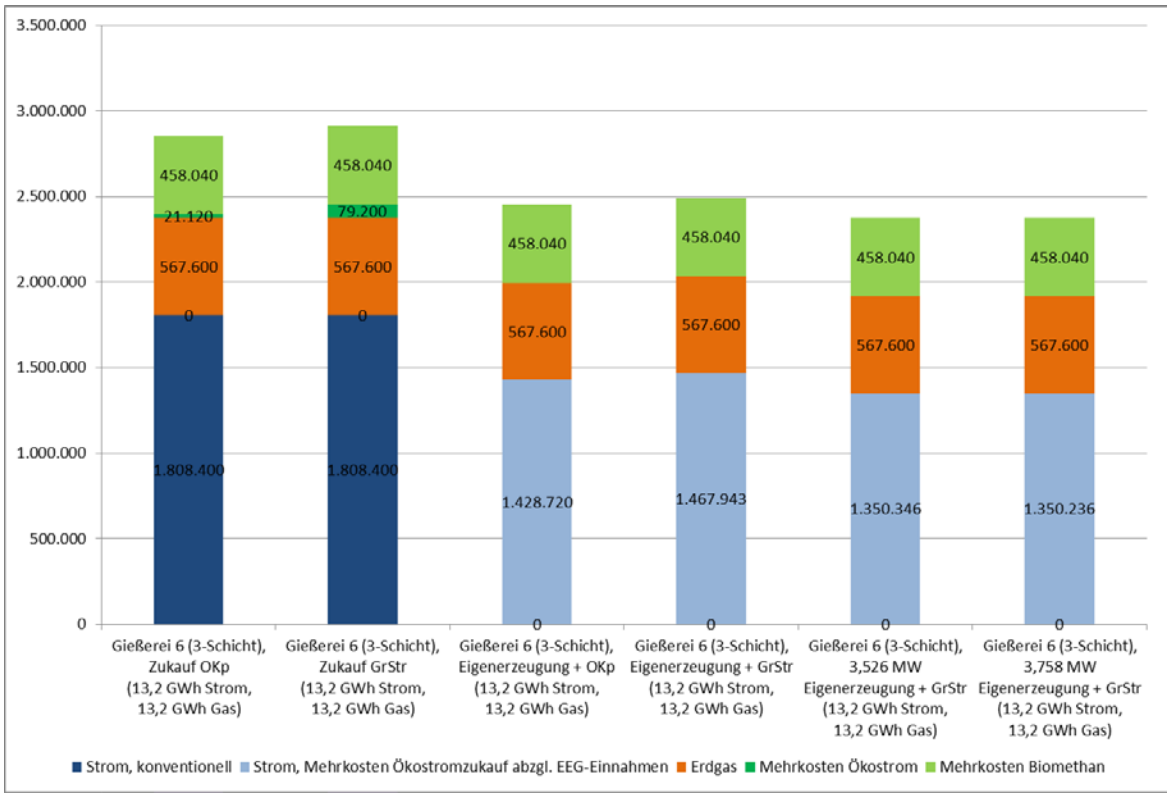
Abbildung 55: Kostenvergleich Modellgießerei 3: konventionell Energiebereitstellung, Zukauf EE, Eigenerzeugung EE-Strom



Neben der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit ist für den Einsatz erneuerbarer

Die beiden linken Säulen der obigen Graphik stellen dabei den Zukaufsfall dar, die beiden rechten das Eigenerzeugungsszenario. Dabei wird einmal angenommen, dass Ökostrom zertifiziert nach dem OK Power Label bezogen wird und einmal, dass Grüner Strom zertifizierter Ökostrom gekauft wird. Der Dunkelblaue Teil der linken Säulen gibt zusammen mit dem orangen Teil die Kosten an, die der Gießerei bei Verwendung konventioneller Energieträger (Strom und Erdgas) entstehen. Der dunkelgrüne und hellgrüne Anteil gibt die Mehrkosten für Ökostrom bzw. Biomethan an. Aus der Graphik wird ersichtlich, dass die Gießerei durch die Eigenerzeugung von Strom aus Windkraft ihre Stromkosten in bedeutendem Maße reduzieren und somit die Mehrkosten für Biomethan überkompensieren könnte.

Abbildung 56: Kostenvergleich Modellgießerei 6: konventionell Energiebereitstellung, Zukauf EE, Eigenerzeugung EE-Strom



Die beiden linken und mittleren Säulen der obigen Graphik sind analog zu Abbildung 47. Die beiden rechten Säulen zeigen, wie viel Stromeigenerzeugung aus Windkraft notwendig wäre, um die Kosten für Ökostrom und Biomethan denen für den Bezug von konventionellem Strom und Erdgas gleichen zu lassen.

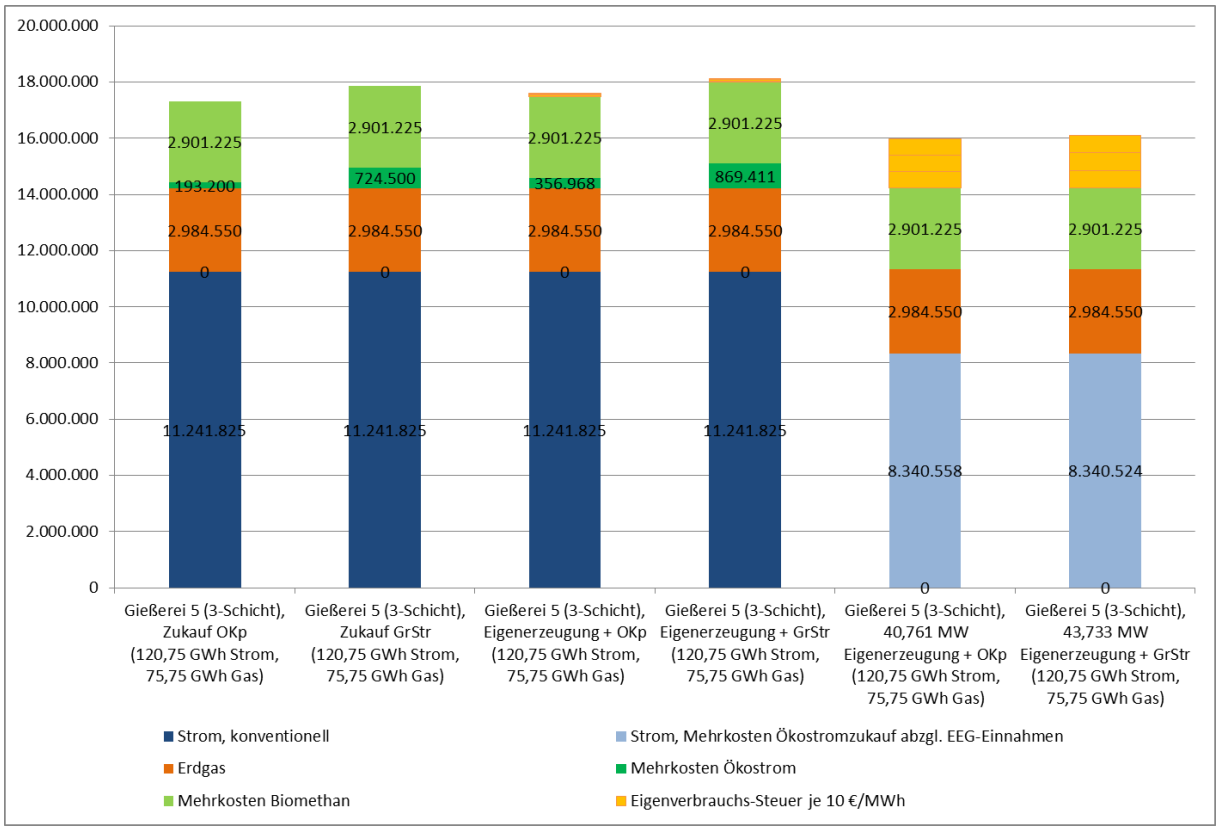
Wer Strom aus erneuerbaren Energien selbst erzeugt und ohne Inanspruchnahme des öffentlichen Netzes den selbst erzeugten Strom auch selbst verbraucht, ist von der EEG-Umlage vollständig befreit. Des Weiteren entfallen – je nach konkreter Konstellation – ebenfalls Netzentgelte, Stromsteuer, Konzessionsabgabe, KWK-Umlage sowie Mehrwertsteuer. Trotz des Eigenverbrauchs wird das öffentliche Netz jedoch weiter benötigt und in Anspruch genommen (Spitzenlastdeckung, Back-up, Systemdienstleistungen etc.). Obgleich die Kosten für das Gesamtsystem durch eine Verringerung der aus dem Netz gekauften kWh nicht proportional sinken, werden die meisten Abgaben und Steuern jedoch pro kWh verrechnet. In der Folge kommt es zu Preisverzerrungen und erheblichen Verteilungseffekten, da durch die Begünstigung des selbst erzeugten Stroms die übrigen Stromverbraucher eine entsprechend höhere EEG-Umlage sowie höhere Netzentgelte zahlen müssen, da die Abgaben auf weniger Schultern verteilt werden [vgl. BMU 2013]. Vor diesem Hintergrund wird (z.B. im Rahmen des 6.EEG-Dialogs) diskutiert, ob und wie durch eine Anpassung der Abgabenbefreiung diesen negativen Effekten entgegengewirkt werden könnte.

Daher wurde im Rahmen der vorliegenden Studie zusätzlich für die sechs Modellgießereien untersucht, inwieweit sich eine steuerliche Abgabe in Höhe von 1, 2 oder 3 ct/kWh auf die Wirtschaftlichkeit ihrer Stromeigenerzeugung auswirken würde.

Die Untersuchung ergab, dass eine solche steuerliche Abgabe bei mittleren Gießereibetrieben mit einem geringen Gasanteil (Modellgießereien 3 und 4) die durch die Eigenerzeugung bzw. Einspeisung von Strom aus Windkraftanlagen realisierbaren Gewinne verringert, jedoch nicht in Mehrkosten umkehrt. Dies ist ebenfalls der Fall für kleinere bis mittlere Gießereibetriebe mit einem höheren Gasanteil (Modellgießereien 2 und 6). Da die steuerliche Abgabe pro erzeugter bzw. eingespeister kWh zu entrichten ist, würde eine solche Abgabe für große Gießereibetriebe mit hohen Stromverbräuchen (Modellgießereien 1 und 5) eine

enorme Kostenbelastung darstellen und die Wirtschaftlichkeit der Stromeigenerzeugung in weite Ferne rücken. **Abbildung 57** stellt dies noch einmal graphisch dar.

Abbildung 57: Auswirkung einer steuerlichen Abgabe (1, 2 oder 3 ct/kWh) auf die Wirtschaftlichkeit der Stromeigenerzeugung der Modellgießerei 5



wird einmal mehr die Wichtigkeit deutlich, die Entwicklung von Speichertechnologien stärker voranzutreiben, damit diese möglichst schnell im industriellen Maßstab zur Verfügung stehen.

Inwieweit sich der Einsatz erneuerbarer Energie in der Zukunft wirtschaftlich wie auch unter sozialen Aspekten sinnvoll und umsetzbar gestaltet, ist schwer zu sagen. Denn eine perspektivische Abschätzung für den Einsatz erneuerbarer Energien (EE) in der Gießereiindustrie ist von vielen Unsicherheiten und Einflussfaktoren nicht nur hinsichtlich der künftigen Entwicklung der Energiepreise geprägt, sondern insbesondere auch bezüglich der Rahmenbedingungen eines möglicherweise veränderten EnergiemarktdesignIn der **Abbildung 57** ist die steuerliche Abgabe in Gelb gekennzeichnet, wobei diese in drei Balken unterteilt ist, entsprechend der Höhe der zu entrichtenden Abgabe (1, 2 oder 3ct/kWh).

Für die Modellgießerei 5 würde sich durch die steuerliche Abgabe der Break-Even-Punkt von 43,73 MW auf bis zu 81,43 MW verschieben.

Neben der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeit ist für den Einsatz erneuerbarer

Energieträger in der Gießereiindustrie letztendlich die Gewährleistung der Versorgungssicherheit oberste Prämisse. Da die einzelnen Fertigungsschritte entlang der Gießereiprozesskette weitestgehend eng miteinander verknüpft sind, sind die Möglichkeiten, den Prozess flexibler zu gestalten – etwa durch die zeitliche Entkoppelung einzelner Prozessschritte – limitiert bzw. wäre dies mit einem Mehraufwand an Energie verbunden.

Abgesehen von der (energie)technischen Sicht stellt eine höhere Flexibilität in Gießereien auch unter sozialen Aspekten eine Herausforderung dar. Sollen sich Betriebszeiten etwa stärker der Verfügbarkeit erneu-

erbarer Energie anpassen (z.B. Verlagerung in off-peak-Zeiten, das Wochenende), so wäre hierfür ein Eingriff in die Lebensgewohnheiten des Betriebspersonals notwendig. Um beim Personal die Bereitschaft zu Wochenendarbeit etc. zu erwirken, wäre neben Überzeugungsarbeit auch eine finanzielle Kompensation (höhere Löhne, Wochenendaufschlag etc.) notwendig, die die Produktion von Gussprodukten teurer gestalten würde. Vor diesem Hintergrund s. So werden in Deutschland - bedingt durch den starken EE-Ausbau der letzten Jahre - zunehmend neue Ansätze, sowohl bei der Förderung der Erneuerbaren (EEG) als auch beim generellen Strommarktdesign, diskutiert. Die BMU-Leitstudie [BMU 2012b] geht davon aus, dass die Kosten der erneuerbaren Stromerzeugung zwischen 2025 und 2040 die Kosten der bis dahin rein fossilen Stromerzeugung unterschreiten werden. Mit zunehmender Kostenschere werden auch Maßnahmen zur Erhöhung des EE-Anteils bspw. durch Speichertechnologien zunehmend attraktiv. Vor diesem Hintergrund dürfte es nur eine Frage der Zeit sein, dass sich erneuerbare Energien selbst in Industriezweigen mit bisher sehr geringen konventionellen Strombezugskosten durchsetzen werden, wobei der CO_2-Preis einen maßgeblichen Treiber darstellt.

Hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit des Einsatzes von Biomethan zur Substitution von Erdgas lässt sich sagen, dass wegen der begrenzten Biomasse-Potenziale und dem gleichzeitig aufgrund des weltweit zunehmenden Fleischkonsums steigenden Flächenbedarfs für die Nahrungsmittelproduktion keine nennenswerte Kostenreduktion für Biomethan zu erwarten ist.

Mit Blick auf die soziale Machbarkeit des Einsatzes erneuerbarer Energien bleibt festzuhalten, dass es die Bereitschaft zur Flexibilisierung bezüglich Tätigkeiten und Arbeitszeit bei den Beschäftigten der Gießereiindustrie durch intensives Informieren über die Notwendigkeit des Klimaschutzes aufzubauen gilt. Diese Tätigkeiten zur Information und Motivation müssen über einzelne betriebliche Aktivitäten hinausgehen und sind als eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe zu sehen, die sich u. a. auch in Arbeitszeitregelungen widerspiegeln sollte.

12 Quellenverzeichnis

- **AGEE 2010:** Erneuerbare Energien 2020 – Potenzialatlas Deutschland. Agentur für Erneuerbare Energien e.V. (AGEE), Berlin, 2010
- **AGEE Stat 2013:** Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2012 – Grafiken und Tabellen, Februar 2013; abrufbar unter: **http://www.erneuerbare-energien.de/fileadmin/Daten_EE/Dokumente__PDFs_/hgp_d_ppt_2012_fin_bf.pdf**
- **AVNEG 2012:** Rapportage Routekaart Metallurgische Industrie en Gieterijen
- **BCG 2013:** Trendstudie 2030+ - Kompetenzinitiative Energie des BDI. The Boston Consulting Group (BCG) im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Industrie (BDI), März 2013
- **BDEW 2012**: BDEW-Strompreisanalyse Oktober 2012 – Haushalte und Industrie, Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), Berlin, 2012
- **BDEW 2013**: Erneuerbare Energien und das EEG: Zahlen, Fakten, Grafiken (2013) – Anlagen, installierte Leistung, Stromerzeugung, EEG-Auszahlungen. Marktintegration der Erneuerbaren Energien und regionale Verteilung der EEG-induzierten Zahlungsströme; Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft (BDEW), Berlin, 31.01.2013
- **BDGuss 2012**: www.bdguss.de, Informationen und Datenbanken.
- **BLWE 2012:** Überblick zu den landesplanerischen Abstandsregelungen für die Regionalplanung zur Ausweisung von Windenergiegebieten, Bund-Länder Initiative Windenergie, Stand Januar 2012, abrufbar unter http://www.bmu.de/fileadmin/bmu-import/files/pdfs/allgemein/application/pdf/abstandempfehlungen_bf.pdf
- **BMU 2008:** Verbesserung der Systemintegration der Erneuerbaren Energien im Strombereich. Handlungsoptionen für eine Modernisierung des Energiesystems. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Mai 2008, Berlin
- **BMU 2011a:** Erneuerbare Energien. Einstieg in die Zukunft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin, November 2011
- **BMU 2011b:** Erneuerbare Energien – Innovationen für eine nachhaltige Energiezukunft. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin, Oktober 2011
- **BMU 2012a:** Erneuerbare Energien in Zahlen. Nationale und internationale Entwicklung. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin, Juli 2012
- **BMU 2012b:** Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global – Schlussbericht. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 2011, Berlin
- **BMU 2012c**: Reform des EEG – Politischer Dialog. Thesenpapier zu „Photovoltaik – Auf dem Weg zur Marktfähigkeit“. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 9.Nov. 2012, Berlin
- **BMU 2012d:** Ergebnisse des EEG-Dialogs am 28.Nov.2012: Photovoltaik – Auf dem Weg in die Marktfähigkeit. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 28.Nov. 2012, Berlin
- **BMU 2013:** Thesenpapier 6. EEG-Dialogforum „Ausnahmeregelungen im EEG“, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), 14.03.2013

- **BMWi 2010:** Energieeffizienz – Made in Germany. Energieeffizienz im Bereich Industrie, Gebäudeanwendungen und Verkehr, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), März 2010, Berlin
- **BMWi 2012:** Energiedaten – nationale und internationale Entwicklung, Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), abrufbar unter: http://www.bmwi.de/DE/Themen/Energie/Energiedaten/gesamtausgabe.html
- **BNetzA 2013**: Biogas-Monitoringbericht 2013, Bundesnetzagentur für Elektrizität, Gas, Telekommunikation, Post und Eisenbahnen, Bonn, 2013
- **Bühler 2012:** Energy Consulting Bühler, Bühler Druckguss AG, Uzwil, Schweiz, 2012.
- **BSW 2012**: Fahrplan Solarwärme. Strategie und Maßnahmen der Solarwärme-Branche für ein beschleunigtes Marktwachstum bis 2030. Bundesverband Solarwirtschaft (BSW), Juni 2012, Berlin
- BWE 2012: Potenzial der Windenergienutzung an Land – Kurzfassung, Hrsg. Bundesverband Windenergie (BWE),Bearbeitung Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES) Abteilung Energiewirtschaft und Netzbetrieb; 2.Auflage, Berlin, März 2012
- **CAEF 2012**: Com. 7. Jahresbericht des europäischen Gießerei-Verbandes CAEF, Düsseldorf 2012.
- **Dena 2012**: Strategieplattform Power to Gas. Deutsche Energie-Agentur (dena), abrufbar unter: www.powertogas.info
- **Deutsche Windguard 2012,** Auswirkungen des Regierungsentwurfs zum EEG 2012 auf die Windenergie an Land – Kurzgutachten. Im Auftrag vom Wirtschaftsverband Windkraftwerke e.V. (WVW) und Bundesverband Windenergie (BWE), abrufbar unter http://www.eeg-aktuell.de/wp-content/uploads/2011/06/Kurzgutachten-WVW_BWE_2011-06-23.pdf
- **Deutscher Gewerkschaftsbund 2013: Energieumstieg: Gut für Klima, Arbeitsplätze und Wohlstand – Wege zu einer sozial-ökologischen Energiewende. Berlin 2013**
- **Deutscher Gießereiverband 2007: Flexible Arbeitszeiten – konstante Personalstückkosten, Düsseldorf 2007**
- **DEWI 2013**: Windenergienutzung in Deutschland – Stand 31.12.2012, Deutsches Windenergie Institut (DEWI), abrufbar unter: http://www.dewi.de/dewi/index.php?id=47&L=1
- **DGV 2008**: Abteilung Betriebswirtschaft, Düsseldorf 2008.
- **DISA 2012**: Angaben zu Maschinen und Anlagen. www.disagroup.com
- **DLR et al. 2012:** „Langfristszenarien und Strategien für den Ausbau der erneuerbaren Energien in Deutschland bei Berücksichtigung der Entwicklung in Europa und global-Schlussbericht“, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Stuttgart; Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), Kassel; Ingenieurbüro für neue Energien (IFNE), Teltow; 29. März 2012
- **Effiziente Energieverwendung** in der Industrie – Teilprojekt „Metallschmelzbetriebe“; Effiziente Energienutzung in Nicht-Eisen-Metall-Schmelzbetrieben; Herausgeber: Bayerisches Landesamt für Umweltschutz; Augsburg 2005
- **Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009**. IfG gGmbH im Auftrag des BDG. Düsseldorf 2009.
- **Erdwärmeliga 2012**: installierte Leistung nach Bundesländern, abrufbar unter: http://www.erdwaermeliga.de/erdwaermeliga-bundesliga.html , konsultiert am 06.02.2013

- **FNR 2013:** Basisdaten Bioenergie Deutschland – August 2013, Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), 2013
- **Foundrybench 2012**. Ergebnisse eines EU- Projektes mit IfG-Beteiligung
- **Fraunhofer ISE 2012**: Studie Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien. Fraunhofer-Institut für solare Energiesysteme ISE, Mai 2012, Freiburg
- **Fraunhofer IWES 2012:** Vorstudie zur Integration großer Anteile Photovoltaik in die elektrische Energieversorgung, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik (IWES), 29.05.2012, Kassel
- **Fraunhofer IWES 2013:** windmonitor – räumliche Verteilung der installierten Nennleistung, Fraunhofer Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik – IWES, Kassel, abrufbar unter http://windmonitor.iwes.fraunhofer.de/windwebdad/www_reisi_page_new.show_page?page_nr=25&lang=de , Seite konsultiert am 11.03.2013
- **Fraunhofer ISE 2013:** Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland; Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Fassung vom 12.09.2013, Freiburg
- **FNR 2013:** Faustzahlen Biogas, Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe (FNR), abrufbar unter: http://www.biogasportal.info/daten-und-fakten/faustzahlen/ , Seite konsultiert am 25.03.2013
- **Hüttenrauch & Müller-Syring 2010:** Zumischung von Wasserstoff zum Erdgas, in energie | wasser-praxis 10/2010, S. 68-71
- **Iden 2012**. Informationen von Hr. Iden, Fa. Hüttenes-Albertus, Düsseldorf.
- **IfG 2008**. Ergebnisse einer Untersuchung des IfG in mehreren Gießereien.
- **IfG 2012**: Entwicklung von carbonisierten Biomasse-Rückständen als alternative Energieträger für den Kupolofenprozess. AiF-Vorhaben, laufend, 2012.
- **ISE 2013**: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Fraunhofer ISE, Freiburg, 10.03.2013
- **Karl Casper Guss GmbH & Co. KG 2012:** Gießerei im Zeichen der Energiewende. In: Giesserei-Erfahrungsaustausch, Nr. 7+8, S. 37.
- **Kirchen 2006:** Kirchen, M.: Energieeffizienz und Emissionen der Lichtbogenöfen in der Stahlindustrie. Genehmigte Habilitationsschrift von der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen, 2006.
- **Koenenmann, Detlef 2012:** 150 Meter und mehr. Marktübersicht der Windenergie – Großanlagen. In *Sonne, Wind & Wärme* 07/2012, S.64-70
- **Kombikraftwerk 2013:** www.kombikraftwerk .de
- **Lauterbach et al. 2011:** Das Potenzial solarer Prozesswärme in Deutschland. Teil I des Abschlussberichtes zum Forschungsvorhaben „SOPREN –Solare Prozesswärme und Energieeffizienz“, Lauterbach, C., Schmitt, B., Vajen, K. Institut für Thermische Energietechnik, Universität Kassel, Dezember 2011, Kassel
- **Leikom 2009**: Ergebnisbericht über BMBF gefördertes Vorhaben „Nachhaltige und innovative Produktion von Leichtbau-Komponenten“. Düsseldorf 2009.
- **Lemperle 2012**: Informationen von M. Lemperle, Fa. Küttner, Essen 2012..

- **Leopoldina 2012:** Bioenergie: Möglichkeiten und Grenzen. Empfehlungen. Deutsche Akademie der Naturforscher Leopoldina – Nationale Akademie der Wissenschaften, Halle 2012
- **Neumann, F**.: Gusseisen. Renningen-Malmsheim 1999.
- **Okada**, Tamio; Yoshikawa, Hideo ; Murata Katsumi, Hite Mel-Keeper, Georg A.: Ein kontinuierlich arbeitender Schmelz- und Warmhalteofen für Aluminiumdruckguss; Giesserei 93; 09/2006
- **Pacific Alloy 2012:** Harnesses Sun's Power. In: Modern Casting, Nr. 1, S. 34-37
- **Quaschning 2012a**: Weltweit installierte Photovoltaikleistung. Prof. Volker Quaschning; abrufbar unter: http://www.volker-quaschning.de/datserv/pv-welt/index.php
- **Quaschning 2012b**: Interview: 200 GW sind einfach logisch. Quaschning, Beyer, Burger; abrufbar unter: http://www.volker-quaschning.de/interviews/2012/Photovoltaik_2012-09/index.php
- **Reuter 2012:** Die Helden der Wende. In: Wirtschaftswoche Green Economy Sonderheft, November, S. 6-15.
- **Schumacher 2011**. GIESSEREI 2011, Nr. 4, S. 68 ff.
- **Stern 2007,** Stern Review „The Economics of Climate Change", Stern, N., 2007
- **Technikerhebung 2012**. Ergebnis aus Technikerhebung in Gießereien im Rahmen des Projektes UFOPLAN 2012.
- **UBA 2010**: Energieziel 2050: 100% Strom aus erneuerbaren Quellen, Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau, Juni 2010
- **UFOPLAN 2013**:: INNOVATIVE TECHNIQUES: BEST AVAILABLE TECHNIQUES (BAT) IN SELECTED INDUSTRAIL AREAS - SUBPROJECT 3 - FOUNDRIES ; im Auftrag des Umweltbundesamtes; noch unveröffentlichtes Ergebnis, Dessau 2013.
- **Umweltbundesamt**. Merkblatt über Beste Verfügbare Techniken in der Gießereiindustrie; Umweltbundesamt; Juli 2004.
- **Wenk 2006**. Vortrag von L. Wenk über Schmelzeinrichtungen in NE-Gießereien. Düsseldorf 2006.
- **WFG 2011**, Vorbereitung und Begleitung der Erstellung des Erfahrungsberichtes 2011 gemäß § 65 EEG, Vorhaben IIb (Geothermie), Endbericht, Wirtschaftsforum Geothermie e.V. (WFG), Juni 2011, Augsburg
- **Test 2012**: „Nicht jeder Tarif ist grün", in *test* 02/2012, Stiftung Warentest
- **Zfes 2012:** Stromspeicherpotenziale für Deutschland, Zentrum für Energieforschung Stuttgart (Zfes), Juli 2012