

TEXTE

82/2014

# **Innovative Techniken: Beste verfügbare Techniken (BVT) in ausgewählten industriellen Bereichen Teilvorhaben 3: Gießereien**

**Volume 3: Technikerhebung 2012**



TEXTE 82/2014

Umweltforschungsplan des  
Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3710 44316 TV 3  
UBA-FB 002009

**Innovative Techniken:  
Beste verfügbare Techniken (BVT) in  
ausgewählten industriellen Bereichen  
Teilvorhaben 3: Gießereien**

**Volume 3: Technikerhebung 2012**

von

Dr.-Ing. Horst Wolff

Institut für Gießereitechnik gGmbH, Düsseldorf

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## **Impressum**

### **Herausgeber:**

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[info@umweltbundesamt.de](mailto:info@umweltbundesamt.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

 [/umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)  
 [/umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

### **Durchführung der Studie:**

Institut für Gießereitechnik gGmbH  
Sohnstr. 70, 40237 Düsseldorf

### **Abschlussdatum:**

2013

### **Redaktion:**

Fachgebiet III 2.2 Ressourcenschonung, Stoffkreisläufe, Mineral- und Metallindustrie  
Dr. Fabian Jäger

### **Publikationen als pdf:**

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/innovative-techniken-besten-verfuegbare-techniken>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Dezember 2014

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3710 44316 TV 3 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.



## **Kurzbeschreibung**

Band 3 des Berichts umfasst eine Erhebung zur Verbreitung von Verfahren der Fertigungs- und der Umwelttechnik in deutschen Gießereien.

## **Abstract**

Volume 3 of the report covers a survey on processes and techniques in German foundries regarding production processes and environmental technologies.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	7
Tabellenverzeichnis.....	9
2 Zusammenfassung .....	10
3 Summary .....	16
4 Einleitung, Ziel und methodisches Vorgehen.....	22
4.1 Technikerhebung: Fe- und NE-Guss Beteiligung an der Datenerhebung.....	23
5 Volkswirtschaftliche Bedeutung der deutschen Gießereiindustrie und ihrer Produkte.....	24
5.1 Unternehmen und Beschäftigte.....	24
5.2 Standorte.....	24
5.3 Gussproduktion und Abnehmerbereiche .....	25
5.4 Produkte.....	25
5.4.1 Die deutsche Gießereiindustrie im internationalen Vergleich.....	28
5.4.2 Abnehmerstruktur.....	30
5.5 Nachhaltigkeit der Gussprodukte .....	31
5.5.1 Automobilindustrie .....	32
5.5.2 Schienenfahrzeugbau .....	36
5.5.3 Luftfahrt.....	36
5.5.4 Windenergieanlagenbau.....	37
5.5.5 Gezeitenkraftwerke / Strömungskraftwerke / Wellenkraftwerke .....	39
5.5.6 Allgemeiner Maschinenbau .....	40
5.5.7 Nachhaltige Gussproduktion und Entwicklungstrends der Gießereiunternehmen.....	41
6 Schmelzbetrieb in Gießereien .....	47
6.1 Schmelz- und Warmhalteöfen .....	47
6.1.1 Eisen- und Stahlgießereien .....	47
6.1.2 Nichteisenmetallgießereien .....	52
6.2 Pfannenvorbehandlung, -wärmung .....	54
6.3 Abwärmennutzung .....	56
7 Form- und Kernherstellung .....	56
7.1 Sandguss .....	56
7.1.1 Nassguss-Verfahren .....	56
7.1.2 Formverfahren mit chemischen Bindemitteln .....	57

7.1.3	Formverfahren ohne Bindemittel.....	59
7.2	Herstellung von Serienkernen .....	60
7.3	Schlichten .....	62
8	Gießen bis Ausleeren.....	62
8.1	Sandguss .....	62
8.2	Nassguss-Verfahren .....	62
8.2.1	Verfahren mit chemischen Bindemitteln.....	63
8.3	Kokillengießen, Schleudergießen .....	63
8.4	Druckgießen .....	64
8.5	Feingießen und Genaugießen.....	65
8.6	Glockengießen .....	66
9	Formstoffaufbereitung und Formstoffsregenerierung .....	66
9.1	Bentonitgebundener Formstoff.....	67
9.2	Chemisch gebundener Formstoff .....	67
10	Gussnachbehandlung und Wärmebehandlung.....	68
11	Strahlen.....	68
11.1	Putzen von Rohguss .....	69
11.2	Wärmebehandlung .....	69
12	Luftreinhaltung in Gießereien .....	70
12.1	Luftreinhaltung in Schmelzbetrieben .....	70
12.1.1	Abgaserfassung.....	70
12.1.2	Abluftreinigung .....	70
12.2	Luftreinhaltung bei Form- und Kernherstellung .....	72
12.2.1	Staubfreisetzung und Ablufterfassung .....	72
12.3	Luftreinhaltung beim Gießen, Abkühlen und Ausleeren .....	73
12.3.1	Ablufterfassung.....	73
12.3.2	Abluftreinigung .....	74
12.4	Luftreinhaltung bei Formstoffaufbereitung und -regenerierung .....	74
12.4.1	Ablufterfassung.....	74
12.4.2	Abluftreinigung .....	75
12.5	Luftreinhaltung in der Gussbehandlung und Wärmebehandlung.....	75
12.5.1	Ablufterfassung.....	75
12.5.2	Abluftreinigung .....	75
12.6	Luftreinhaltung in Gießereien - Übersicht .....	76
13	Quellen .....	79

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Betriebsgrößenstruktur in der Deutschen Gießerei-Industrie.....	25
Abbildung 2:	Werkstoffstruktur in der Deutschen Gießerei-Industrie.....	26
Abbildung 3:	Gussproduktion in der Deutschen Gießerei-Industrie [Schumacher 2011, CAEF-Com. 7].....	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 4:	Produktivität in der Deutschen Gießerei-Industrie [Schumacher 2011].....	28
Abbildung 5:	Produktionsmenge von Eisen-, Stahl- und Temperguss in Europa 2011 [CAEF, Com. No. 7, 2012].....	28
Abbildung 6:	Produktionsmenge von Nichteisenmetallguss in Europa in 2011 .....	29
Abbildung 7:	Produktivität Eisen,- Stahl- und Temperguss in Europa 2011 [CAEF, Com. No. 7,2012].....	29
Abbildung 8:	Produktivität Nichteisenmetallguss in Europa in 2011 [CAEF, Com. No. 7,2012].....	30
Abbildung 9:	Abnehmerstruktur in der Deutschen Gießerei-Industrie.....	30
Abbildung 10:	Anteil der unterschiedlichen Fahrzeugbaugruppen am Gesamtgewicht der Gussteile in einem VW Golf [LeiKom 2010].....	32
Abbildung 11:	Anteile der Gusswerkstoffe am Gesamtgewicht der Gussteile in einem VW Golf [LeiKom 2010].....	33
Abbildung 12:	Schritte zur Gewichtsreduzierung eines Zylinderkurbelgehäuses .....	33
Abbildung 13:	Ergebnisse der Schlagversuche an baugleichen Querlenkern aus unterschiedlichen Werkstoffen [LeiKom 2010]. .....	34
Abbildung 14:	Hohlgegossene Kurbelwelle aus SiBoDur Kunststoffe .....	35
Abbildung 15:	Bremsklotz für Eisenbahn (Gießerei: EWA).....	36
Abbildung 16:	Prognose der Windenergieentwicklung in Deutschland bis 2020 (neuinstallierte Leistung).....	38
Abbildung 17:	Gusskomponenten in einer Windkraftanlage .....	38
Abbildung 18:	Projektzeichnung eines mit Doppelturbinen ausgestatteten Gezeitenkraftwerks „Seaf-low“ [Bild: Universität Kassel] .....	39
Abbildung 19:	Prototyp „Limpet“ eines 500 kW-Wellenkraftwerks auf der schottischen Insel Islay, demnächst sollen weitere Kraftwerke auch an der deutschen Nordseeküste folgen .....	40
Abbildung 20:	Maschinenbett mit angegossenem Ständer .....	41
Abbildung 21:	Nachhaltigkeit und Innovation .....	42
Abbildung 22:	Kupolofen.....	48
Abbildung 23:	Mittelfrequenz Induktionstiegelofen mit Stauberfassung in der Eisengießerei Siempelkamp, Krefeld .....	50
Abbildung 24:	Lichtbogenofen beim Stahlschmelzen.....	51

Abbildung 25:	Transport von flüssigem Aluminium, Fa. Trimet .....	53
Abbildung 26:	Drehtrommelofen.....	53
Abbildung 27:	Gasporenbrenner-Technologie, Fa. Promeos .....	55
Abbildung 28:	Einsatz des vormontierten KALTEK-Systems in die bereitgestellte Pfanne, Fa. Foseco .....	56
Abbildung 29:	Nassguss-Formanlage.....	57
Abbildung 30:	Gießgrube in einer Gießerei .....	59
Abbildung 31:	Kernschießmaschine .....	60
Abbildung 32:	Kokillenkippgießmaschine.....	64
Abbildung 33:	Druckgießmaschine .....	65
Abbildung 34:	Feingießen.....	66
Abbildung 35:	Durchlaufmischer.....	68
Abbildung 36:	Putzroboter .....	69
Abbildung 37:	Nass- und Trockenabscheidung bei Kupolöfen .....	71

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anzahl von Gießereien und Beschäftigten in Deutschland Quelle: CAEF, Commission No.7, 2012 .....	24
Tabelle 2:	Gussproduktion in Deutschland Quelle: CAEF, Commission No.7 .....	26
Tabelle 3:	Vergleich der Fertigungsverfahren Fügen und Gießen – Stoffbilanz bei der Fertigung eines Bauteils .....	37
Tabelle 4:	Vergleich der Fertigungsverfahren Fügen und Gießen – Energiebilanz bei der Fertigung eines Bauteils.....	37
Tabelle 5:	Anteile der Anwender derartiger Formstoffe und Anteile der Mengen der in Deutschland eingesetzten selbsthärtenden chemischen Formstoffe, Angaben sind gerundet [Iden 2012; Technikerhebung 2012] .....	58
Tabelle 6	Anteile der Anwender derartiger Formstoffe/Verfahren und Anteile der Mengen an Formstoffen für Serienkerne; Angaben sind gerundet [Iden 2012; Technikerhebung 2012 .....	61
Tabelle 7	Verbreitung von Anlagen zur Luftreinhaltung in Gießereien .....	77

## 2 Zusammenfassung

Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Dessau, haben Ökopol GmbH, Hamburg, und das Institut für Gießereitechnik gGmbH, Düsseldorf, zwischen 2010 bis 2013 den aktuellen Stand der Technik in der deutschen Gießereiindustrie ermittelt und dargestellt sowie eine Charakterisierung bzw. quantitative Beschreibung der deutschen Gießereiindustrie durchgeführt.

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse und Informationen wurden Teilberichte erarbeitet. Der erste Band des Gesamtberichtes enthält Vorschläge für Kandidaten für BVT (Best Verfügbare Techniken). Der zweite Band des Berichtes fasst Ergebnisse von Emissionsmessungen in Anlagen der Gießerei-Industrie zusammen.

Der dritte Band ist als Branchencharakterisierung zu verstehen und stellt den Ist-Zustand der deutschen Gießereiindustrie im Jahre 2012 dar. Dabei lag der Schwerpunkt auf der Ermittlung und Beschreibung der quantitativen Verbreitung von Verfahren der Fertigungs- und der Umwelttechnik in deutschen Gießereien.

Die Teilberichte sollen die Grundlage des deutschen Beitrages zur anstehenden Revision des BVT-Merkblattes für die Gießereiindustrie bilden, die voraussichtlich im Jahre 2016 beginnen wird.

Grundlagen der Branchencharakterisierung waren eine Technikerhebung in deutschen Gießereien, Expertengespräche und Recherchen in Literatur- und in Faktendatenbanken der deutschen und der europäischen Gießereivereinigungen.

Die ermittelten Angaben und Daten sind geeignet, um Aussagen für die deutsche Gießereibranche mit ihren rd. 270 Eisen- und Stahlgießereien sowie ihren rd. 340 Nichteisenmetallgießereien (in 2011) zu treffen. Die deutsche Gießerei-Industrie ist eine klassische Mittelstandsbranche: rd. 95 % der Unternehmen beschäftigen bis zu 500 Mitarbeiter.

Gusskomponenten finden als metallische Produkte Einsatz in allen bedeutenden Industriebereichen, wie im Automobil- und Maschinenbau, in der Bauindustrie und der Verkehrstechnik, um nur die besonders mengenrelevanten Bereiche zu nennen. Die Gussproduktion in Deutschland betrug in 2011 an Eisen- und Stahlguss rd. 4,5 Mio. t sowie für Nichteisenmetallguss 1,0 Mio. t. Im europäischen Vergleich ist die deutsche Industrie der größte Gussproduzent.

Sie ist den Zielen einer umweltverträglichen Produktion traditionell verbunden und sieht in nachhaltigem Wirtschaften ein erklärtes Ziel. Effizient werden Energie und Material eingesetzt. Dies zeigt sich beispielsweise in der Verbreitung von Verfahren und Einrichtungen für ein intensives innerbetriebliches Recycling von Formstoffen. Leichtbau ist ein typisches Merkmal gegossener Bauteile, so dass der Energieeinsatz sowohl bei Fertigung der Gussteile als auch bei ihrer Verwendung, beispielsweise in Automobilen, effizient ist.

Die ausführlichen Angaben zu den Verfahren und Anlagen in deutschen Gießereien (Stand: 2012) werden in den folgenden Tabellen zusammenfassend dargestellt. Der überwiegende Teil der Angaben ist gerundet.

Mit dieser Ausarbeitung gibt es erstmalig - ergänzend zu den technischen Beschreibungen in der BREF - eine quantitative Darstellung zur Verbreitung der verschiedenen Fertigungstechniken und der emissionsmindernden Maßnahmen in Gießereien. Damit macht die Darstellung des technischen Standes in der deutschen Gießereiindustrie deutlich, auf welches technische Niveau zukünftige Entwicklungen und BVT aufsetzen können.

**Schmelzbetrieb**

<b>Fertigungsbereich; Anlage</b>	<b>Anlage; Verfahren</b>	<b>Verbreitung von Verfahren und Anlagen</b>
Eisen-Schmelzen		Schmelzanlagen: 30% Kupolofen; 70% Induktionsofen Schmelzleistung: 50% Kupolofen; 50% Induktionsofen
	Kaltwindkupolofen	50 Kupolofenanlagen (mit je 2 Öfen)
	Heisswindkupolofen	25 Kupolofenanlagen
	Induktionsofen	in 140 Eisengießereien (70% der Eisengießereien)
	Drehstrommelofen	< 10 Ofenanlagen
	Koksloser Kupolofen	< 2 Anlagen
Stahlschmelzen	Induktionsofen	in > 40 Stahlgießereien (entspricht 75% der Stahlgießereien)
	Lichtbogenofen	in 13 Stahlgießereien (entspricht 25% der Stahlgießereien)
NE-Schmelzen		3000 bis 4000 Öfen; 70% brennstoff-, 30% elektrisch beheizt
	Gasbeheizter Ofen	1500 bis 2000 Öfen
	Ölbeheizter Öfen	600 bis 800 Öfen
	Elektrisch beheizte Öfen	900 bis 1200 Öfen
	Flüssigmetalleinsatz	in 10 bis 20 Aluminiumgießereien

**Form- und Kernherstellung**

<b>Fertigungsbereich; Anlage</b>	<b>Anlage; Verfahren</b>	<b>Verbreitung von Verfahren und Anlagen</b>
Nassguss	Verfahren und Gussproduktion	in 160 Eisen-, Stahl-Gießereien (=60% der Fe-Betriebe)
	Verfahren und Gussproduktion	in 100 Nichteisenmetall-Gießereien (=30% der NE-Betriebe)
	Anlagentechnik	70% der Verfahrensanwender betreiben automatische Formanlagen; 40% der Verfahrensanwender betreiben Formmaschinen
	Anlagentechnik	80% sind kastengebundene Formanlagen; 20% sind kastenlose Formanlagen
Selbsthärtende Formstoff-bindemittel im Großguss		In 160 Fe-Gießereien (60% der Fe-Gießereien; in 100 NE-Gießereien (30% der NE-Gießereien) <u>Siehe auch separate Übersicht</u>
	Variante: Vollformgießen mit vergasbarem Modell	10 Eisen- und Stahlgießereien
Serienkerne	Maschinen	2500 Kernschießmaschinen sind Gießereien im Einsatz

Fertigungsbereich; Anlage	Anlage; Verfahren	Verbreitung von Verfahren und Anlagen
	Verfahren	Siehe auch separate Übersicht
	Organische Bindemittel	In 200 Gießereien ist Urethan-Cold-Box-Verfahren im Einsatz; 80% aller Serienkerne werden mit diesem Verfahren hergestellt
	Moderne anorganische Verfahren	In 5 bis 10 Aluminiumgießereien
Vakuumformverfahren		< 5 Anlagen
Vollformgießen (Lost foam)		< 5 Anlagen
Formüberzüge		
	Selbsthärtende Formstoffe	vorwiegend Alkoholschlichte; Wasserschlichte zunehmend
	Serienkerne	vorwiegend Wasserschlichte

#### Selbsthärtende Formstoffe im Großguss - Anteile der Anwender derartiger Formstoffe und Anteile der Mengen der eingesetzten Formstoffe

	Furanharz-gebundener Formstoff	Phenolharz-gebundener Formstoff	Pep-Set-Formstoff	Maskenformstoff	Wasserglas-gebundener Formstoff
Anwender in % der deutschen Gießereien					
Eisen- u. Stahl-gießereien (Fe)	60%	<5%	<5%	<1 %	<5%
Nichteisenmetallgießereien (NE)	20%	<5%	<5%	<1%	20%
Verteilung der Formstoffe					
Fe und NE	80%	15%	<3%	<3%	<3%

**Anteile der Anwender derartiger Formstoffe/Verfahren und die Anteile der Mengen der Formstoffe für Serienkerne**

	Ure-than-Cold-Box-Verfahren	Warm-/Hot-Box-Verfahren	Masken-form-Verfahren	SO <sub>2</sub> -Verfahren	Resol-CO <sub>2</sub> -Verfahren	Methylformat-Verfahren	Wasser-glas/Anorganik-Verfahren
<b>Anwender in % der Gießereien</b>							
Eisen-, Stahlgießereien (Fe)	40%	5%	<5%	<2%	<5%	<2%	<5%
Nichteisenmetallgießereien (NE)	30%	15%	<5%	<2%	<5%	<2%	10%
<b>Verteilung der Formstoffe</b>							
- Fe und NE	78%	7%	1%	4%	3%	1%	5%

**Gießen, Abkühlen, Ausleeren**

Fertigungsbereich; Anlage	Anlage; Verfahren	Verbreitung von Verfahren und Anlagen
Sandguss		<a href="#">Siehe Übersicht zur Form- und Kernherstellung</a>
Kokillenguss		Verfahren wird in 170 Nichteisenmetallgießereien (=50% der Nichteisenmetallgießereien) angewendet
		Verfahren wird in < 10 Eisen-, Stahlgießereien angewendet
	Schwerkraftkokillenguss	1200 Anlagen (=60% der Kokillenguss-Anlagen)
	Kippkokillenguss	500 Anlagen (=25% der Kokillenguss-Anlagen)
	Niederdruckkokillenguss	200 Anlagen (=15% der Kokillenguss-Anlagen)
	Schleuderguss	In 30 Buntmetallgießereien; in < 5 Fe-Gießereien
Druckguss		800 Druckgießmaschinen in 80 Druckgießereien
	Kaltkammerdruckguss	Aluminium-, Magnesium- und Kupferbasislegierungen
	Warmkammerdruckguss	Zink- und Magnesiumbasislegierungen
Feinguss und Genauguss		10 industrielle Gießereien; zusätzlich Kunstgießereien
Glockenguss		10 Glockengießereien

**Formstoff-, Gussnach- und Wärmebehandlung**

Fertigungsbereich; Anlage	Anlage; Verfahren	Verbreitung von Verfahren und Anlagen
Formstoffaufbereitung und -regenerierung	Nassguss	alle Anlagen mit Formstoffaufbereitung
		5 Gießereien mit mechanischer oder thermischer Altsandregenerierung
	Chemisch gebundene Formstoffe	
	Großguss	Alle Anlagen mit Formstoffaufbereitung (Mischer)
		>90% der Gießereien mit Altsandregenerierung
	Serienkerne	Alle Anlagen mit Mischer
		5 Gießereien mit thermischer Regenerierung
Gussnachbehandlung		in allen Gießereien; vorwiegend mechanische Verfahren, wie Strahlen, Schleifen, Stanzen
Wärmebehandlung		in allen Stahlgießereien und in 50% der Leichtmetallgießereien

**Luftreinhaltung in Gießereien**

Fertigungsbereich	Gießereitechnische Anlage	Umwelttechnische Anlage	Verbreitung bei Betreibern der gießereitechnischen Anlagen
<b>Schmelzbetrieb</b>			
	Kupolofen	Abgaserfassung	100%
		Trockenentstaubung	80%
		Nassentstaubung	20%
		Adsorbereinsatz	< 5 Anlagen
	E-Ofen	Abgaserfassung, Trockenentstaubung (Fe)	100%
		Abgaserfassung, Trockenentstaubung (NE)	50%
	Brennstoffbeheizte Öfen	Abgaserfassung, Trockenentstaubung (NE)	50%
<b>Form- und Kernherstellung</b>			
	Nassguss	Absaugung	100%
		Trockenentstaubung	90%
		Nassentstaubung	10%

Fertigungsbe-reich	Gießereitechnische Anlage	Umwelttechnische Anlage	Verbreitung bei Betreibern der gießereitechnischen Anlagen
	Kaltharz-Verfahren	Abgaserfassung	60%
		Trockenentstaubung	100%
	Cold-Box-Verfahren	Amin-Wäscher	100%
<b>Gießen, Abkühlen, Ausleeren</b>			
	Nassguss	Ablufterfassung	100%
		Trockenentstaubung	90%
		Nassentstaubung	10%
	Kaltharz-Verfahren	Trockenentstaubung	100%
	Kokillen-, Druckgießen	Erfassungseinrichtung, Luftschieleier.	80%
		Abluftreinigung, Trockenfilter, Elektrofilter u.a.	40%
	Verschiedene Gießver-fahren	Spezielle Gießgasreinigungsverfahren:	
		Biofilter	< 5 Anlagen
		Nachverbrennung	< 5 Anlagen
		Geruchsmindernde Stoffe	5-10 Anlagen
		Adsorberstoffe	< 5 Anlagen
<b>Formstoffaufbereitung, -regenerierung</b>			
	Nassguss	Ablufterfassung	100%
		Trockenentstaubung	90%
		Nassentstaubung	10%
	Kaltharz-Verfahren	Ablufterfassung (Regenerierung)	100%
		Trockenentstaubung	100%
<b>Gussnachbehandlung, Wärmebehandlung</b>			
	Verschiedene Gießver-fahren	Ablufterfassung	100%
		Trockenentstaubung (Fe)	90%
		Nassentstaubung (Fe)	10%
		Trockenentstaubung (NE)	40%
		Nassentstaubung (NE)	60%
		Luftrückführung	30%

### 3 Summary

On behalf of the Federal Environment Agency, Dessau, Germany, new Best Available Techniques BAT and the technical situation in the German foundry industry have been identified and described by Ökopol GmbH, Hamburg, and by the Institute on Foundry Technology gGmbH, Düsseldorf.

The first volume of the report is focused on candidates for new Best Available Technologies (status: 2010 to 2013). The second volume of the report contains a synopsis of the emission measurement results in foundry industry plants. This third volume is focused on the technical status in German foundries in 2012. This study has been a quantitative description of the German foundry industry. The focus has been on the spread of foundry processes and environmental control in the German foundry industry.

All reports will be a basis in the discussion beginning in 2016 (expected) on new BAT in foundries and the German so-called "BVT-Merkblatt".

Basis of the studies has been a survey on processes and techniques in German foundries, expert interviews and research for facts, figures and literature in data bases.

The information and data obtained are suitable for making of statements regarding the German foundry industry with its approx. 270 Iron and Steel foundries and its approx. 340 Non-ferrous metal foundries (in 2011).

The German foundry industry is a typical SME sector: approx. 95% of the companies have up to 500 employees. Castings are important metal parts in all sectors: automotive, mechanical engineering, building etc. The casting production in Germany in 2011: approx. 4.5 Mio t Iron and Steel castings and approx. 1.0 Mio t Non-ferrous metals castings. Germany has the highest production rate of the EU member countries.

The German foundry industry is committed to environmental control traditionally. Its target is sustainable production with high energy and material efficiency: e.g. there is an intensive recycling of metal and sand inside foundries. Casting is the best process for producing light weight parts, so there is high energy efficiency in casting production as well as in use (e.g. in cars).

The description of the processes and parts in foundry shops (in 2012) is summarized in the tables below. Most of the figures have been rounded.

This report is the first one with a description of the spread of foundry equipment and foundry processes and environmental control measures in foundries. It is a helpful basis for the coming discussions on BAT in foundries.

**Melting shop**

Foundry shop; Plant	Plant; Process	Spread of Process and Plant
Iron melting		Melting plants: 30% cupola; 70% induction furnace; Melting rate: 50% cupola; 50% Induction furnace
	Cold blast cupola	50 cupolas (with two single furnaces)
	Hot blast cupola	25 cupolas
	Induction furnace	in 140 iron foundries (=70% of iron foundries)
	Rotary furnace	in < 10 foundries
	Cokeless cupola	< 2 plants
Steel melting	Induction furnace	in > 40 steel foundries (= 75% of the steel foundries)
	Electric arc furnace	in 13 steel foundries (= 25% of the steel foundries)
Non ferrous metal melting		3000 bis 4000 furnaces; 70% gas or oil heated, 30% electric heated
	Gas heating	1500 bis 2000 furnaces
	Oil heating	600 bis 800 furnaces
	Electric heating	900 bis 1200 furnaces
	Liquid metal use	in 10 bis 20 Aluminium foundries

**Moulding and Core Making**

Foundry shop; Plant	Plant; Process	Spread of Process and Plant
Green sands	Process and casting production	in 160 iron and steel foundries (=60% of these Fe foundries)
	Process and casting production	in 100 non ferrous metal foundries (=30% of these NF foundries)
	Plant	70% of the users of this process use moulding plants; 40% of the users of this process use moulding machines
	Plant	80% are flaskless; 20% have flasks
No bake sands		in 160 Fe foundries (60% of the Fe foundries); in 100 NF foundries (30% of the NF foundries) See table below
	Full mould casting	10 Fe foundries
Cores for serial production	Machines	2500 core shooting machines are in core shops
	Process	See table below
	Organic binders	in 200 foundries they use Urethane Cold Box process
	Modern inorganic binders	in 5 bis 10 Aluminium foundries

Foundry shop; Plant	Plant; Process	Spread of Process and Plant
Vacuum process		< 5 plants
Lost foam process		< 5 plants
Coatings		
	No bake sands	mainly alcohol based coatings; water based coatings increasingly
	Cores for serial production	Mainly water based coatings

#### No bake sands – Share of users of no bake sands and share of no bake systems

	Furan resin	Phenolic resin	Pep Set System	Shell moulding (Croning process)	Water glass systems
Share of users in German foundries [%]					
Iron and steel (Fe) foundries	60%	<5%	<5%	<1 %	<5%
Non ferrous metals (NF) foundries	20%	<5%	<5%	< 1%	20%
Share of no bake sands [%]					
Fe and NF	80%	15%	<3%	<3%	<3%

#### Cores for serial production – share of users of these sands and share of processes

	Urethane Cold Box	Warm or Hot	Shell moulding	SO <sub>2</sub>	Resin CO <sub>2</sub>	Methylformate	Water glass
Share of users in German foundries [%]							
Iron and steel (Fe) foundries	40%	5%	<5%	<2%	<5%	<2%	<5%
Non ferrous metals (NF) foundries	30%	15%	<5%	<2%	<5%	<2%	10%
Share of no bake sands [%]							
Fe and NF	78%	7%	1%	4%	3%	1%	5%

**Pouring, Cooling, Shake out**

Foundry shop; Plant	Plant; Process	Spread of Process and Plant
Sand casting		See moulding and core making
Die casting		in 170 NF foundries (=50% of all German NF foundries)
		in < 10 German Fe foundries
	Gravity die casting	1200 plants (=60% of all die casting plants)
	Gravity die casting with tilting	500 plants (=25% of all die casting plants)
	Low pressure diecasting	200 plants (=15% of all die casting plants)
	Centrifugal casting	in 30 heavy metal foundries; in <5 Fe foundries
High Pressure die casting		800 High pressure die casting machines in 80 High pressure die casting foundries
	Cold chamber	Aluminium, Magnesium und Copper based materials
	Warm chamber	Zinc- and Magnesium based materials
Investment casting and Ceramic Shell casting		10 foundries; additionally: casting of fine objects
Casting of bells		10 foundries are producing bells

**Sand Preparation and Reclamation, Fettling and Heat Treatment**

Foundry shop; Plant	Plant; Process	Spread of Process and Plant
Sand preparation and reclamation	Green sands	all plants with sand preparation
		5 foundries with mechanical or thermal sand reclamation
	Chemically binders	
	No bake sands	all plants with sand preparation (mixing)
		>90% of the foundries have mechanical sand reclamation
	Cores for serial production	all plants with mixers
		5 Aluminium foundries have thermal reclamation
Fettling		in all foundries, mainly mechanical processes: sand blasting, grinding etc.
Heat treatment		in all steel foundries and in 50% of the aluminium foundries

**Air Pollution Control in Foundries**

Foundry shop; plant	Foundry Technique (FT)	Air Pollution Control (APC)	Spread of APC in foundries with the specific FT
<b>Melting Shop</b>			
	Cupola	Exhaust air capture (Eac)	100%
		Bag filter	80%
		Wet dedusting	20%
		Use of adsorbers	< 5 plants
	Electric heated furnaces	Eac, bag filter (Fe)	100%
		Eac, bag filter (NF)	50%
	Gas or oil heated furnaces	Eac, bag filter (NF)	50%
<b>Moulding and Core making</b>			
	Green sands	Eac	100%
		Bag filter	90%
		Wet dedusting	10%
	No bake sands	Eac	60%
		Bag filter	100%
	Urethane cold box process	Amine scrubber	100%
<b>Pouring, Cooling, Shake out</b>			
	Green sands	Eac	100%
		Bag filter	90%
		Wet dedusting	10%
	No bake sands	Bag filter	100%
	Pouring with permanent moulds	Eac, Air stream	80%
		Eac, bag filter, electrostatic filter	40%
	Different foundry processes	Specific air cleaning systems:	
		Biological filter	< 5 plants
		Burning of emissions	< 5 plants
		Additives for smell reduction	5-10 plants
		Adsorbers	< 5 plants
<b>Sand Preparation and Sand Reclamation</b>			
	Green sands	Eac	100%
		Bag filter	90%
		Wet dedusting	10%
	No bake sands	Eac	100%
		Bag filter	100%
<b>Fettling and Heat Treatment</b>			

Foundry shop; plant	Foundry Technique (FT)	Air Pollution Control (APC)	Spread of APC in foundries with the specific FT
	Different foundry processes	Eac	100%
		Bag filter (Fe)	90%
		Wet dedusting (Fe)	10%
		Bag filter (NF)	40%
		Wet dedusting (NF)	60%
		Air recirculation	30%

## 4 Einleitung, Ziel und methodisches Vorgehen

In dem UFOPLAN-Vorhaben zur Ermittlung von Best Verfügbaren Techniken BVT in der Gießereiindustrie, welches von der Ökopol GmbH in Kooperation mit dem Institut für Gießereitechnik gGmbH (IfG) durchgeführt wurde, war eine weitere Ermittlung von Daten und Informationen notwendig geworden. Die deutsche Gießereiindustrie soll bezüglich des bestehenden Anlagenparks und der wirtschaftlichen Bedeutung im Rahmen der BREF-Revision hinreichend charakterisiert werden.

Bei Antragstellung war die Notwendigkeit dieser Informationen nicht bekannt, daher konzentrierten sich die Arbeiten im Rahmen des Vorhabens zunächst ausschließlich auf die Ermittlung und Beschreibung möglicher BVT-Kandidaten. Im Laufe des UFOPLAN-Vorhabens sowie im Rahmen der Arbeit des Umweltbundesamts im TALA (TA Luft Ausschuss) war deutlich geworden, dass die o. g. Kenntnisse eine Grundvoraussetzung für die anstehende BREF-Arbeit sowie für die anschließende nationale Umsetzung der BVT-Schlussfolgerungen sein werden.

Ziel der Erweiterung des UFOPLAN-Vorhabens ist die Ermittlung des aktuellen Anlagenparks sowie der wirtschaftlichen Stellung der deutschen Gießereiindustrie gewesen.

Die Arbeiten umfassten die folgenden Arbeitsschritte:

- 1) Ermittlung von Anzahl, Alter, Kapazität und Beitrag zur Gesamtproduktion von Schmelzöfen sowie Verfahren und Anlagen in anderen emissionsrelevanten Fertigungsbereichen in Deutschland, wie Form- und Kernherstellung, Gießerei bzw. Vergießbereich, Abkühlen und Ausleeren, Sandaufbereitung und Sandregenerierung, Putzerei. Zur Erhebung der Daten sind folgende Quellen genutzt worden: Eine schriftliche Umfrage ist entwickelt, an Gießereien verschickt und ausgewertet worden. Dabei war sicherzustellen, dass die Motivation zur Beteiligung der Gießereien nicht gefährdet wird.
- Bei den Gießereien sind Eisen-, Stahl und Nichteisengießereien in die Studie einbezogen worden.
- Mithilfe von Expertengesprächen sind Informationen von Unternehmen, die Einsatzstoffe und Anlagen für Gießereien herstellen und in Verkehr bringen, erhoben worden.
- 2) Ermittlung und Charakterisierung der eingesetzten Abgasreinigungsanlagen an den Schmelzöfen sowie Anlagen der weiteren Fertigungsbereiche und Darstellung des Zusammenhangs zu Punkt 1
- 3) Eine detaillierte Charakterisierung der (volks-)wirtschaftlichen Bedeutung inkl. der Abnehmerstruktur: In diesem Arbeitsschritt ist die wirtschaftliche Bedeutung der Gießereiindustrie als klassische Zulieferbranche (inkl. der Bedeutung für die Erneuerbaren Energien und Umwelttechnik, Elektromobilität, Zukunftstechnologien) dargestellt worden. Für diesen Teil der Ausarbeitung sind alle veröffentlichten bzw. zugänglichen Informationen recherchiert und verwendet worden – teilweise erarbeitet in den Gießereivereinigungen BDG Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie und VDG Verein Deutscher Giessereifachleute e. V. – den Gesellschaftern der IfG gGmbH.

Bei den folgenden Darstellungen zur Technik liegt der Schwerpunkt auf der Anzahl und auf der Anwendungsbreite von gießereitechnischen Verfahren oder Aggregaten - und nicht auf deren ausführlicher Beschreibung. Derartige 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“ oder des Teils der Ausarbeitung im Projekt UFOPLAN, in der BVT Kandidaten beschrieben sind.

Hinweise auf entsprechende Kapitel im o.g. BREF – im Folgenden kurz: Foundry-BREF genannt – werden in den folgenden Kapiteln gegeben. Damit ist ein schneller Zugriff auf ausführlichere Beschreibungen der jeweiligen Verfahren und Anlagenarten möglich.

Im Folgenden steht „Fe-Gießereien“ für Eisen-, Stahl- und Tempergießereien und „NE-Gießereien“ für Nichteisenmetallgießereien.

## 4.1 Technikerhebung: Fe- und NE-Guss Beteiligung an der Datenerhebung

Die folgende Auflistung beschreibt die Beteiligung an der Datenerhebung.

- Anzahl der angeschriebenen, deutschen Gießereien:
  - 205 Fe-Gießereien und 173 NE-Gießereien
- Anzahl der davon eingegangenen und ausgewerteten Datenblätter:
  - Eisen-, Stahl- und Tempergießereien mit 1 -187.000 jato Produktion in 2011:
    - Eisenguss (inkl. Temperguss): 34 Betriebe
    - Stahlguss: 10 Betriebe
  - Nichteisenmetallgießereien mit < 1 - 53.000 jato Produktion in 2011:
    - Leichtmetallguss: 17 Betriebe
    - Schwermetallguss: 6 Betriebe
  - Ermittelte Daten im Verhältnis zur Deutschen Gießereiindustrie bzgl.
    - Anzahl der Eisengießereien: 16%
    - Produktion Eisenguss: 14%
    - Anzahl Stahlgießereien: 19%
    - Produktion Stahlguss: 13%
    - Anzahl der NE-Gießereien: 6%
    - Produktion Leichtmetallguss: 8%
    - Produktion Buntmetallguss: 4%

Die ermittelten Daten sind geeignet, um Aussagen für die deutsche Gießereibranche zu treffen. Die Größenverteilung der Gießereien, die sich an der Erhebung beteiligt haben, deckt das Spektrum in der Gießereibranche ab. Bei den Eisengießereien, die sich beteiligten, handelt es sich um Betriebe mit ca. 1 bis 187.000 t Jahresproduktion und bei den Nichteisenmetallgießereien um Betriebe mit <1 bis 53.000 t Jahresproduktion.

Ohne die breite Unterstützung durch alle Beteiligten wäre eine aktuelle Beschreibung von Verbreitung und Anwendungsbreite von Gießere 技术 in deutschen Gießereien nicht möglich gewesen – hierfür sei allen Beteiligten gedankt.

## 5 Volkswirtschaftliche Bedeutung der deutschen Gießereiindustrie und ihrer Produkte

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 1.1

### 5.1 Unternehmen und Beschäftigte

Die folgende Tabelle beschreibt Anzahl von Gießereien und Beschäftigte in Deutschland.

Tabelle 1: Anzahl von Gießereien und Beschäftigten in Deutschland Quelle: CAEF, Commission No.7, 2012

		2007	2011	Anmerkungen
<b>Eisengießereien</b>				
Anzahl der Gießereien	Eisengießereien	201	keine Angabe	Gusseisen mit Lamellengraphit und mit Kugelgraphit
Anzahl der Gießereien	Tempergießereien	11	keine Angabe	Temperguss
Anzahl der Gießereien	Eisen- und Tempergießereien	212	215	alle Gusseisenwerkstoffe
<b>Stahlgießereien</b>				
Anzahl der Gießereien	Stahlgießereien	53	53	
<b>Eisen-, Stahl- und Tempergießereien</b>				
Anzahl der Beschäftigten		4550 1	45807	
<b>Nichteisenmetallgießereien</b>				
Anzahl der Gießereien	Nichtmetallgießereien, alle	342	344	
Anzahl der Beschäftigten		3323 5	32146	
<b>Gießereien, gesamt</b>				
Anzahl der Gießereien		607	612	
Anzahl der Beschäftigten		7873 6	77953	

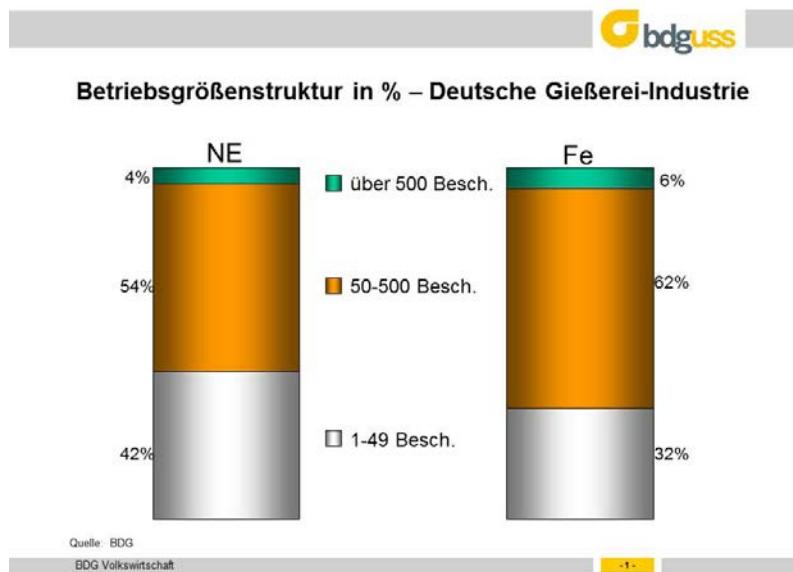
Aus dem Ergebnis der Technikerhebung hochgerechnet auf die deutsche Gießereiindustrie gießen etwa 270 Gießereien Leichtmetall- und 120 Gießereien Buntmetalllegierungen.

### 5.2 Standorte

Die Gießerei-Industrie ist bundesweit vertreten. In jedem Bundesland befinden sich Gießereien, wobei die Schwerpunkte in Nordrhein-Westfalen und Süddeutschland liegen [BDGUSS 2012].

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 1: Betriebsgrößenstruktur in der Deutschen Gießerei-Industrie



### 5.3 Gussproduktion und Abnehmerbereiche

#### 5.4 Produkte

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.

Die Werkstoffstruktur des Eisen-, Stahl- und Temperguss umfasst 56 % Gusseisen mit Lamellengraphit (Grauguss) sowie 37 % Gusseisen mit Kugelgraphit (Sphäroguss). Auf Stahlguss entfallen 6 % der Gesamtfertigung. Temperguss-Komponenten beanspruchen als hochspezialisierter Ni-schenwerkstoff 1 % des Produktionsvolumens.

Über 80 % der NE-Metallgussfertigung ist Aluminiumguss. Ergänzend kommen im Leichtmetallguss noch ca. 3 % Magnesium-Komponenten dazu. Die Buntmetallguss-Erzeugnisse sind geprägt durch ca. 12 % Kupferguss sowie rund 5 % Zinkguss. Weitere NE-Metallgusssparten sind unter 1 % Anteil und spielen mengenmäßig keine dominante Rolle.

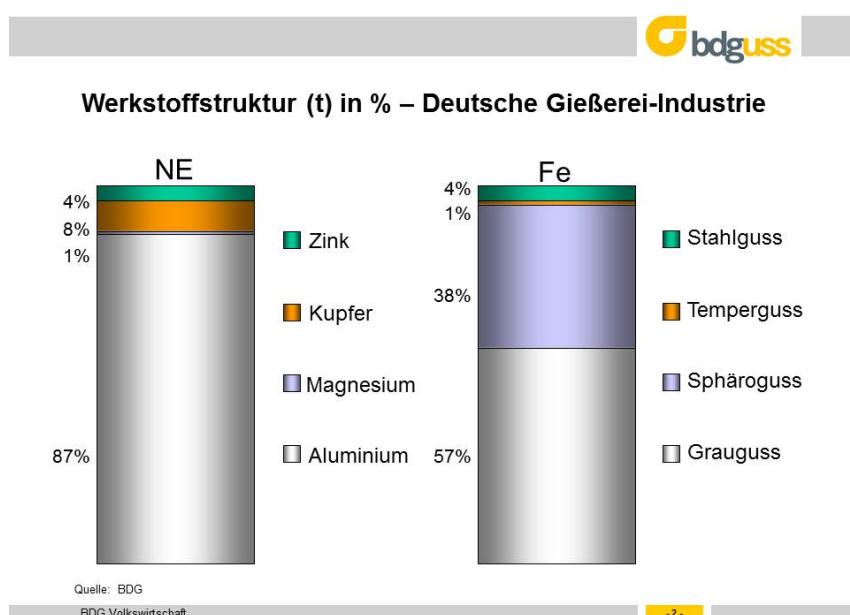
Aktuelle Zahlen zur Gussproduktion in Deutschland zeigt Tabelle 2.

Tabelle 2: Gussproduktion in Deutschland Quelle: CAEF, Commission No.7

		2007	2011	Anmerkungen
<b>Eisenguss</b>				
Produktion, in 1000t	Gusseisen mit Lamellengraphit	2.717,10	2.541,00	
Produktion, in 1000t	Gusseisen mit Kugelgraphit	1.796,30	1.733,40	
Produktion, in 1000t	Temperguss	58,9	35,1	
<b>Stahlguss</b>				
Produktion, in 1000t	Stahlguss	211,2	217,5	
<b>Nichteisenmetallguss</b>				
Produktion, in 1000t	Aluminium-Sandguss/Kokillenguss	420,3	385,06	
Produktion, in 1000t	Aluminium-Druckguss	459,48	448,91	
Produktion, in 1000t	Magnesium-Sand-/Kokillenguss	1,3	0,01	
Produktion, in 1000t	Magnesium-Druckguss	30,31	14,88	
Produktion, in 1000t	Kupferguss, gesamt	96,57	78,1	
Produktion, in 1000t	Kupferguss, davon Sandguss/Kokillenguss	49,42	34,97	
Produktion, in 1000t	Zinklegierung, gesamt	72,32	37,94	
Produktion, in 1000t	Zinklegierung, davon Druckguss	72,04	keine Angabe	

Abbildung 2 visualisiert die relative Verteilung bezogen auf die jährliche Gesamtproduktion.

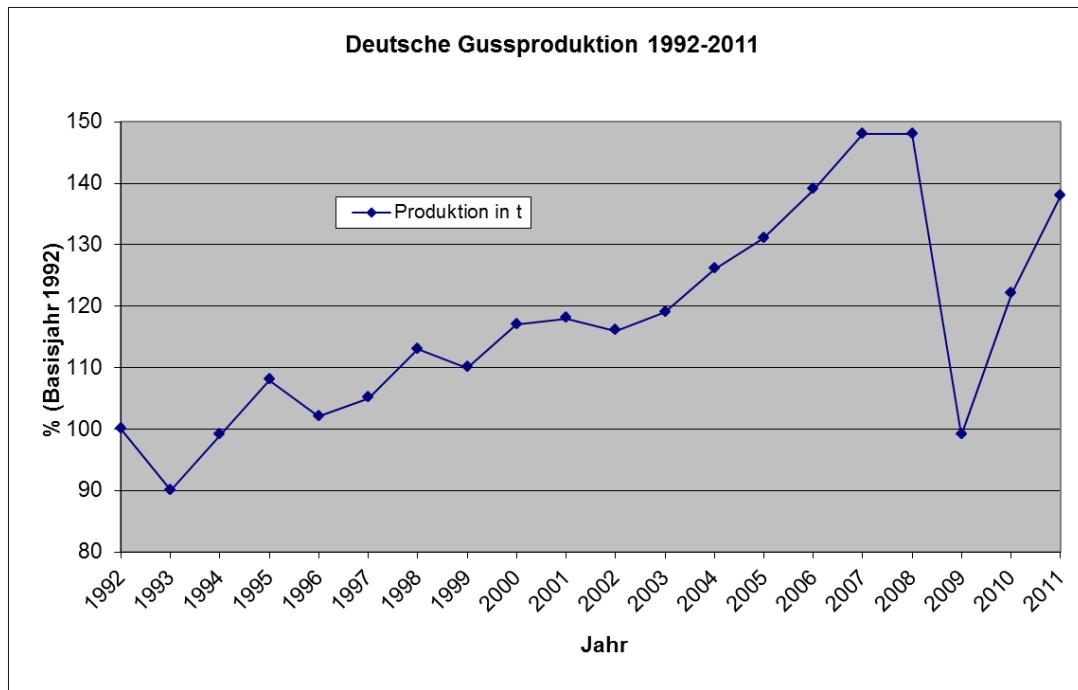
Abbildung 2: Werkstoffstruktur in der Deutschen Gießerei-Industrie



Der Umsatz der deutschen Gießereien betrug in 2011 13.651 Mio. € - in Eisen-, Stahl- und Tempergießereien 8.207 Mio. € und in Nichteisenmetallgießereien 5.444 Mio. € [CAEF, Commission No.7].

Die deutsche Gussproduktion verzeichnete in den letzten Jahren einen deutlichen Anstieg, der lediglich in der Weltwirtschaftskrise (2008/2009) unterbrochen wurde (Abbildung 3)

Abbildung 3: Gussproduktion in der Deutschen Gießerei-Industrie [Schumacher 2011, CAEF Com. 7]

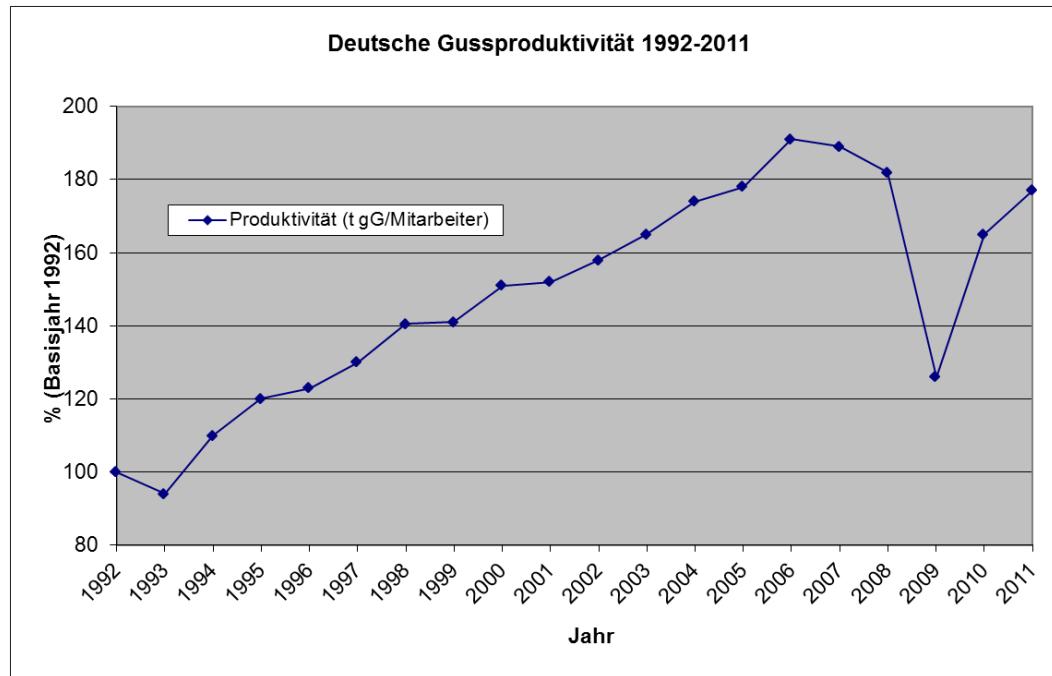


Bei der Interpretation der Grafik ist zu berücksichtigen, dass eine Darstellung der Entwicklung der Produktion in „Masse“ Trends zu höherwertiger Gussproduktion mit gewünscht weniger Masse je Bauteil (siehe Abschnitt Leichtbau) nicht berücksichtigt.

Wie die Gusserzeugung nahm auch die Produktivität (Produktionsmenge je Beschäftigtem) kontinuierlich zu (Abbildung 4).

Bei Betrachtung des Energieeinsatzes der gesamten Gießereien ist eine Steigerung von etwa 10% bei der Energieeffizienz (spezifischer Energieeinsatz je Tonne guter Guss zwischen 1992 und 2008 (vor der Weltwirtschaftskrise) zu verzeichnen. Dies erscheint auf dem ersten Blick bei der Länge des Betrachtungszeitraums wenig zu sein. Es ist allerdings zu sehen, dass die Verbesserungen der Energieeffizienz, die durch eine Vielzahl verschiedener Maßnahmen erreicht werden und zu einem geringeren spezifischen Energieeinsatz beim Schmelzen führen, in der Regel mit intensiverer Mechanisierung und Automatisierung verbunden sind. Dies wirkt der allgemeinen Tendenz zur Reduktion der spezifischen Energieeinsätze entgegen.

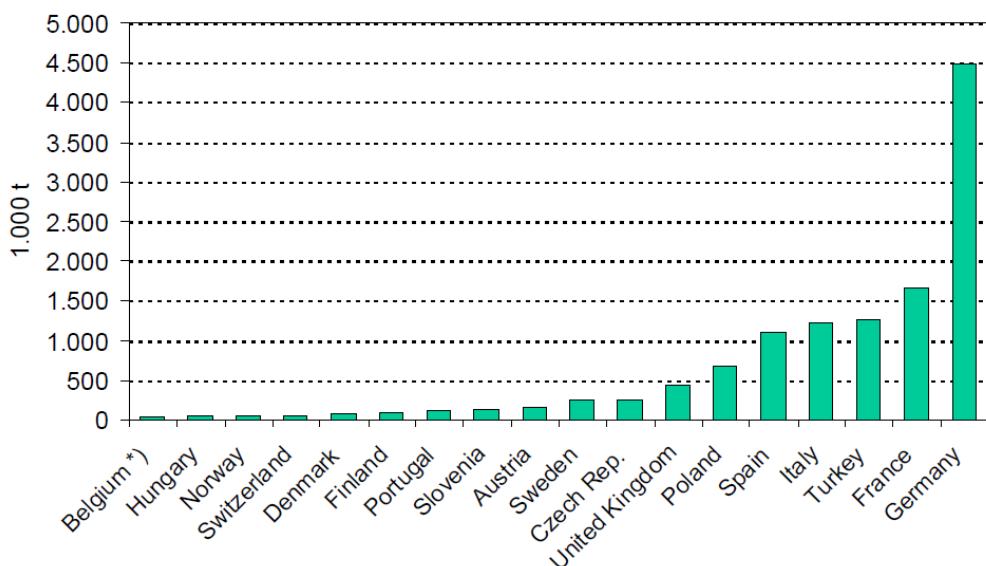
Abbildung 4: Produktivität in der Deutschen Gießerei-Industrie [Schumacher 2011]



#### 5.4.1 Die deutsche Gießereiindustrie im internationalen Vergleich

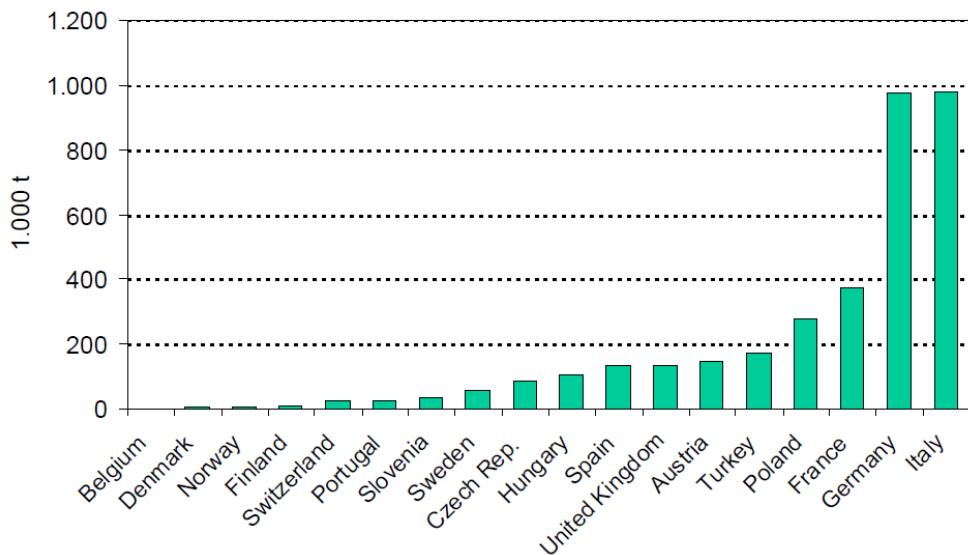
Die deutsche Gießereiindustrie ist im europäischen Vergleich der größte Gussproduzent. Die Produktionsmenge von Eisen-, Stahl- und Temperguss ist mit deutlichem Abstand die größte (Abbildung 5) und die Produktionsmenge von Nichteisenmetallguss wird in 2011 lediglich von Italien leicht übertroffen (Abbildung 6).

Abbildung 5: Produktionsmenge von Eisen-, Stahl- und Temperguss in Europa 2011 [CAEF, Com. No. 7, 2012]



<sup>\*)</sup> Production of member foundries

Abbildung 6: : Produktionsmenge von Nichteisenmetallguss in Europa in 2011



Im Vergleich mit allen Ländern der Welt liegt Deutschland bei der Produktionsmenge sowohl bei Eisen-, Stahl- und Temperguss als auch bei Nichteisenmetallguss an 4. Stelle. Die Länder mit größeren Produktionsmengen sind beispielsweise China, Indien und die USA. Außerdem bildet die Größe „Produktionsmenge“ oder „Masse“ nicht den Wert des gegossenen Bauteils ab - Leichtbau-Komponenten beispielsweise erzielen eine Wertsteigerung durch weniger Masse.

Die hohe Qualität der deutschen Gießereiindustrie im Vergleich mit anderen Ländern zeigt sich nicht nur in hochwertigen Produkten (siehe folgendes Kapitel), sondern auch in einer hohen Produktivität sowohl bei Eisen-, Stahl- und Temperguss (Abbildung 7) als auch bei Nichteisenmetallguss (Abbildung 8). Bei letzterem ist die Produktivität in Italien aufgrund der dort stark vertretenen Aluminium-Druckguss-Fertigung höher. Druckguss ist ein Verfahren mit hohem Mechanisierungs- und Automatisierungsgrad und entspricht hoher Produktivität (Masse guter Guss je Beschäftigtem).

Abbildung 7: Produktivität Eisen,- Stahl- und Temperguss in Europa 2011 [CAEF, Com. No. 7,2012]

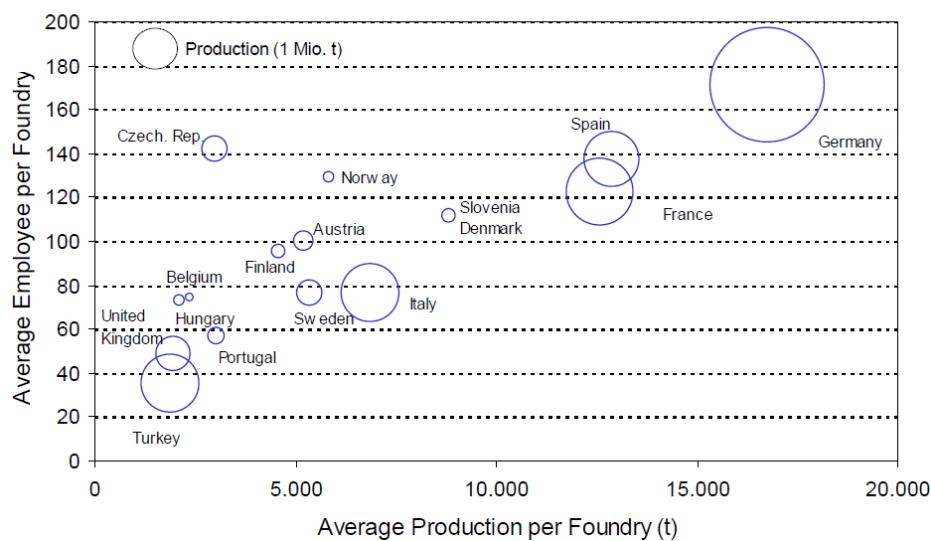
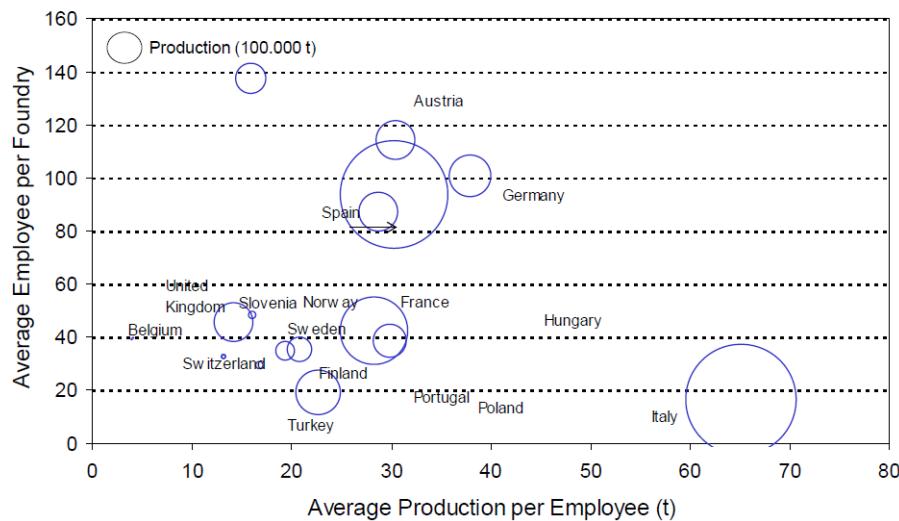


Abbildung 8: Produktivität Nichteisenmetallguss in Europa in 2011 [CAEF, Com. No. 7,2012]

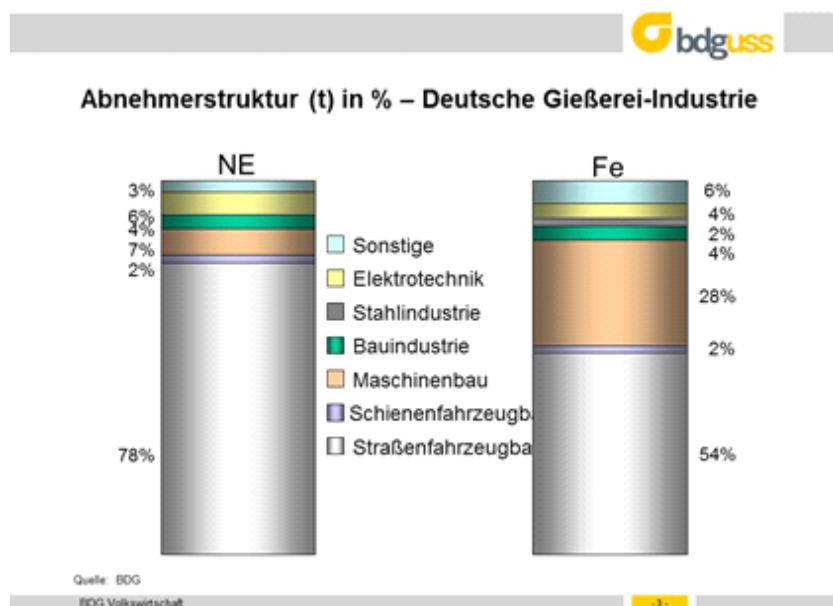


#### 5.4.2 Abnehmerstruktur

Die Kundengruppen der Gießereien sind weit gefächert. Einen über alle Werkstoffgruppen hohen Anteil hat der Straßenfahrzeugbau, welcher auf der Eisen- und Stahlseite bei ca. 54 % und auf der Nichteisen-Metallgusseite bei knapp 76 % liegt.

Die zweitwichtigste Abnehmerbranche ist der allgemeine Maschinenbau mit seinen rund 40 verschiedenen Fachzweigen. Darüber hinaus spielen die Bau- und die Stahlindustrie, die Elektroindustrie, der Schienenfahrzeugbau, die Luft- und Raumfahrt, der Schiffbau sowie die Möbel- und Beschlagindustrie eine wichtige Rolle. Autoindustrie und Maschinenbau nehmen etwa 80% der deutschen Gussproduktion ab (Abbildung 9).

Abbildung 9: Abnehmerstruktur in der Deutschen Gießerei-Industrie



Die Automobilindustrie ist, gemessen am Umsatz, der bedeutendste Industriezweig Deutschlands. Im Jahr 2008 wurden 345,9 Mrd. € erwirtschaftet. Rund 747.000 Personen waren 2009 in

der Automobilindustrie hierzulande beschäftigt. Ihr Exportüberschuss macht weit über die Hälfte des gesamten Exportüberschusses Deutschlands aus [Quelle: Wikipedia/VDA: Automobilindustrie.]

Der Maschinenbau ist ebenfalls einer der führenden Industriezweige Deutschlands, der sehr auf den Export ausgelegt ist. Mit mehr als 900.000 Beschäftigten in Deutschland und ungefähr 300.000 Beschäftigten im Ausland wird ein Umsatz von rund 130 Mrd. € (davon 60 % im Export) erwirtschaftet. Er ist mit seinen rund 6.600 Unternehmen, wovon 95 % weniger als 500 Beschäftigte haben, mittelständisch/unternehmerisch geprägt [Wikipedia/VDMA: Maschinenbau].

## 5.5 Nachhaltigkeit der Gussprodukte

Die Gießereiindustrie ist den Zielen einer umweltverträglichen Produktion traditionell verbunden und sieht in nachhaltigem Wirtschaften ein erklärtes Ziel:

- im Vergleich zu anderen Fertigungsverfahren, mit denen metallische Bauteile gefertigt werden, hat das Gießen deutliche Vorteile und Potentiale hinsichtlich des Materialeinsatzes und der Energieeffizienz - was auch bei Betrachtungen der gesamten Wertschöpfungskette einschließlich von Endprodukten, wie Bauteilen für Fahrzeuge oder Maschinen, gilt.
- die Gießereiindustrie ist eine klassische Recycel-Branche. Beim Fertigungsverfahren „Gießen“ werden gebrauchte metallische Einsatzstoffe, wie Schrott oder Gussbruch, erschmolzen und zu endkonturnahen Bauteilen gegossen - ein Recycling gebrauchter metallischer Bauteile.

Diese Vorteile hinsichtlich des Materialeinsatzes und der Energieeffizienz sind näher betrachtet:

- Gussteile werden endkonturnah gefertigt - d. h. eine vergleichsweise geringe Bearbeitung und Abtragung von Material ist notwendig, um die Endkontur des Bauteiles 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 als auch bei deren Verwendung – beispielsweise als Automobilbauteile – material- und energieökonomisch.
- Die besonders hohe Gestaltungsfreiheit beim Bauteildesign ermöglicht es außerdem, nahezu jede noch so komplizierte Geometrie als Bauteil zu realisieren. Dies 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.

Leichtbau- und funktionsintegrierte gegossene Bauteile ermöglichen Materialeinsparungen – d. h. weniger Material für die Herstellung eines Bauteils ist energieintensiv zu schmelzen und bei der Verwendung des Gussteils, beispielsweise im PKW, führt die Gewichtseinsparung zu einem geringeren Kraftstoffverbrauch eines PKW (oder anderen Fahrzeuges).

Die Ansätze zu gegossenen Leichtbaukonstruktionen liegen

- im Guss-Design, beispielsweise nach bionischen Prinzipien,
- in einer höheren Prozessfähigkeit beim Fertigungsverfahren Gießen, was ermöglicht, geringere Toleranzen und geringere Wanddicken, d. h. masseärmere, Gussteile prozesssicher zu fertigen,
- in einer innovativen Werkstoffwahl, beispielsweise kann man Bauteile gießen, bei denen innerhalb eines Gusswerkstoffes verschiedenartige, den ortspezifischen Anforderungen angepasste Werkstoffeigenschaften erreicht werden (Gradientenguss).

Beim Design von gegossenen Bauteilen, bei der Werkstoffwahl, bei der Auslegung des Gießsystems, mit dem eine fehlerfreie Füllung der Gießform und porenfreie Gussteile sichergestellt werden müssen, können mit modernsten Methoden der Rechnersimulation Material sparende und mit geringerem Energieeinsatz gegossene Leichtbaukonstruktionen gefertigt werden; die geringere Masse eines Bauteils sowie eines Gießsystems ist mit einer geringeren Menge flüssigem Metalls zu gießen – welche nicht zuvor mit hohem Einsatz geschmolzen werden musste.

Zusätzlich tragen gegossene Leichtbaukonstruktionen zu einer deutlich gesteigerten Energieeffizienz in der Anwendung der gegossenen Bauteile bei: bei PKW kann der Kraftstoffverbrauch durch Leichtbauteile verringert werden, um etwa 0,1 bis 0,2 l Kraftstoff je 100 kg PKW-Masse und je 100 km Fahrstrecke.

Diese Merkmale gegossener Produkte werden im Folgenden erläutert.

### 5.5.1 Automobilindustrie

Für die EU-Staaten als wichtigstem Absatzmarkt der deutschen Automobilindustrie ist die Diskussion um CO<sub>2</sub>-Emissionen und Flottenverbräuche in den letzten Jahren wegweisend.

Metallgussteile machten bei PKW-Modellreihen in 2008 im Mittelklassesegment ca. 15-20 % des Fahrzeuggewichtes aus, im Nutzfahrzeugbereich sogar noch darüber. Der Einsatz von Gussteilen aus metallischen Werkstoffen konzentriert sich auf die Bereiche Fahrwerk (PKW ca. 50%), Antriebsstrang (PKW ca. 10%) und Triebwerk (PKW ca. 30%), wie eine Auswertung anhand eines VW Golf der Baureihe 2004 als repräsentativem Beispiel des Volumensegments zeigt (Abbildung 10 und Abbildung 11) [LeiKom 2010].

Abbildung 10: Anteil der unterschiedlichen Fahrzeugbaugruppen am Gesamtgewicht der Gussteile in einem VW Golf [LeiKom 2010]

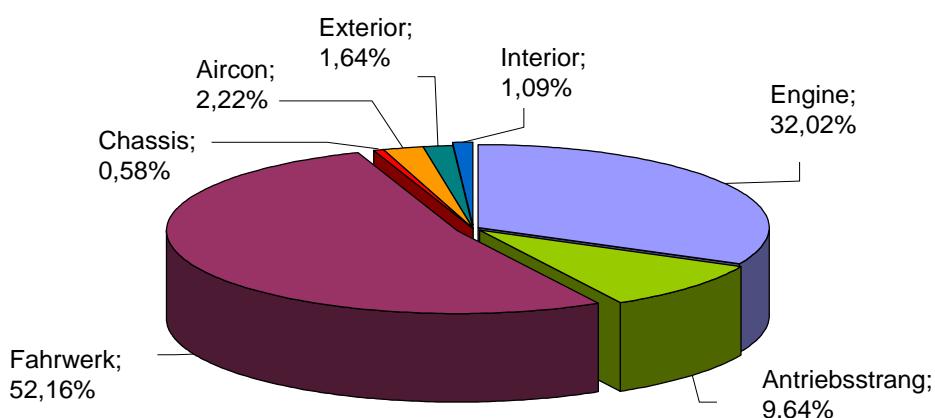
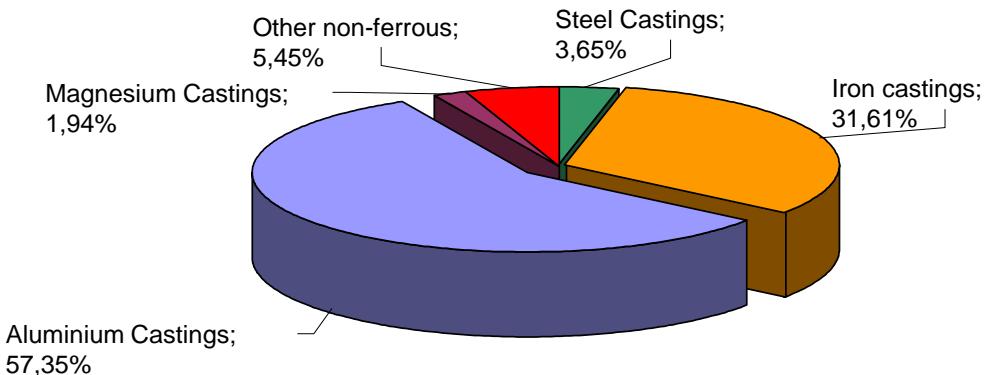


Abbildung 11: Anteile der Gusswerkstoffe am Gesamtgewicht der Gussteile in einem VW Golf [LeiKom 2010]

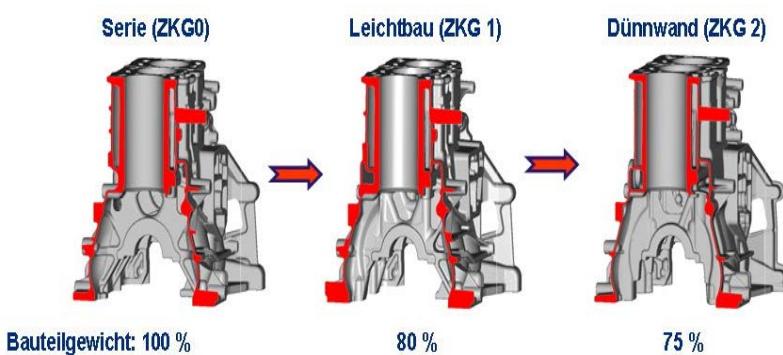


Mit über 50% stellt die Fahrzeuggmasse neben dem Fahrverhalten den wichtigsten Einflussfaktor auf die Gesamtemissionen von Kraftfahrzeugen dar, da sie sowohl in den Verbrauch zum Aufbau kinetischer Energie als auch in den Rollwiderstand eingeht. Allgemein wird ein Mehrverbrauch von etwa 0,3 l Kraftstoff pro 100 kg Fahrzeuggewicht bzw. Zuladung angegeben [LeiKom 2010].

### 5.5.1.1 Bauteiloptimierung

Zylinderkurbelgehäuse aus Gusseisen weisen gegenüber solchen aus Leichtmetall ein höheres spezifisches Gewicht auf. Um diesen Nachteil auszugleichen, wurde das Zylinderkurbelgehäuse (GJL 250) einer kontinuierlichen Gewichtsreduzierung unterzogen (Abbildung 12) [Leikom 2010].

Abbildung 12: Schritte zur Gewichtsreduzierung eines Zylinderkurbelgehäuses



Die Wanddicke stellt beim Zylinderkurbelgehäuse eine Möglichkeit dar, das Gewicht des Bauteils zu reduzieren. Reduzierungen der Wanddicken von 3,5 mm auf 3,0 mm führen zu einer berechneten Gewichtsreduzierung von 0,5 kg am Bauteil.

Nicht nur die Wanddicke stellt eine Möglichkeit dar, das Bauteilgewicht zu reduzieren. Weitere Möglichkeiten sind beispielsweise:

- Minimale Ausformschrägen und Kernquerschnitte
- Abspecken von Flansch- und Butzengeometrie
- Reduzierung von fertigungstechnisch bedingten Verstärkungen

- Optimierung der „Kern zu Kern“-Geometrie zur Vermeidung von Materialanhäufungen

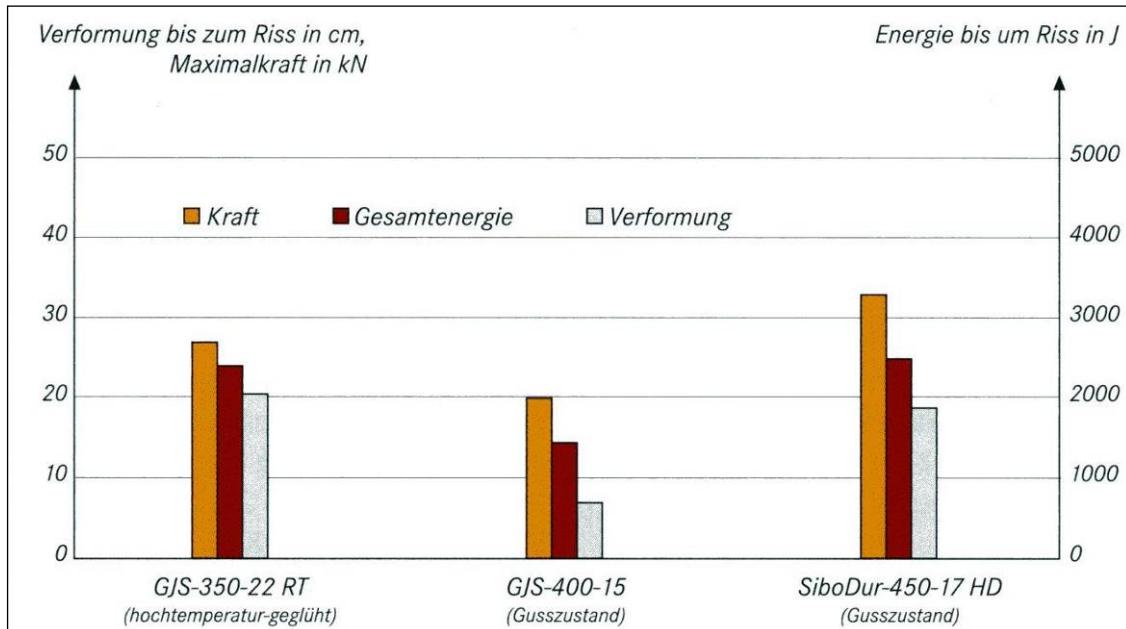
### 5.5.1.2 Werkstoffoptimierung

Aluminiumgusslegierungen kommen in vielen Fahrzeugbereichen bereits standardmäßig zum Einsatz, so z.B. im Druckgussverfahren gefertigte Komponenten für Getriebegehäuse, Kolben und Zylinderkurbelgehäuse oder im Sand- und Kokillenguss gefertigte Felgen und Zylinderköpfe.

Speziell für den Aluminium-Druckguss wurden Werkstoffe mit verbesserter Duktilität und Bruchzähigkeit entwickelt (Castasil-37, AlSi9Mn, Magsimal/Maxalloy, AlMg5Si2Mn). Porenarme Druckgusstücke aus Castasil 37 sind schweißbar und erreichen im Gusszustand eine Bruchdehnung von 10-14% durch ein langzeitveredeltes feinkörniges Eutektikum sowie durch eine Begrenzung des Magnesiumgehaltes zur Verbesserung der Alterungsbeständigkeit. Hierdurch kann energieeffizient auf eine Wärmebehandlung mit Lösungsglühen verzichtet werden. Druckgussteile aus Magsimal-59 erreichen je nach Wanddicke bis zu 18% Bruchdehnung im Gusszustand und bis zu 20% nach Weichglühen und werden deshalb für Sicherheitsteile in der Automobilindustrie in zunehmenden Maße eingesetzt. Schweißbare Druckgusslegierungen werden u. a. für bei Verbundschweißkonstruktionen für Fahrzeutüren eingesetzt.

Speziell für Fahrwerksteile im Automobilbau zeigte sich die Notwendigkeit einer Weiterentwicklung von Gusseisen mit Kugelgraphit, um den steigenden Anforderungen gerecht zu werden und um dünnerne Wandstärken zu realisieren. Die Beanspruchung und Verformungsbedingungen bei hohen kinetischen Energien können mit GJS-400-15 bei einigen Bauteilen nicht mehr hinreichend realisiert werden.

Abbildung 13: Ergebnisse der Schlagversuche an baugleichen Querlenkern aus unterschiedlichen Werkstoffen [LeiKom 2010].



Ein Beispiel für solche Werkstoffe sind die unter dem Markennamen SiboDur patentierten Gusseisen mit Kugelgraphit der Georg Fischer Automotive AG, Schaffhausen. Bei diesen mit bis zu 4% Silizium legierten ferritischen GJS-Sorten lassen sich dünnerne Wandstärken bei verbesserter Zugfestigkeit, Dehnung und Zähigkeit realisieren (Abbildung 13). Mittlerweile umfasst diese

Werkstofffamilie sechs Sorten mit festgelegter chemischer Zusammensetzung und mechanischen Eigenschaften [LeiKom 2010]

Verglichen mit dem in der Automobilindustrie sonst üblichen Schmiedestahl bieten Gusseisen-Werkstoffe in vielen Fällen eine Alternative und können im Vergleich zu Schmiedeteilen um bis zu 10 % leichter sein. Anwendung finden die hochsiliziumhaltigen Gusseisenwerkstoffe in der Automobilindustrie als kostengünstiges Substitut für Fahrwerksteile, die zuvor aus geschmiedetem Stahl gefertigt wurden. So wurde beim aktuellen VW Golf der Radträger aus SiBoDur bereits in der Serienfertigung verbaut.

So lassen sich Kurbelwellen aus Schmiedestahl, z.B. für 1,9 l Dieselmotoren, durch gegossene Kurbelwellen aus silizium-/borlegiertem Gusseisen mit Kugelgraphit ersetzen (Abbildung 14) [LeiKom 2010].

Abbildung 14: Hohlgegossene Kurbelwelle aus SiBoDur Kunststoffe



### 5.5.1.3 Zukunft im Automobilbau

Experten des Fraunhofer-Instituts für System- und Innovationsforschung (ISI) in Karlsruhe rechnen mit mindestens acht Mio. Elektro- und Hybridfahrzeugenfahrzeugen, die im Jahr 2050 auf deutschen Straßen rollen, in einem optimistischeren Szenario sogar von bis zu 45 Mio. Fahrzeugen, welches eine weitgehende Verdrängung des Verbrennungsmotors als Antriebsaggregat in PKW bedeuten würde. Diese Auffassung bestätigt auch Ferdinand Dudenhöffer vom Center of Automotive Research (CAR) der FH Gelsenkirchen. Er hält in einer noch unveröffentlichten Studie die Ablösung des Verbrennungsmotors als alleiniges Antriebsaggregat bei PKW bis zum Jahre 2025 für möglich.

Für die Gießereiindustrie würde dies eine Umstellung von Motorenkomponenten Gussteile für Hybridfahrzeuge bedeuten - dies umschließt Gehäuse für Energiewandler und Elektromotoren sowie Halter, Gehäuse und Arretierungskomponenten für die Akkuzellen.

Ohne hochwertige Gussteile werden auch derartige umweltverträglichere Straßenfahrzeuge nicht herzustellen sein [LeiKom 2010].

### 5.5.2 Schienenfahrzeugbau

Bei den Fahrzeugen dominiert der Gusseinsatz bei den Straßenfahrzeugen. Die sehr große Anwendungsbreite von Guss findet sich erwartungsgemäß aber auch in andern Fahrzeugen, wie Schienenfahrzeugen, Schiffen oder Flugzeugen.

Im Bereich Bahntechnik sind höchste Sicherheitsstandards zu erfüllen. Hier kommen beispielweise gegossene Radsatzlagergehäuse und Deckel für Schienenfahrzeuge sowie Unterlagsplatten und Kastenschwellen für den Gleisoberbau zur Anwendung (Abbildung 15).

Abbildung 15: Bremsklotz für Eisenbahn (Gießerei: EWA)



### 5.5.3 Luftfahrt

Durch die Herstellung von Integralgussteilen, die herkömmliche Konstruktionen aus zahlreichen Einzelkomponenten durch ein einziges gegossenes Teil ersetzen, ergeben sich hohe Energieeinsparungspotentiale durch Vermeidung der Herstellung dieser Einzelteile und ihrer Montage.

Um die Möglichkeiten der Gusstechnik zu verdeutlichen, wird hier als Beispiel die Herstellung einer Airbus-Passagiertür beschrieben [Quelle: IfG Studie Energieeffizienter Gießereibetrieb]. Die Airbus-Passagiertür besteht im Wesentlichen aus der Türrahmenkonstruktion, Strukturbau- teile aus einer Aluminiumlegierung, den Beschlagbauteilen und den Ausrüstungsteilen. Bei der bisherigen Differentialbauweise der Airbus-Passagiertür wurden ohne Normteile (Niete, Ringe und Stifte) 64 Frästeile aus Aluminiumhalbzeugen (Stranggussstangen und Bleche) spangebend gefertigt, die anschließend durch ca. 500 Nieten zusammengefügt werden.

Für die Differentialbauweise ergeben sich die folgenden Prozessketten:

Schmelzen – Stranggießen von Stangen – Herstellung von Rohteilblocken durch Fräsen – Spanen von Außenkonturen durch Fräsen – Bohren – passnahes Reiben - Schmelzen – Stranggießen von Stangen – Blechherstellung durch Walzen – Zuschneiden der Rohteilbleche - Spanen von Außenkonturen durch Fräsen – Bohren – Biegen.

Für das Gießen der Segmente für die Rahmenstruktur wurde ebenfalls eine Aluminiumlegierung vorgesehen, die aus Primaryluminium hergestellt wird. Die Prozesskette beim Gießen stellt sich folgendermaßen dar:

Schmelzen – Gussbauteilherstellung – Spanen der Außenkontur durch Fräsen – Herstellung von Frästaschen - Bohren – passnahes Reiben.

Eine spanende Bearbeitung an den Gussbauteilen wird im Allgemeinen nicht notwendig.

Die Stoffbilanzen für die Rahmenstruktur der Airbustür für die Fertigung aus Halbzeug und für die Fertigung durch Gießen sind in Tabelle 3 angegeben – die Fertigung durch Gießen ist erheblich materialeffizienter [Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009].

Tabelle 3: Vergleich der Fertigungsverfahren Fügen und Gießen – Stoffbilanz bei der Fertigung eines Bauteils

	Fertigung aus Halbzeug	Fertigung durch Gießen
Fertiggewicht	42,311 kg	45,817 kg
Späne	62,978 kg	0,694 kg
Halbzeuge	105,289 kg	-
Gussteile	-	46,511 kg
Schmelze	175,482 kg	77,518 kg

Der Vergleich der Energiebilanzen verdeutlicht ebenfalls den Vorteil des Fertigungsverfahrens Gießen, Tabelle 4.

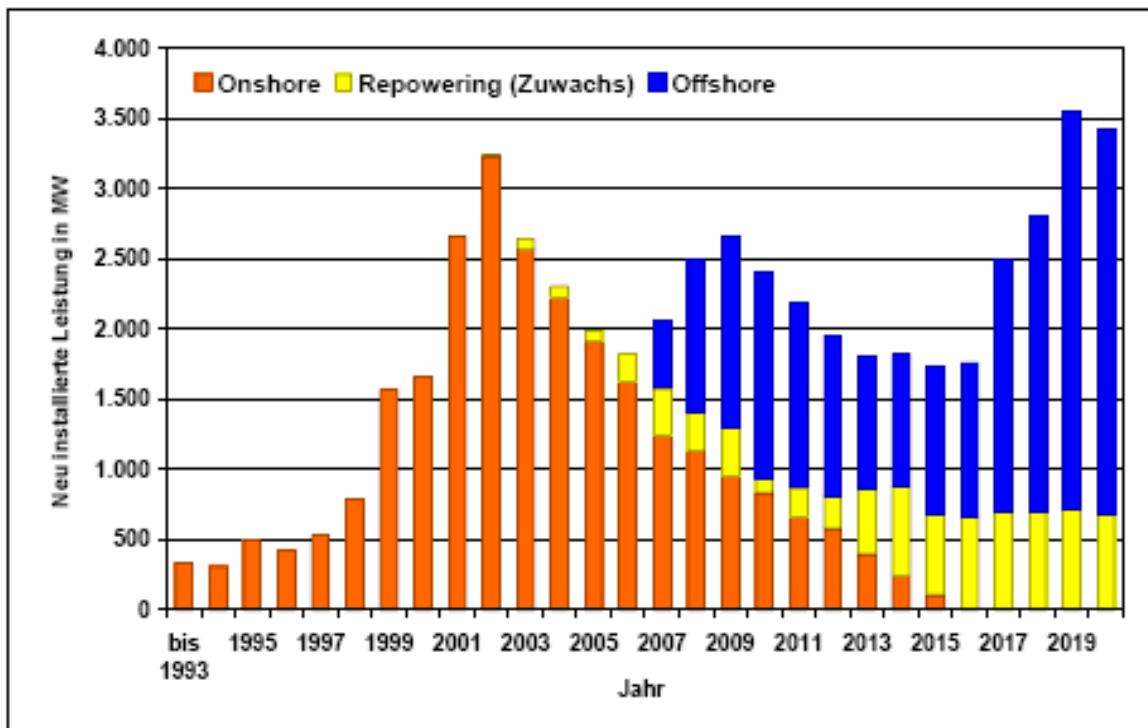
Tabelle 4: Vergleich der Fertigungsverfahren Fügen und Gießen – Energiebilanz bei der Fertigung eines Bauteils

Fertigung aus Halbzeug	
Schmelzen und Stranggießen (Walzen)	723 MJ
Spanen	173 MJ
Primäraluminium	28.657 MJ
GESAMT	29.553 MJ
Fertigung durch Gießen	
Gussteilfertigung	1.860 MJ
Spanen	2 MJ (1,7 MJ)
Primäraluminium	12.713 MJ
GESAMT	14.575 MJ

#### 5.5.4 Windenergieanlagenbau

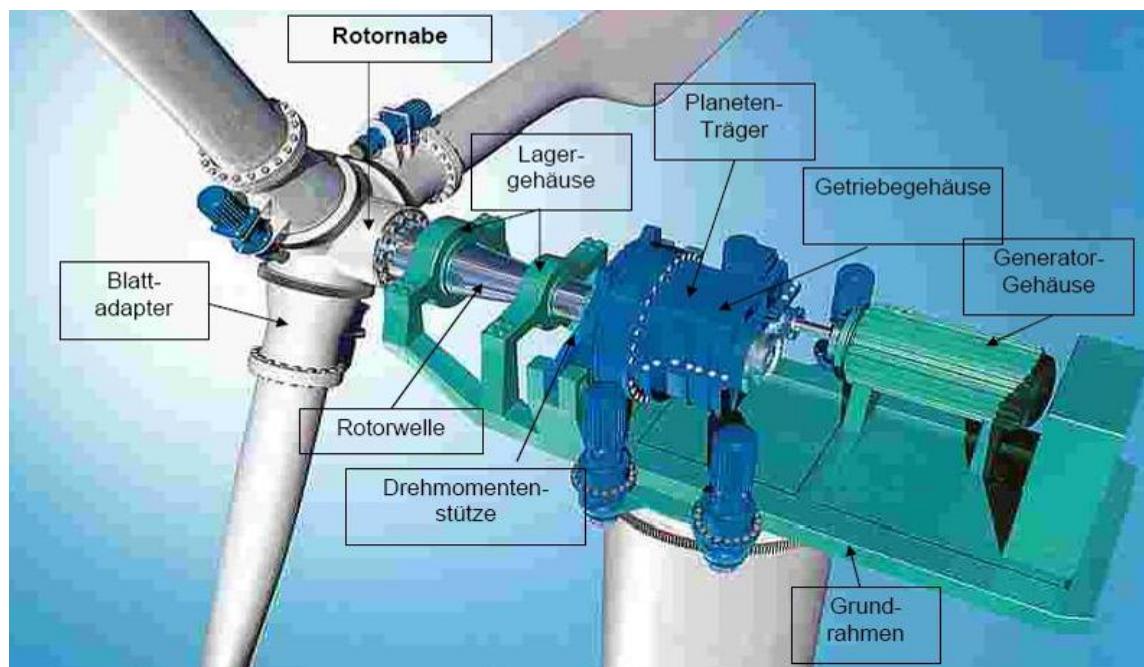
Deutschland gehört speziell bei der zukunftsträchtigen Sparte der Windkraftanlagen zu den Technologieführern. In einer aktuellen Veröffentlichung der Bundesanstalt für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit „Greentech made in Germany“ wird eine dynamische Entwicklung auf dem Sektor der erneuerbaren Energien prognostiziert - für die Windkraft ein Wachstum von 9 % p. a. bis 2020. Der Bedarf an Gussteilen aus Gusseisen mit Kugelgraphit beträgt diesbezüglich in 2006 260.000 t pro Jahr. Für 2015 ist von Fachleuten für Windkraftanlagen ein Jahresbedarf von 400.000 t prognostiziert worden – zum Vergleich: in 2011 wurden in Deutschland rund 1,7 Mio. t Gusstücke aus Gusseisen mit Kugelgraphit gefertigt (Abbildung 16) [Leikom 2010].

Abbildung 16: Prognose der Windenergieentwicklung in Deutschland bis 2020 (neuinstallierte Leistung)



In einer typischen Windkraftanlage mit 2 MW Leistung sind gut ein Dutzend Gussteile mit einem Gesamtgewicht von ca. 30 bis 40 t verbaut: ca. 20 t Guss pro MW Spitzenleistung (Abbildung 17).

Abbildung 17: Gusskomponenten in einer Windkraftanlage



Deutliche Zuwächse bei der in Deutschland installierten Windleistung sind in den kommenden Jahren bis 2020 hauptsächlich im Offshore-Bereich und zu einem geringen Anteil aus Repowering-Projekten und der Neuerrichtung von Onshore-Anlagen zu erwarten. Der hierfür geschätzte Umsatz mit Gussteilen beträgt je nach Entwicklung der mittleren Anlagengröße und

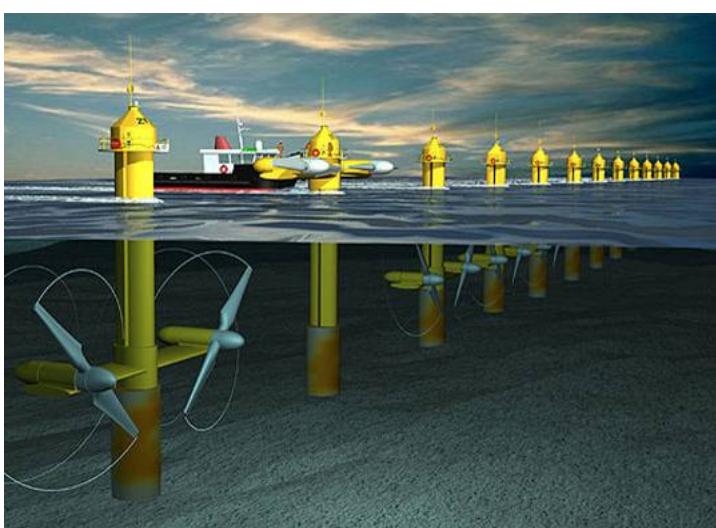
Ausschöpfung des Leichtbaupotenzials zwischen 40 und 100 Mio. €/Jahr allein für den inländischen Markt. Wenn von einer positiven Entwicklung des Exportgeschäfts ausgegangen wird, dürfte der Gesamtumsatz mit Gussteilen für Windenergieanlagen zwischen 160 und 400 Mio. € pro Jahr ausmachen [LeiKom].

Auf der Leitmesse „HUSUM WindEnergy“ gab es in 2008 einen Zusammenschluss von Gießereien, die als Zulieferer für die Windenergieanlagenhersteller Gusskomponenten liefern. Zudem wurde von Seiten der Hersteller der Wunsch geäußert, dass künftige Windenergieanlagen leichter und wartungsfreundlicher sein müssen. Auf der Werkstoffseite bedeutet dies, dass Anstrengungen zur Vermeidung von Schadensfällen durch Ermüdung und Witterungseinflüsse verstärkt werden müssen. Leichtbauforderungen führen bereits dazu, dass bei Siemens Energy Windräder mit direkter Kraftübersetzung erprobt werden. Durch den Wegfall des Getriebes sollen Gewicht und Wartungsaufwand reduziert werden. Andere Hersteller setzen auf eine Verbesserung des Wirkungsgrads durch Drehmomentwandler und Planetengetriebe. Dem gerade bei großen Multi-Megawatt-Anlagen überproportional ansteigenden Gewicht des Turmkopfes soll durch Leichtbaustrukturen begegnet werden. Ein Gewichtseinsprung von bis zu 20% durch Strukturoptimierung wird in diesem Bereich als möglich erachtet.

### 5.5.5 Gezeitenkraftwerke / Strömungskraftwerke / Wellenkraftwerke

Beflügelt durch den raschen technischen Fortschritt bei Windenergieanlagen konzentrieren sich die Entwicklungsanstrengungen aktuell auf Rotor- oder Doppelrotortürme, die seit einigen Jahren (SeaFlow seit 2003, SeaGen seit 2008) in Form von Pilotanlagen getestet werden (Abbildung 18).

**Abbildung 18: Projektzeichnung eines mit Doppelturbinen ausgestatteten Gezeitenkraftwerks „Seaf-low“ [Bild: Universität Kassel]**



Einer Studie zufolge besteht allein für die küstennahen Gebiete in Europa ein Potenzial von 31-58 TWh/a [Mey 2004]. Weltweit wird das Potenzial allein für die Nutzung der Strömungsenergie auf 800 TWh/a geschätzt, das entspräche beim derzeitigen Stand der Technik einem Markt von mehr als 1,5 Mrd. Gezeitenturbinen.

Wellenkraftwerke stellen die ergänzende Option zu den unter Wasser befindlichen Strömungskraftwerken dar und eignen sich, da sie strömungsunabhängig arbeiten, auch für Standorte mit Strömungsgeschwindigkeiten unter 2,5 m/s, die für eine wirtschaftliche Energienutzung der Strömungskraft nicht mehr in Frage kommen (Abbildung 19).

Abbildung 19: Prototyp „Limpet“ eines 500 kW-Wellenkraftwerks auf der schottischen Insel Islay, demnächst sollen weitere Kraftwerke auch an der deutschen Nordseeküste folgen



Sollte der Übergang von der Prototypenphase in die erste Phase kommerzieller Nutzung (2009-2015) erfolgreich verlaufen und aus ökologischer und ökonomischer Sicht keine Bedenken zu Tage fördern, so könnte das Segment Meeresenergie in den nächsten 10 bis 20 Jahren eine ähnliche Entwicklung erfahren wie die Windenergie in den letzten 10 Jahren.

Es ist derzeit schwer abzuschätzen, in wieweit die Gießereiindustrie von der Entwicklung der Meeresenergienutzung profitieren wird. Sicherlich werden vorrangig diejenigen Zulieferer profitieren, die derzeit bereits Gussteile für Windkraftanlagen und andere Strömungsmaschinen herstellen. Aber auch für Rohrverbinder, Anschlussflansche und Bewehrungen aus korrosionsbeständigen Werkstoffen ist zukünftig eine Nachfrage zu erwarten.

### 5.5.6 Allgemeiner Maschinenbau

Die Herstellung von Werkzeugmaschinen unterliegt höchsten konstruktiven und fertigungs-technischen Herausforderungen. Dabei sind die Aspekte einer material- und energieeffizienten Realisierung von Gussbauteilen seit langem in Gießereien aufgegriffen worden. Längst erfolgt die Herstellung von Gussbauteilen unter material- und energieeffizienten Gesichtspunkten. Gewichtsreduzierungen lassen sich bereits in einer frühen Phase der Konstruktion nach biologischen Prinzipien und der Fertigung umsetzen. Durch den Einsatz modernster Optimierungs-algorithmen lassen sich immer leichtere Gussbauteile realisieren, die gegenüber ihren Vorgängermodellen auch noch bessere mechanische Eigenschaften aufweisen.

Anhand eines Maschinenbettes (Material: EN-GJL-250, Gewicht: 1.150 kg, Abmessungen: 1.765 x 1.120 x 1.100 mm) wird verdeutlicht, wie ökonomische, technische und ökologische Interessen harmonisch miteinander kombiniert werden können (Abbildung 20).

Abbildung 20: Maschinenbett mit angegossenem Ständer



Das Entwicklungsziel, nämlich hohe Steifigkeit bei gleichzeitig niedrigen Fertigungskosten, kann unter Berücksichtigung natürlicher Wachstumsstrukturen (beispielsweise der Wachstumsstrukturen von Bäumen) in idealer Weise entsprochen werden.

Während sich auf der Bearbeitungsseite durch die entfallene Schnittstelle zwischen Bett und Ständer Herstellkosten reduzieren und die Genauigkeiten steigern ließen, trug die Topologieoptimierung zu einer hohen Bauteilsteifigkeit und durch die unkonventionelle Bauteilgestaltung mit funktionsgerechtem Materialeinsatz zur Kostenreduzierung bei. Realisiert werden konnte eine:

- Gewichtsreduzierung bei der Langversion von 13,5 t auf 9,0 t (Massereduzierung von 33%)
- Verbesserte Steifigkeit gegenüber dem Vorgängermodell
- Reduzierung der Rohteilkosten um über 20% durch Materialeinsparung und kostenreduzierte Kern- und Formherstellung

### 5.5.7 Nachhaltige Gussproduktion und Entwicklungstrends der Gießereiunternehmen

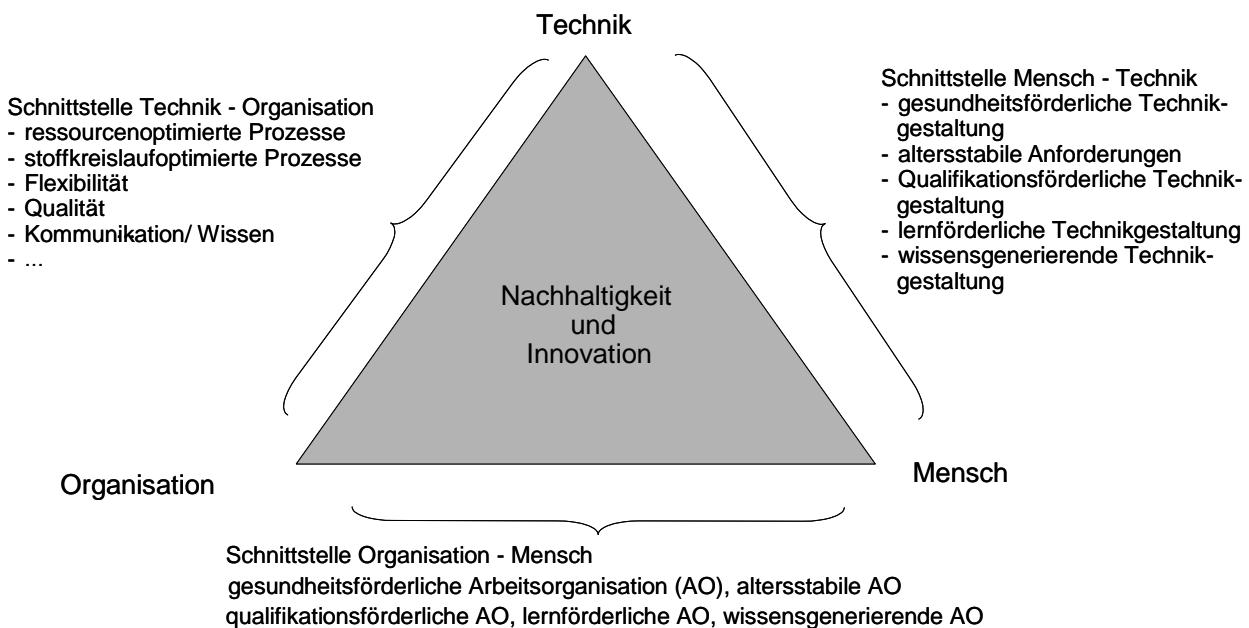
„Nachhaltiges Wirtschaften“ – d. h. langfristig in Deutschland zu produzieren und dabei ökonomische, ökologische und soziale Ziele zu verfolgen und zu erreichen, ist seit einigen Jahren ein strategisches Ziel in der deutschen Gießereiindustrie.

In dem vom deutschen Forschungsministerium unterstützten Verbundprojekt „LeiKom - Nachhaltige und innovative Produktion von Leichtbau-Komponenten“ sind in einer Projektgruppe mit Gießereien, Instituten sowie Branchenvertretern Hilfsmittel erarbeitet worden, um sich in Gießereien hin zu nachhaltigem Wirtschaften zu entwickeln. Dabei sind neben technologischen auch wirtschaftliche und soziale Verbesserungen verfolgt worden (Abbildung 21) [Leikom 2010].

Die Ergebnisse aus diesen Modellbetrieben und aus betriebsübergreifenden Arbeiten haben zu Methoden und Instrumenten geführt, die für Gießereien - und in entsprechender Nutzung auch für ähnliche Betriebe - hilfreich sind.

Sie sollen den einzelnen Unternehmen ermöglichen, sich nachhaltig aufzustellen – hinsichtlich ihrer Erzeugnisse, hinsichtlich der Gestaltung ihrer Arbeitssysteme und ihrer Belegschaft – um auch für den internationalen Wettbewerb in Zukunft gerüstet zu sein.

Abbildung 21: Nachhaltigkeit und Innovation



Ausgegangen wird dabei von dem Gedanken, dass eine Gießerei – genauso wie ein anderes ähnliches Zulieferunternehmen - zunächst den zukünftigen Markt für seine hochwertigen (Leichtbau) Produkte erkennen muss. Man muss die Anforderungen an die Art der Bauteile, ihre Qualität sowie die Konditionen, unter denen sie abgenommen werden, abschätzen. Man muss den Markt und die Nachfrage nach Leichtbaukomponenten prognostizieren.

Liegt dann die Prognose für die zukünftige Nachfrage vor, so ist für jeden Betrieb, jede Gießerei, individuell die zur Produktion der zukünftig nachgefragten Bauteile notwendige Fertigungstechnik sowie der Personalbedarf zu entwickeln.

Eine in diesem Zusammenhang durchgeführte Umfrage unter Experten in der Gießereiindustrie zeigte eine Vielzahl von interessanten Entwicklungen und zu erwartende Trends auf. Im Folgenden werden Ergebnisse dargestellt, die sich auf zukünftige Produkte und Leistungen der Gießereien beziehen.

### 5.5.7.1 Unternehmensstrategie - Kernkompetenzen und Fertigungstiefe

Um strategisch richtig aufgestellt zu sein, müssen die Gießer einerseits die Fertigungstiefe und damit die Produktwertschöpfung durch die Erschließung vor- und nachgelagerter Prozesse deutlich erhöhen (wie zum Beispiel Bauteilentwicklung und Montage). Auf der anderen Seite müssen die Unternehmer ihre Kernkompetenzen stärker fokussieren, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Ein Angebot von Dienstleistungen rund um die Produkte wurde angeregt (all inklusive-Angebote, Komplettlieferungen). Die strategische Ausrichtung ist natürlich stark abhängig von der Art des Unternehmens, zum Beispiel für Einzel- und Seriengießer oder Eisen- und Aluminiumgießer. Daher wird eine Differenzierung nach Unternehmenstypen erforderlich sein. Es ist davon auszugehen, dass die Einzel- und Kleinserienfertigung vorwiegend für regionale Märkte und die Fertigung in großen Serien für den Weltmarkt weiterhin wettbewerbsfähig sein werden.

Steigende Kundenanforderungen erfordern Kompetenzausbau

Die zu erwartenden Kundenanforderungen, wie beispielsweise:

- steigende Komplexität,
- Technologiefortschritt (Maßgenauigkeit, Automation),
- Variantenvielfalt,
- hohe Qualität und
- Liefertreue

erfordern eine stetige Weiterqualifizierung der Beschäftigten, um innovativ und produktiv dem Wettbewerb der Zukunft begegnen zu können. Um eine bessere Kundenorientierung erreichen zu können, müssen die Unternehmen die eigenen F&E- Aktivitäten stärken.

Deutschland wird weiterhin ein starker Gießereistandort bleiben, da die meisten Kunden den Komplettprice und nicht bloß die Einkaufskosten vergleichen. Das hält die deutschen Gießereien wettbewerbsfähig.

Kooperationen vielfältigster Art

Besonders deutlich zeichnet sich ein verstärkter Kooperationstrend ab. Um auf den globalisierten Märkten wettbewerbsfähig zu bleiben, ist es erforderlich, Allianzen zu bilden. Diese sollen dazu dienen, Märkte zu halten und neue Abnehmerbereiche zu erschließen. In bestimmten Bereichen - wie beispielsweise Produktentwicklung oder Rohstoffeinkauf - werden Kooperationen innerhalb der Lieferkette als zukunftsfähige Aktivitäten betrachtet. Gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten mit Endkunden und Zulieferern sowie gemeinsame Einkaufsstrategien sind denkbar. Da es auf der Beschaffungsseite nur wenige große Lieferanten gibt, können mit Einkaufskooperationen günstigere Preise erzielt werden.

- Kooperation und Kundenorientierung
- Aufbau von Handelsnetzwerken bis hin zu Zweigniederlassungen im Ausland (Erschließung neuer Märkte)
- Ausbau der internen Sprach- und Kulturkompetenz
- intensive und strukturierte Sammlung von Kundendaten
- enge Kooperationen mit Partnern in Clustern und Wertschöpfungskette
- Entwicklung gemeinsamer Einkaufsstrategien und F&E- Aktivitäten
- intensive Kooperation mit Wissenschaft, sowohl mit Natur- und Technik als auch mit Wirtschafts- und Sozialwissenschaften, zur Weiterentwicklung des ganzen Unternehmens und aller Beschäftigtengruppen
- Produkte / Technologie
- breite Produkt- und Verfahrenspalette anstreben
- verstärkte Anstrengungen zur Akquisition hochkomplexer Teile
- aktive Erweiterung der Wertschöpfungskette (Stärken-/ Schwächenprofil erarbeiten)
- Kombination von Produktentwicklung und -fertigung im eigenen Hause
- weiterhin hohes Qualitätsbewusstsein und Termintreue

- (Quelle: LeiKom 2009)

Bei den technisch-organisatorischen Entwicklungstrends in deutschen Gießereien ist hinzuweisen auf eine zunehmende Flexibilität bei der Gestaltung der jeweiligen Wertschöpfungskette.

### **5.5.7.2 Optimierung der Wertschöpfungskette in Gießereien**

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 Betrieb zu Betrieb unterschiedlich sein, was selbst und was extern gemacht werden wird. Die eigenen Teilprozesse werden von Betrieb zu Betrieb unterschiedlich sein – je nach Produkt, Marktsituation, Kundenstruktur und Finanzlage des Betriebes.

Es 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 sind die typischen Produktionsbereiche einer Gussproduktion dargestellt. Es wird herausgestellt, unter welchen Rahmenbedingungen die jeweiligen Prozesse innerhalb von Gießereien oder außerhalb von diesen nützlich eingesetzt werden können.

Die umweltrelevanten gießereitechnischen Prozesse sind in den folgenden Kapiteln ausführlicher dargestellt.

#### **Konstruktion von Bauteilen und Werkzeugen**

Die Fähigkeit Bauteile zu entwickeln, ist nur mit erheblichem rechnergestützten und personellen Aufwand möglich. Für große Gießereien ist der Aufwand beträchtlich. Mittelständische Gießereien bieten diese Dienstleistung bisher nur in wenigen Fällen an.

Fachleute sind der Überzeugung, dass die zukünftig wettbewerbsfähige Gießerei ein Leistungsspektrum von der Bauteilkonstruktion bis hin zum fertig bearbeiteten Bauteil anbieten muss! Hierbei soll die Entwicklungskompetenz an erster Stelle stehen.

Der Einsatz von Simulationssoftware zur Berechnung von Gießformfüllung und Abkühlungsvorgängen in einer Form sowie zur Simulation von Gussgefüge und Gusseigenschaften ist in zahlreichen Gießereien inzwischen typisch geworden, und wird sich noch weiter – auch bei kleineren Gießereien – verbreiten. Es werden immer kleinere Betriebe derartige Berechnungen von Spezialunternehmen anbieten.

Eine vergleichbare Entwicklung ist auch bei der Simulation von gießereitechnischen Prozessen, wie der Kernfertigung, zu erwarten: zunächst statten sich lediglich die größten Gießereien und später auch vergleichsweise kleinere mit Rechner, Software und Fachpersonal aus.

#### **Prototypen-Herstellung**

Der Aufwand an Anlagentechnik und an Fachpersonal zur Fertigung mit so genannten Rapid-Prototyping-Verfahren ist erheblich. Außerdem ist die stetige Entwicklung neuer und die Verdrängung früherer Verfahren ein Grund, dass lediglich sehr große Gießereien eigenen Anlagen betreiben und die anderen Spezialfirmen beauftragen.

Man geht davon aus, dass die Fertigung von Prototypen und Kleinstserien zunehmen wird, aber auch zukünftig bei Spezialfirmen bzw. spezialisierten Gießereien.

#### 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.

#### Kernmacherei

Die Herstellung von Sandkernen ist und wird in den meisten Gießereien ein typischer Fertigungsbereich bleiben. Denn noch hat sich in der Vergangenheit ein Trend in Richtung teilweise bis hin zur kompletten Auslagerung der gesamten Kernfertigung (nicht nur zur Abdeckung von Produktionsspitzen) angedeutet.

Mögliche Nutzung der strategischen Auslagerung der Kernfertigung:

#### Schmelzbetrieb

In Eisen-, Stahl- und Buntmetallgießereien ist der Schmelzbetrieb 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 Recycler bzw. Aluminiumhütten zukünftig intensiver zu prüfen sein.

Die Prozesse im Schmelzbetrieb und bzgl. des Flüssigmetalleinsatzes werden in den folgenden Kapiteln erörtert.

#### Gießen, Abkühlen, Ausleeren der Form

Das Gießen, Abkühlen und Entleeren der Form wird auch in Zukunft eine unablässige Kernkompetenz der Gießerei bleiben.

Dieser Fertigungsbereich wird ausführlich in späteren Kapiteln dargestellt.

#### Gussnachbearbeitung

Die Gussnachbearbeitung, wie das Entgraten, wird von zahlreichen kleinen oder mittelständischen Gießereien wegen der Personalkosten 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 – wie dies bei den großen Automobilzulieferern typisch ist. Ein solch hoher Automatisierungsgrad ist allerdings zunächst nur bei Gießereien mit Großserien zu erwarten.

Ein weiterer Trend bei grenznahen Gießereien ist es, die Gussstücke in Niedriglohnländern zu transportieren und dort putzen zu lassen, um so eine Steigerung der Wertschöpfung zu erzielen.

## Endbearbeitung

Die Endbearbeitung wird zunehmend Teil der Wertschöpfungsketten in Gießereien. Die Lieferung einbaufertiger Komponenten verstärkt die Bindung zwischen Gießerei und ihrem Abnehmer.

Es erscheint unabdingbar, das Leistungsangebot der Gießerei auf fertig bearbeiteten Guss zu erweitern – eine andere Frage ist, ob die Gießerei hier selbst investieren muss oder ob gerade hier die Kooperation mit einem kompetenten Spezialisten angebracht ist. Dies hängt in erster Linie vom Produktspektrum der Gießerei ab. Beim Serienlieferant für die Automobilindustrie mit life-time-Verträgen ist diese Frage anders zu beantworten als bei einer mittelständischen Kundengießerei mit einer breiten Kundenpalette.

## Instandhaltung

Die Instandhaltung ist ein Bereich, der in Gießereien typischerweise vorhanden ist. Verbreitung findet allerdings zunehmend die dauerhafte Beauftragung von Dienstleistungsunternehmen, die sich auf Instandhaltungsmaßnahmen spezialisiert haben.

## 6 Schmelzbetrieb in Gießereien

Öfen sind zum Schmelzen und Warmhalten von flüssigem Metall im Schmelzbetrieb.

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.

Typischerweise alle Schmelzöfen in Eisen- und Stahlgießereien sowie alle größeren in Nichteisenmetallgießereien verfügen über Anlagen zur Abluftreinigung.

### 6.1 Schmelz- und Warmhalteöfen

Einige Arten von Schmelzöfen sind eng mit einem Gusswerkstoff verbunden, wie ein Kupolofen mit Eisenschmelze, andere Arten werden werkstoffunabhängig eingesetzt, wie ein Induktionsofen.

Da aber bei letztgenannten Ofentypen die Größen recht unterschiedlich sind – Öfen in Eisen- und Stahlgießereien sind in den meisten Fällen deutlich größer als in Nichteisenmetallgießereien - folgt die anschließende Darstellung der werkstofforientierten Gliederung.

#### 6.1.1 Eisen- und Stahlgießereien

Mit ihren verschiedenen Varianten sind Kupolöfen und Induktionsöfen nahezu die einzigen Schmelzofenarten in deutschen Eisen- und Tempergießereien. Geschätzt sind heute 70% der Schmelzanlagen E-Tiegelöfen und 30% Kupolöfen [Technikerhebung 2012].

Vergleicht man die Schmelzleistung aller Öfen zusammen, halten die Kupolöfen wohl einen Anteil von etwa 50% in Eisengießereien. Der Elektroofen hat Vorteile, wenn wechselnde Qualitäten in kleinen Mengen produziert werden, weil praktisch kein Übergangseisen anfällt. Der Heißwindkupolofen ist dann wirtschaftlich, wenn große Mengen gleicher Qualität produziert werden müssen [Lemperle 2012].

Lichtbogenöfen sind in Deutschland nur in Stahlgießereien im Einsatz. Zusammen mit den ebenfalls elektrisch beheizten Induktionsöfen sind beide zusammen die einzigen Schmelzofenarten in Stahlgießereien.

In Deutschland sind Drehtrommelöfen in Eisengießereien selten in Betrieb.

Öfen aller Bauarten sind typischerweise mehrere Jahrzehnte in Betrieb. Dabei können Öfen älterer Bauart teilweise - und dies bis zu einem erheblichen Anteil - überholt und modernisiert werden, so dass sie technisch auf hohem Stand sind. Bei Kupolöfen kann die Schmelzleistung durch Vergrößerung des Ofendurchmessers oder durch Einblasen von Sauerstoff erhöht werden.

Ein Beispiel ist bei den BVT-Kandidaten die Umrüstung eines Kaltwindkupolofens auf Langzeitzbetrieb.

Induktionsöfen können umgebaut und beispielsweise auf andere Frequenzen umgestellt werden.

Es erscheint nicht sinnvoll, die Öfen nach ihrem Alter zu gruppieren.

In Deutschland wird

- Eisenguss etwa zur Hälfte in Kupolöfen und in Induktionsöfen geschmolzen

- unter Einbeziehen eines Ausbringens von 60% sind im Bezugsjahr 2011 rund 3 Mio. t Flüssigeisen jeweils in Kupolöfen und in Induktionsöfen geschmolzen worden.
- Stahlguss etwa zu drei Vierteln in Induktionsöfen und zu einem Viertel in Lichtbogenöfen geschmolzen
- unter Einbeziehen eines Ausbringens von 40% sind im Bezugsjahr 2011 rund 260.000 t Flüssigstahl in Induktionsöfen und rund 90.000 t Flüssigstahl in Lichtbogenöfen von Gießereien geschmolzen worden.

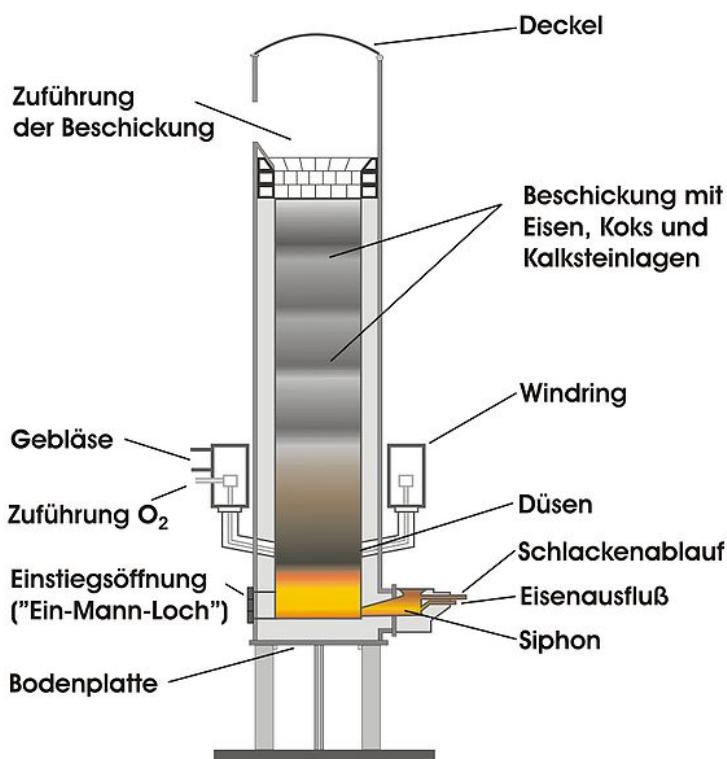
Flüssigeisen- oder Flüssigstahlbereitstellung für Gießereien gibt es in Deutschland nicht.

### 6.1.1.1 Kupolofen

Siehe Abschnitt im Foundry-BREF: 2.4.1

Ein Kupolofen ist ein Schachtofen, in den wechselnde Lagen von Stahlschrott/Eisen und Koks eingebracht werden. Man unterscheidet im Wesentlichen die Bauformen Kaltwindkupolofen und Heißwindkupolofen (Abbildung 22) sowie die Sonderform Koksloser Kupolofen.

Abbildung 22: Kupolofen



Es gibt etwa 25 Heißwindkupolöfen mit Schmelzleistungen von 20 t/h bis 80 und mehr t/h in Deutschland [Lemperle; BDGuss 2012].

Daneben gibt es etwa 50 Kaltwindkupolöfen mit Schmelzleistungen von typischerweise 5 t/h bis 10 t/h [BDGuss 2012; Technikerhebung 2012].

Die großen Ofenanlagen arbeiten i.d.R. an 5 bis 6 Tagen je Woche in 2 – 3 Schichten. Die kleinen Kaltwindanlagen arbeiten meist nur einschichtig und auch nicht immer täglich.

Kaltwindanlagen werden kaum noch neu gebaut und sind in den letzten 30 Jahren vielfach durch Elektroöfen ersetzt worden.

Die folgenden Abschnitte beschreiben die Anwendungsbreite und Trends bei den Arten von Kupolöfen.

#### Heißwindöfen

Der Heißwindofen ist besonders wirtschaftlich, weil er einen Teil der Gichtgasenergie in Heißwindenergie umwandelt, die dem Ofen zugeführt wird und dadurch Koks einspart. Neue Anlagen haben heute Heißwindtemperaturen bis zu 800°C und sind damit deutlich effizienter als vor 30 Jahren als 450°C normal war. Der Koksverbrauch solcher Öfen kann bis unter 100 kg/t Flüssigeisen liegen.

Die Entwicklung von Innovationen bei Heißwindanlagen betrifft heute vorwiegend die Nutzung der Sekundärenergie oder Abwärme. Etwa 30% dieser Energie wird bereits für die Winderhitzung genutzt, der Rest kann in vielen Fällen für Heizzwecke, zur Trocknung oder auch zur Stromerzeugung genutzt werden. Beispielsweise wird in einer großen Gießerei mit rd. 200.000 jato guter Guss diese Abwärme im Thermoöl an ein benachbartes Unternehmen abgegeben, wodurch sich der -Einsatz von Energieträgern um rd. 50.000 MWh/a reduziert wird, was zu einer Reduzierung von 11.000 Tonnen CO<sub>2</sub> jährlich führt. Eine umfassende Ermittlung der verfügbaren und der erschließbaren Abwärmenutzung ist 2013 und 2014 Gegenstand einer Studie, die im Auftrag des Umweltbundesamtes durchgeführt wird. Würde die Nutzung der Sekundärenergie auf die CO<sub>2</sub> Emission angerechnet, wäre der Heißwindkupolofen dem E-Ofen in dieser Beziehung überlegen [Lemperle 2012].

Die Einsatzgebiete für große Heißwindanlagen finden sich im Automobilguss, Rohrguss, Kanal-guss etc.

#### Kaltwindkupolöfen:

Die Anzahl der noch produzierenden Öfen liegt bei etwa 50 Kaltwindkupolofen-Anlagen (typischerweise je Anlage 2 Schachtöfen) in Deutschland. Sie werden meist als Zwillingsöfen im täglichen Wechsel betrieben, weil das Feuerfestmaterial nach einem Schmelztag erneuert werden muss.

#### Koksloser Kupolofen:

Der erdgasbetriebene Kupolofen konnte sich in den vergangenen 20 Jahren nicht durchsetzen, die deutsche Anlage bei Düker, Laufach, wurde stillgelegt und durch zwei Induktionstiegelöfen ersetzt. Die Gründe liegen in der geringen Eisentemperatur, die einen nachgeschalteten E-Ofen erforderlich macht, dem begrenzten Einsatz von Stahlschrott (< 30%) und den hohen Kosten für die systembedingten Feuerfestkugeln. Die Entwicklung dieser Technologie soll aber fortgeführt werden [Lemperle 2012].

#### Andere Sonderformen:

Der Kreislaufgas-Kupolofen, bei dem reiner Sauerstoff mit eigenem Gichtgas durch die Düsen eingeblasen wird, wurde nur als Versuchsofen kurzzeitig betrieben.

Der früher zuweilen gebaute Ofen mit übereinander liegenden zwei Düsenreihen konnte sich nicht durchsetzen.

#### Energieträger:

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 Kokseinsatz liegt bei Kaltwind- und Heißwindkupolofen typischerweise zwischen 9% und 15% des metallischen Einsatzes abhängig von Stahlschrottanteil, der Schrottgröße, der Heißwindtemperatur, der Koksqualität, den Zuschlagsstoffen und der Feuerfestzustellung des

Ofens. Grundsätzlich gilt, dass Heißwindkupolöfen (typischer Wert: < 110 kg Koks je t Flüssigeisen) einen niedrigeren Koksverbrauch haben als Kaltwindkupolöfen (typischer Wert: < 140 kg Koks je t Flüssigeisen) [Neumann 1999].

Wärmerückgewinnung:

Maßnahmen für betriebsinterne und externe Abwärmenutzung bei Heißwindkupolöfen: siehe BVT-Kandidaten.

### 6.1.1.2 Induktionsofen

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.4.3

Man unterscheidet Induktionsöfen nach ihrer Bauform in Induktionstiegelöfen (Abbildung 23) oder Induktionsrinnenöfen - oder man unterscheidet sie nach der Frequenz in Mittelfrequenz- oder Netzfrequenz-Induktionsöfen.

Abbildung 23: Mittelfrequenz Induktionstiegelofen mit Stauberfassung in der Eisengießerei Siempelkamp, Krefeld



Von den rd. 150 Eisengießereien in einer BDG-Datenbank schmelzen deutlich über 100 – also rd. 70% - mit Induktionsöfen. Von den rd. 50 Stahlgießereien schmelzen etwa 75% mit Induktionsöfen [BDG Technikerhebung 2012].

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

In Gießereien können Kupolöfen und Induktionsöfen eigenständig neben einander betrieben werden.

Die folgenden Abschnitte beschreiben Entwicklung und Trends [Dötsch 2012; Schmitz 2012]:

Der MF-Schmelzofen löst seit etwa 20 Jahren den NF-Schmelzofen ab. Gründe sind höhere Flexibilität und Wirtschaftlichkeit. Ausgesprochene NF-Öfen werden bei einem der großen E-Ofenhersteller nicht mehr nachgefragt und demzufolge nicht mehr eingerichtet. Derzeit haben bereits mehr als doppelt soviel Gießereien MF-Induktionsöfen wie NF-Induktionsöfen im Einsatz. Teilweise werden bestehende NF-Öfen mit neuen Umrichtern grundlegend umgebaut.

Herausragendes Entwicklungsziel ist seit einigen Jahren noch verstkt die Verminderung des spezifischen Stromverbrauchs und die Nutzung von Abwärme. 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.

Verbesserungspotentiale für eine weitere Steigerung der Energieeffizienz liegen im Spulenaufbau, wo sich vor allem durch Optimierung der mittleren Spulentermperatur und des Spulenprofils sowie der Khlspule die Verluste um 1 bis 3 Prozent senken lassen.

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

Maßnahmen zur Nutzung von Abwärme an Induktionsofen in Eisengießereien – ggf. in Verbindung mit einer Wärmespeicherung – sind als BVT-Kandidaten beschrieben.

#### 6.1.1.3 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 (Abbildung 24).

Abbildung 24: Lichtbogenofen beim Stahlschmelzen



In 13 deutschen Stahlgießereien – von den derzeit 53 deutschen ist das ein Anteil von rd. 25% – ist ein Lichtbogenofen im Einsatz. Im Vergleich zu dem häufiger eingesetzten Induktionsofen gibt es Vor- und Nachteile bei beiden Ofenarten.

Die Anzahl an Lichtbogenofen geht langfristig zurück. Derzeit sind Lichtbogenofen in Gießereien noch dort im Einsatz, wo große Stckgewichte, wie bei der Walzenfertigung gegossen werden.

#### 6.1.1.4 Drehstrommelöfen

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.4.5

Drehstrommelöfen sind brennstoffbeheizte trommelartige Schmelzöfen, in denen chargenweise geschmolzen wird.

In deutschen Eisengießereien sind noch weniger als 10 Drehstrommelöfen im Einsatz. Die Anzahl ist seit langem rückläufig. Es handelt sich um vergleichsweise kleine Eisengießereien, die gasbeheizte Drehstrommelöfen 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.

#### 6.1.2 Nichteisenmetallgießereien

Die Schmelz- und Warmhalteöfen lassen sich nach Art der Beheizung in brennstoff- oder elektrisch beheizte Öfen einteilen oder nach der Form des Ofenraums: Tiegelöfen, Herdwannen, Herdschachtöfen und Trommelöfen.

In Deutschland gab es nach einer vor wenigen Jahren durchgeführten Erhebung etwa fast 10.000 Schmelz- und Warmhalteöfen in Nichteisenmetallgießereien mit einem Fassungsvermögen von 50 kg bis 100 t [Wenk 2006; Eschenbach 2012]. Dieser Wert scheint für heute zu hoch: rechnet man vom Ergebnis der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Technikerhebung (2012) auf die deutsche NE-Gießereiindustrie hoch, so dürfte derzeit die Anzahl der Schmelzöfen etwa bei 3000 bis 4000 liegen.

Etwa 70% dieser Öfen werden mit Gas oder Öl beheizt und etwa 30% werden elektrisch beheizt. Dies ist eine Aussage in der Literatur [Wenk 2006] und wird aktuell bestätigt: Von 187 Öfen in NE-Metallgießereien sind 132 brennstoff- und 55 elektrisch beheizt [Technikerhebung 2012].

Von den brennstoffbeheizten Öfen sind wiederum rund 70% gas- und 30% ölbefeizt.

Flüssigmetalleinsatz:

Einige große Aluminiumgießereien (geschätzt 10 bis 20 in Deutschland) beziehen von Hüttenbetrieben mit Umschmelzanlagen einen Großteil des benötigten Metalls flüssig. Der Transport findet in ca. 3 t fassenden wärmeisolierten Transportpfannen statt (Abbildung 25). Die Transportentferungen betragen üblicherweise bis zu 200km.

Da ein Schmelzprozess eingespart wird, ist der Einsatz von Flüssigaluminium energieeffizient. Aus wirtschaftlichen Gründen sollte der tägliche Bedarf der Gießerei aber nicht weniger als etwa 12t betragen; ein geringerer Bedarf, der zu längeren Warmhaltezeiten führt, ist nicht wirtschaftlich [Wenk 2012].

Abbildung 25: Transport von flüssigem Aluminium, Fa. Trimet



#### 6.1.2.1 Brennstoffbeheizte Schmelzöfen

Siehe Foundry BREF: 2.4.4 – 2.4.8

Zu den brennstoffbeheizten Schmelzöfen in Nichteisenmetallgießereien gehören

- Tiegelöfen, Herdschmelzöfen,
- Drehtrommel- oder Wannenöfen (Abbildung 26).

Abbildung 26: Drehtrommelöfen



Neben den teilweise verschiedenen großen Schmelzleistungen, die zur Fertigung in der Gießerei passend sein müssen, haben die verschiedenen Schmelzaggregate Vor- und Nachteile bezüglich

- Qualität der Schmelze,
- Flexibilität bei Legierungswechseln,
- Energieeffizienz: Herdschachtöfen mit Gegenstromprinzip gelten als wärmewirtschaftlich günstig.

Die meisten der brennstoffbeheizten Öfen sind Tiegel- oder Wannenöfen; weniger als 10% sind Drehtrommelöfen.

Trends zu bestimmten Arten von Schmelz- und Warmhalteöfen im Bereich der Nichteisenmetallgießereien sind nicht erkennbar.

### 6.1.2.2 Elektrisch beheizte Schmelzöfen

Als wesentliche Vorteile elektrisch beheizter Schmelz- und Warmhalteöfen gelten u.a.:

- günstige metallurgische Eigenschaften, besonders für empfindliche Legierungen
- geringer Abbrand
- geringe Gasaufnahme
- gute Temperaturregelbarkeit
- geringer Bedienungsaufwand

Zu den elektrisch beheizten Öfen gehören:

- Elektrisch beheizte Tiegelöfen, widerstandsbeheizte haben wegen geringer Schmelzleistung eher eine geringe Bedeutung
- 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
- Widerstandsbeheizte Warmhalteöfen: verbreitet in Druck- und Kokillengießereien: Fassungsvermögen bis ca. 300kg
- Warmhalteöfen; induktionsbeheizt: verbreitet in Druck- und Kokillengießereien: Fassungsvermögen bis 1500 kg

## 6.2 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.

Heute noch vereinzelt vorzufinden, ist das Vorwärmen und Aufheizen von Pfannen mittels flüssiger Schmelze. Unter den Aspekten der Energieeffizienz und des Umweltschutzes sowie aus metallurgischer Sicht ist das Vorwärmen und Aufheizen von Pfannen mittels flüssiger Schmelze nicht zu empfehlen [Energieeffiziente Gießerei-Industrie 2011].

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.

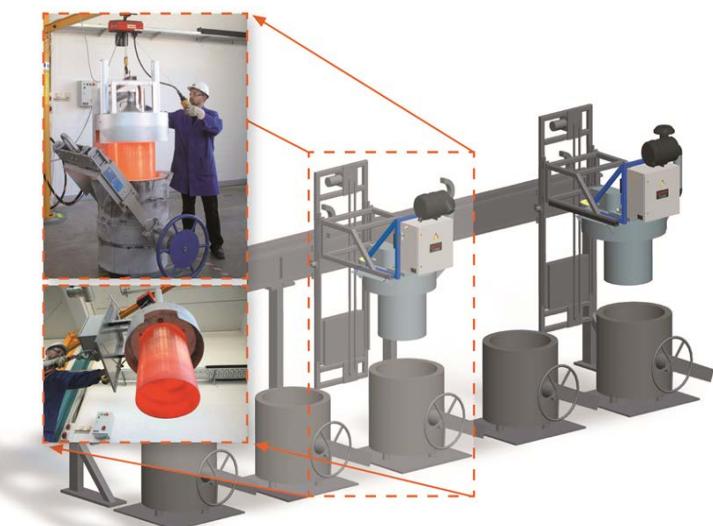
Neben den Erdgas-Luft-Diffusionsbrennern zur Vorwärmung und Aufheizung von Öfen und Transportpfannen können die Gießereien des Weiteren zurückgreifen auf:

- Erdgas-Luft-Volumenbrenner in Form von Porenbrünnern (Abbildung 27) . Die erreichten Temperaturen betragen etwa um 1.000 °C. Einsatz ist möglich in Eisen- und Stahl-

Gießereien unter der Prämisze: Temperaturen oberhalb um 1.000 °C werden nicht benötigt. Einsatz ist auch möglich in Nicht-Eisen-Metall-Gießereien.

- Porenbrenner verbreiten sich vergleichsweise schnell in Gießereien; es sind derzeit mehr als 20 Gießereien dabei, Porenbrenner zu erproben oder einzusetzen.
- Erdgas-Sauerstoff-Diffusionsbrenner (Oxy-Fuel-Brenner). Mit Oxy-Fuel-Brennern lassen sich Temperaturen erreichen von ca. 1.200 °C – 1.450 °C. Heute lassen sich durch den Einsatz von Erdgas-Sauerstoff-Brennern mit Wasserkühlung Temperaturen, wie oben angegeben, um etwa 1.450 °C realisieren. Einsatz in Eisen- und Stahl-Gießereien sowie in Nicht-Eisen-Metall-Gießereien; es sind derzeit etwa 5-10 Anwendungen bekannt.

Abbildung 27: Gasporenbrenner-Technologie, Fa. Promeos



Verringerung der Vorwärmung von Pfannen durch spezielle Auskleidungen, wie das KALTEK System; es handelt es sich um isolierendes feuerfestes System auf Quarzbasis zur Pfannenauskleidung.

Bei KALTEK Boards (Auskleidungssysteme in Plattenform) erfolgt das Zusammensetzen der Auskleidung außerhalb der Pfanne und wird anschließend in die Pfanne eingesetzt (Abbildung 28).

Abbildung 28: Einsatz des vormontierten KALTEK-Systems in die bereitgestellte Pfanne, Fa. Foseco



Aus energetischer Sicht ist das System interessant, da das System nicht vorgewärmt wird (Kaltstartsystem). Es ist mit zunehmender Verbreitung in Fe- und NE-Gießereien im Einsatz.

Zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur Senkung der CO2-Emissionen siehe auch BVT-Kandidaten.

### 6.3 Abwärmenutzung

Etwas weniger als die Hälfte der Fe- sowie der NE-Gießereien nutzen Abwärme im Schmelzbetrieb: bei Heißwindkupolöfen sowie Induktionsöfen ist Abwärmenutzung sehr verbreitet bzw. Stand der Technik.

Neue Beispiele der Abwärmenutzung sind bei den BVT-Kandidaten.

Teilweise wird Abwärme aus der Hallenabluft zurückgewonnen.

## 7 Form- und Kernherstellung

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.5

Im Eisen-, Stahl- und Temperguss fast ausschließlich - 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.

Der Formstoff wird typischerweise wieder aufbereitet oder regeneriert und in der Gießerei wiederverwendet.

Hinsichtlich der Umwelteinflüsse sind in Formereien und Kernmachereien typische Emissionen: quarzhaltiger Staub und verschiedenartige Gase, die bei der Verarbeitung von chemischen Bindemitteln bzw. kohlenstoffhaltigen Zusatzstoffen auftreten können.

### 7.1 Sandguss

#### 7.1.1 Nassguss-Verfahren

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.5.4

Beim Nassguss-Verfahren wird bentonitgebundener Quarzsand - dem in Eisengießereien zusätzlich ein Kohlenstoffträger, in fast allen Fällen Kohlenstaub - zugesetzt wird, zu einer Sandform gepresst. Dieses Pressen kann in kleinen Gießereien auf einer einzelnen Maschine oder in größeren Gießereien auf einer Formanlage geschehen. In den meisten Fällen werden in die Formen Sandkerne aus organisch gebundenen Formstoffen eingelegt.

Das Nassguss-Verfahren ist ein Verfahren zur Serienfertigung und wird damit bei der Herstellung von Serienbauteilen, typisch für Straßenfahrzeuge, oder im vielfältigen Maschinenbau eingesetzt.

In Deutschland wenden etwa 60% der Fe-Gießereien, dies sind etwa 160 Betriebe, das Nassguss-Verfahren an. Bei den NE-Gießereien wenden etwa 30% das Verfahren an, dies sind rund 100 Betriebe [BDGuss 2012; Technikerhebung 2012].

Etwa 40% aller Anwender des Nassguss-Verfahrens, dies sind rund 100 Betriebe, haben Einzelformmaschinen im Einsatz; etwa 70%, dies sind etwa 180 Betriebe, betreiben Formanlagen, manche Gießereien betreiben beide Varianten (Abbildung 29).

Abbildung 29: Nassguss-Formanlage



Das Nassguss-Verfahren hat als wesentliche Varianten, das Verwenden eines Formkastens (kastengebundenes Formen) oder das Pressen eines Formballens ohne Formkasten (kostenloses Formen).

In Deutschland setzen von den Nassguss-Betreibern etwa 80% kastengebundenes und 20% kostenloses Formen ein. Derzeit betreiben 31 Gießereien in Deutschland 55 vertikal geteilte Formanlagen vom Typ DISAMATIK [Colditz 2012], dies sind Anlagen zum kostenlosen Formen.

Die Betreiber des Nassguss-Verfahrens haben im Durchschnitt etwa 1,8 Formanlagen in Betrieb [Technikerhebung 2012].

### 7.1.2 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 (mehrere hundert kg bis rd. 300 t) für den Maschinenbau zu gießen.

Als selbsthärtende Bindemittel werden Furanharz, Phenolharz oder anorganische Bindemittel (Wasserglas; Zement) eingesetzt.

In den Fe- und NE-Gießereien verteilen sich die Anteile der verschiedenen Formstoffe/Verfahren etwa wie folgt in Tabelle 5.

**Tabelle 5: Anteile der Anwender derartiger Formstoffe und Anteile der Mengen der in Deutschland eingesetzten selbsthärzenden chemischen Formstoffe, Angaben sind gerundet [Iden 2012; Technikerhebung 2012]**

	Furanharz-gebundener Formstoff	Phenolharz-gebundener Formstoff	Pep-Set-Formstoff	Maskenformstoff	Wasserglas-gebundener Formstoff
<b>Anwender in % der deutschen Gießereien</b>					
Fe	60%	<5%	<5%	<1 %	<5%
NE	20%	<5%	<5%	<1%	20%
<b>Verteilung der Formstoffe</b>					
Fe und NE	80%	15%	<3%	<3%	<3%

In etwa 60% deutscher Fe-Gießereien, dies sind etwa 160, wird das Kaltharz-Verfahren eingesetzt; in NE-Gießereien sind es etwa 30%, dies sind rund 100 [Technikerhebung 2012].

Es dominieren die modernen Furanharz-Systeme. Phenolharzgebundener Formstoff hatte bereits vor etwa 20 Jahren eine ähnliche Bedeutung wie heute [Gießereitechnik 1993/94].

Das Pep-set-Verfahren (Pep-set-Formstoff ist ein selbsthärzender Formstoff auf Basis von Polyurethanharz) hat sich in den letzten Jahren – auf vergleichsweise niedrigem Niveau – auch in Deutschland etabliert.

Maskenformen aus umhülltem Sand werden nur in einzelnen Gießereien eingesetzt, beispielsweise beim Gießen von Kurbelwellen.

Die noch nicht gelösten Aufgaben, die einen Einsatz von anorganischem Bindern im Fe-Großguss entgegenstehen, wie schlechte Zerfallseigenschaften nach dem Gießen, lassen eine breite Wiederkehr der anorganischen Systeme noch nicht zu. In NE-Gießereien – im Besonderen in vergleichsweise kleinen und mittleren Betrieben - können die Vorteile des anorganischen Systems Wasserglas-Ester eher genutzt werden.

Gießgruben werden in Eisen- und Stahlgießereien bei der Herstellung von Gussteilen ab mehreren Tonnen Masse eingesetzt – in Deutschland haben etwa 30 Gießereien Gießgruben. (Abbildung 30).

Abbildung 30: Gießgrube in einer Gießerei



Formkästen werden häufig mit bis zu mehreren Quadratmetern Formfläche verwendet.

Ein Trend besteht seit einigen Jahren darin, auch derartig große Formen, wie bisher schon kleinere Formen, auf Flurförderfahrzeugen und auf festen Bahnen nacheinander zu den einzelnen ortsfesten Fertigungsstationen (Formen – Gießen – Ausleeren – Putzen) zu bringen.

Mit großen Formen eine derartige Fließfertigung zu realisieren, wird in Deutschland z. Zt. noch in weniger als 5 Gießereien praktiziert. Voraussetzung für diese Art der Fertigung sind große Gussteile mit vergleichsweise großen Serien. Derartige werden beispielsweise in Windkraftanlagen verwendet (siehe Kapitel 2). Die erwartete zunehmende Produktion von Windkraftanlagen wird diesen technischen Trend stützen.

Bei kleineren Formkästen mit selbsthärtendem Formstoff findet typischerweise ein Transport von Station zu Station auf Rollenbahnen statt.

Es ist anzunehmen, dass zukünftig in zunehmendem Maße anorganische Bindemittel im Großguss eingesetzt werden. Vorab zu lösen ist u. a. die Aufgabe, derartige gebrauchte Formstoffe effizient für eine innerbetriebliche Wiederverwendung regenerieren zu können.

Zementsand ist seit mehr als 20 Jahren in der Gießereibranche kaum noch im Einsatz und wird heute als Formstoff lediglich in einer Gießerei, in der sehr große Schiffsschrauben aus Kupferbasislegierungen hergestellt werden, eingesetzt.

Eine Variante der Großgussfertigung mit chemisch gebundenen Formstoffen ist das Vollformgießen, bei dem ein Schaumstoffmodell in der Sandform verbleibt und beim Gießen vergast. Etwa 10 Eisen- und Stahlgießereien setzen dieses Verfahren in Deutschland ein.

### 7.1.3 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 kann für das Gießen aller üblichen Schmelzen eingesetzt werden.

Seine größte Verbreitung hatte das Verfahren vor etwa 30 Jahren mit etwa 20 Anwendern in Deutschland. Die Anzahl der Anwender nahm bis heute auf weniger als 5 anwendende Gießereien in Deutschland ab. Eine zukünftig etwas breitere Anwendung als neuartiges Rapid Prototyping-Verfahren - in Verbindung mit einem aufbauenden Verfahren, wie Lasersintern - ist möglich. Bei dem Lasersintern wird mit einem Laser ein Pulver ausgehärtet. Lagenweise

werden immer neue Pulverschichten aufgetragen und ausgehärtet. Hierdurch entsteht ein poröses Gießereimodell, das beim Vakuumformverfahren eingesetzt wird. Die Luft in der Form kann durch das poröse Modell hindurch abgesaugt werden. Entwicklungsarbeiten hierzu sind kürzlich abgeschlossen worden.

Vorteile des Vakuumform-Verfahrens sind beispielsweise eine sehr gute Qualität der Gussoberflächen sowie eine sehr gute Wiederverwendbarkeit des gebrauchten binderfreien Sandes.

Beim Einsatz von Quarzsand sind Maßnahmen gegen Quarzstaubemissionen zu treffen; alternativ zum Quarzsand können aber auch andere, kostenintensivere Formgrundstoffe eingesetzt werden, da kaum Sand im Fertigungskreislauf verloren geht.

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

Das Verfahren wird in Deutschland eingesetzt bei der Herstellung von PKW-Teilen aus Aluminiumlegierungen und von Bauteilen für den Maschinenbau aus Stahlguss. In Deutschland setzen weniger als 5 Gießereien dieses Verfahren ein. Die Anzahl der Anwender in Deutschland ist seit langem unverändert.

## 7.2 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 chemischgebundenen Formstoffen mittels Kernschießmaschinen (Abbildung 31) hergestellt.

Die aktuelle Verteilung bei den Formstoffen für die Serienkernfertigung zeigt Tabelle 6.

Abbildung 31: Kernschießmaschine



**Tabelle 6** Anteile der Anwender derartiger Formstoffe/Verfahren und Anteile der Mengen an Formstoffen für Sandkerne; Angaben sind gerundet [Iden 2012; Technikerhebung 2012]

	Urethan-Cold-Box-Verfahren	Warm-/Hot-Box-Verfahren	Maskenform-Verfahren	SO <sub>2</sub> -Verfahren	Resol-CO <sub>2</sub> -Verfahren	Methylformiat-Verfahren	Wasser-glas/Anorganik-Verfahren
Anwender in % der Gießereien							
Fe	40%	5%	<5%	<2%	<5%	<2%	<5%
NE	30%	15%	<5%	<2%	<5%	<2%	10%
Verteilung der Formstoffe							
- Fe und NE	78%	7%	1%	4%	3%	1%	5%

Urethan-Cold-Box-Binder werden sicher langfristig eine herausragende, breite Anwendung haben. Derzeit setzen etwa 200 Gießereien das Verfahren in Deutschland ein und sie fertigen rd. 80 % aller Sandkerne mit diesem Verfahren.

Warmhärtende Verfahren, wie Maskenform-Verfahren, Warm Box- und Hot Box-Verfahren, haben eine geringe Anwendungsbreite – aber bei speziellen Gussteilen, insbesondere in NE-Gießereien – werden sie derzeit eingesetzt und weiterhin eingesetzt werden.

Das Resol-CO<sub>2</sub>-Verfahren ist ein gashärtendes Kernbindemittel mit einem hohem Anteil anorganischer Stoffe und einem zur Härtung eingesetzten Gas, das kein Gefahrstoff ist (CO<sub>2</sub>). Es hat das früher in Deutschland vergleichsweise weiter als heute verbreitete Methylformiat-Verfahren abgelöst, beim dem die Abscheidung erfasster Mengen an überschüssigem Methylformiat-Gas unbefriedigend war.

Konventionelle Wasserglas-Systeme haben insbesondere in kleinen NE-Gießereien, im Sand- und Kokillenguss, ihre Anwender.

Seit einigen Jahren ist ein technischer Trend in Aluminium-Kokillengießereien, die Großserien für die Automobilindustrie herstellen, hin zu modifizierten anorganischen Kernbindemitteln erkennbar (siehe auch BVT-Kandidat). Dies sind derzeit etwa 5 bis 10 Gießereien. Die Anwendung wird bei Nichteisenmetallgießereien im Kokillenguss voraussichtlich zunehmen.

In den nächsten Jahren werden die anorganischen Binder voraussichtlich auch einen breiten Einstieg in Eisen- und Stahlgießereien finden. Vorab sind noch technische Schwierigkeiten zu überwinden, die beispielsweise aus der Lagerung (Luftfeuchtigkeit), dem Einsatz von Schlichten (Alkoholschlichten sollen vermieden werden) resultieren können.

Seriensandkerne werden auf Kernschießmaschinen gefertigt. In den 60 Gießereien, die sich an der Technikerhebung beteiligten, sind 246 Kernschießmaschinen im Einsatz; d. h. im Durchschnitt sind etwa 4 Maschinen je Gießerei und etwa 2500 Maschinen in der deutschen Gießerei-industrie im Einsatz.

### 7.3 Schlichten

Im Großguss mit chemisch gebundenen Formstoffen nimmt der Einsatz von Wasserschlichten gegenüber den früher üblichen Alkoholschlichten zu. Die Umstellung auf Wasserschlichte setzt allerdings bestimmte Rahmenbedingungen voraus, wie ein ausreichend großes Platzangebot in der Gießerei, um die geschlichteten Formen trocknen zu lassen.

Hingewiesen sei auf einen BVT-Kandidaten zum Einsatz von Wasserschlichten im Großguss. Die Gießereien haben grundsätzlich die Möglichkeit, Wasserschlichte – bei ausreichendem Platzangebot – an der Luft trocknen zu lassen oder – bei nicht zu großen Formen – energieeffiziente Trockenöfen zu nutzen.

In den Serienkernfertigungen werden typischerweise Wasserschlichten eingesetzt. Getrocknet werden die Kerne zumeist in Trockenöfen mit warmer Luft, weniger häufig mit Mikrowelle und vereinzelt mit Infrarot-Strahlung.

## 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 Nichteisenmetallwerkstoffe) 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. Nach dem Formstofffachmann Prof. Boenisch, RWTH Aachen, spricht man von „Aufbereitung“, wenn auf die Sandkörner Bindemittel aufgebracht wird – und man spricht von „Regenerierung“, wenn von den Sandkörnern Bindemittel abgetragen wird.

Das Gussstück wird verschiedenartig nachbehandelt.

Der Fertigungsbereich „Gießen bis Ausleeren“ ist in jeder Gießerei vorhanden – er ist der Gießerei ihr namengebendes Merkmal.

### 8.1 Sandguss

Vom Gießen bis zum Ausleeren lässt man die Sandformen teilweise ortsfest, teilweise unter ständiger Bewegung auf einer Formanlage abkühlen. In dieser Phase gibt das Gussstück kontinuierlich Wärme an den Formstoff – und ggf. an einen eingelegten Kern – ab. Der erwärmte Formstoff trocknet und bildet je nach Formstofftyp Gase (Gießgase), die die Form verlassen. Beim Ausleeren wird aus dem Formstoff Staub und restliches Gießgas freigesetzt.

Diese Abläufe finden sich in jeder Gießerei, die Sandguss betreibt (siehe Kap. 5.1).

### 8.2 Nassguss-Verfahren

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

Sie werden dort aus Hand-Pfannen mit mechanisierter Unterstützung, aus Pfannen mittels Gießmaschinen oder aus Vergießöfen abgegossen.

Der mechanisierte oder automatisierte Prozess ersetzt weiterhin zunehmend den Handbetrieb. Die Vorteile liegen u. a. in einer höheren Prozesssicherheit und in einer höheren Produktivität.

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. Die Anzahl an Betrieben ist in Abschnitt 5 dargestellt.

### **8.2.1 Verfahren mit chemischen Bindemitteln**

Beim Großguss mittels selbsthärtenden Formstoffs bestimmen die Größe und die Art des Fertigungsablaufs in der jeweiligen Gießerei den Prozessschritt „Gießen bis Ausleeren“.

Gießgruben sind ortsfest. Die Schmelze wird in Pfannen zu den Gießgruben transportiert, dort in die Form gegossen, welche bis zu mehrere Tage abkühlt. Beim Ausleeren wird mit einem Bagger der Formstoff teilweise aus der Form geholt und mit einem Kran wird das freigelegt Gussstück aus der Form gehoben.

Gießgruben werden in Eisen- und Stahlgießereien bei der Herstellung von Gussteilen ab mehreren Tonnen Masse eingesetzt – in Deutschland sind dies etwa 30 Gießereien.

Formkästen mit mehreren Quadratmeter Formfläche werden nach der Formherstellung entweder ortsfest abgegossen und abkühlen lassen – und werden zum Ausleeren zu einem fest installierten Ausleerrost transportiert. Dieser Ablauf findet sich in allen Großgussgießereien mit derartig großen Formkästen.

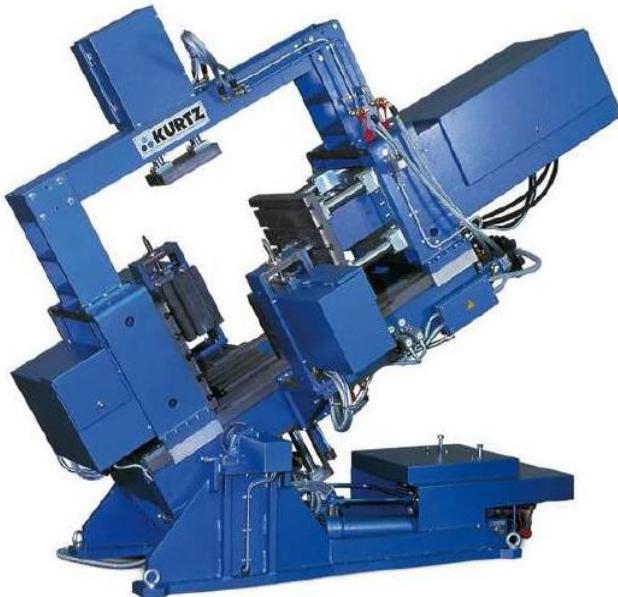
Auf den Trend, auch große Formen auf Flurförderfahrzeugen und auf festen Bahnen nacheinander zu den einzelnen ortsfesten Fertigungsstationen zu bringen, ist in Kapitel 5 hingewiesen worden.

## **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 (Abbildung 32).

Abbildung 32: Kokillenkippgießmaschine



Das Kokillengießen umfasst eine große Breite in der Ausführung: Es reicht vom Gießen mittels eines Gießlöffels von Hand von oben in eine Kokille (Schwerkraft-Kokillengießen) bis hin zu technisch aufwändigen Kokillengießmaschinen, bei denen die Schmelze beispielsweise mittels Druck von unten aufsteigend in die Kokille fließt (Niederdruckgieß-Verfahren).

Beim Kokillengießen werden meistens Sandkerne eingesetzt, was einen wesentlichen Einfluss auf die Emissionen haben kann.

Etwa 50% der Nichteisenmetallgießereien fertigen mit dem Kokillengieß-Verfahren. Etwa 60% dieser Anlagen sind für Schwerkraftkokillenguss, 25 % für Kippkokillenguss und 15% für Niederdruckkokillenguss. Hiernach sind an Gießeinrichtungen etwa 1200 für das Schwerkraftkokillengießen, 500 für das Kippkokillengießen und 200 für das Niederdruckgießen [Technikerhebung 2012].

In Eisen-, Stahl- und Tempergießereien beschränkt sich das Kokillengießen auf große spezielle Gussteile: wie Walzen oder Behälter zum Transport und zur Lagerung von radioaktiven Brennlementen (Castor-Behälter) und demnach auf einzelne Betriebe.

Eine Variante des Kokillengießens ist das Schleudergießen zur Herstellung von rotationssymmetrischen Gussteilen, wie Rohren. Hierbei ist die Kokille in einer Rotation mit hoher Umdrehungszahl, so dass die Schmelze an den äußeren Rand der Kokille gedrückt wird und dort erstarrt. Etwa 15% der Buntmetallgießereien, dies sind etwa 30 Betriebe, und weniger als 5 Betriebe bei den Fe-Gießereien wenden dieses Verfahren an.

## 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 (Abbildung 33).

Abbildung 33: Druckgießmaschine



Hohlräume des Gussstücks werden nicht mit chemisch gebundenen Sandkernen erzeugt, sondern mit metallischen Kernen oder – selten – mit Kernen aus löslichen Stoffen, wie Salzen. Zwischen dem Gießen der Gussteile werden die zwei Hälften der horizontal geteilten Druckgießform mit einem Trennmittel besprüht, welches beim Gießen immer wieder verdampft.

Druckgießen ist eine ausgesprochene Serien- und Großserienfertigung. Gussteile werden für die Automobilindustrie und den Maschinenbau sowie die Elektrotechnik und andere Industriebereiche gefertigt.

Typische Legierungen sind die Leichtmetallgusswerkstoffe Aluminiumlegierungen und Magnesiumlegierungen. Magnesiumlegierungen werden in Gießereien – u.a. wegen ihrer ausgeprägten hohen Oxidationsneigung – fast ausschließlich mittels Druckgießen verarbeitet. Von den Buntmetalllegierungen werden insbesondere Zinklegierungen eingesetzt. Im industriellen Bereich werden Zinklegierungen – nahezu ausschließlich im Druckguss eingesetzt.

Auf Kaltkammerdruckgießmaschinen werden eingesetzt: Aluminiumlegierungen und Magnesiumlegierungen bei vergleichsweise kleinen Gussteilen, wie Gehäuse für Mobiltelefone, sowie Kupferlegierungen.

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

In Deutschland produzieren etwa 80 Druckgießereien. Ihre Produktion ist in Kap. 2 zu entnehmen.

Die durchschnittliche Anzahl an Kaltkammer- wie Warmkammerdruckgießmaschinen je Druckgießerei beträgt mehr als 10 Maschinen (Technikerhebung 2012).

## 8.5 Feingießen und Genaugießen

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.5.9

Beim Feingießen und beim Genaugießen besteht die Formschale aus Keramik (Abbildung 34).

Abbildung 34: Feingießen



Beim Feingießen (Wachsausschmelzverfahren) werden ein keramischer Schlicker und Sand la- genweise auf ein Modell aus Wachs aufgetragen. Nach Trocknung des Schlickers und vor sei- nem Brennen zu einer Keramik wird das Wachs erwärmt und fließt aus der Form. Die Form wird nach dem Brennen im heißen Zustand abgegossen.

Beim Genaugießen wird eine Schalenform ohne ausschmelzbares Modell aus keramischem Schlicker hergestellt. Die Gussteile haben wie beim Feingießen ebenfalls hohe Maßgenauigkeit und Oberflächenqualität.

Feingießen und Genaugießen werden als industrielle Fertigungsverfahren in Deutschland in etwa 10 Gießereien eingesetzt. In der industriellen Fertigung ist das Feingießen ein Serien- und Großserienverfahren. Die meisten Fein- und Genaugussteile bestehen aus einer der zahlreichen verwendeten Stahlgusssorten. Mengenmäßig bedeutend sind außerdem Gussteile für die Luftfahrt, wie Turbinenschaufeln aus warmfesten Legierungen (Superlegierungen) und Gussteile aus Aluminium- oder Titanlegierungen.

Von den 10 Feingießereien fertigt etwa die Hälfte auch für die Luftfahrt.

Neben der industriellen Anwendung ist das Feingießverfahren verbreitet bei der handwerklichen Fertigung von Kunstobjekten: ein Künstler gestaltet aus Wachs ein Kunstobjekt, das in Metall – oft Bronze – gegossen wird. Die Anzahl derartiger handwerklich arbeitender Betriebe ist nicht bekannt.

## 8.6 Glockengießen

Das Gießen von Glocken ist ein handwerklicher Prozess, bei dem natürliche Hilfsstoffe, wie Stroh und Lehm, verwendet werden. Das Formverfahren bezeichnet man als Schablonen-Verfahren. Werkstoff ist typischerweise Bronze.

In Deutschland produzieren weniger als 10 Glockengießereien. Teilweise exportieren sie ihre Produkte weltweit.

## 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.

Etwa 5 % der gebrauchten Formstoffe werden aus dem Kreislauf ausgeschleust.

Diese Quote gilt für alle Gießereien – mit Ausnahme von den wenigen, die keramische oder zementgebundene Formstoffe einsetzen. Diese mineralischen Rückstände werden entsorgt und in verschiedenartigen Einsatzgebieten, beispielsweise als Ersatzbaustoff, verwertet.

In Deutschland fallen gebrauchte Formstoffe dieser Art als industrielle Prozessrückstände in etwa 10 Gießereien an.

## 9.1 Bentonitgebundener Formstoff

Bentonit hat nach einer Austrocknung durch die Wärme nach dem Gießen die Eigenschaft, durch die Zugabe von Wasser und einer vergleichsweise kleinen Menge an frischen Einsatzstoffen in einem Mischer wieder verwendbar gemacht werden zu können. Diese Formstoffaufbereitung findet in allen Gießereien, die bentonitgebundenen Formstoff einsetzen, statt.

Der Formstoff wird darum statistisch bis zu 20x im Formstoffkreislauf einer Gießerei geführt. Ein Standard in allen Gießereien, die tongebundenen – fast ausschließlich bentonitgebundenen - Formstoff einsetzen.

In einigen 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). Der anfallende Sand hat eine Qualität, die es ermöglicht, ihn wieder bei der Herstellung von Sandkernen einzusetzen. Eine Regenerierung von Formstoffen mit Bentonit als Bindemittel führen in Deutschland etwa 5 Eisengießereien durch.

In einer einzelnen Eisengießerei wird wasserfreier Formstoff (mit ausgebranntem Ton oder mit tonfreiem Kernsand) mittels Magnetabscheider von den Formstoffanteilen mit frischem, wasserhaltigem Ton getrennt. Dies ermöglicht eine effizientere Wiederverwendung. Kernbruch wird in etwa 70% der Gießereien, die Seriensandkerne einsetzen, regeneriert [Technikerhebung 2012].

In einer einzelnen Aluminiumgießerei werden mittels optischer Erfassung und gezieltem scharfen Luftstrahl Verunreinigungen, wie Kernstützen oder Speisereste, aus dem gebrauchten tongebundenen Formstoff abgeschieden; dies verbessert die Wiederverwendung (siehe BVT-Kandidat).

Es ist davon auszugehen, dass die Anzahl der Betreiber derartiger Anlagen zur Regenerierung und zur besseren innerbetrieblichen Wiederverwendung zukünftig steigen wird – aus ökologischen und ökonomischen Gründen.

## 9.2 Chemisch gebundener Formstoff

In der Kaltharz-Fertigung im Großguss wird furan- oder phenolharzgebundener Formstoff ebenfalls statistisch etwa 20x im Kreislauf einer Gießerei geführt. Der gebrauchte Formstoff wird mechanisch regeneriert – das ist bei diesen Formstoffsystmen ein Standard in allen Gießereien, die diesen Formstoff einsetzen. Der regenerierte Sand wird vorwiegend eingesetzt bei der Herstellung aus Sandkernen, die mit demselben Formstoff hergestellt werden wie die Sandform. Der regenerierte Sand wird mit Neusand und Bindemittel in einem Durchlaufmischer

kontinuierlich gemischt und verarbeitet – ein Standard-Verfahren und ein Standard-Gerät in den Gießereien, die mit selbsthärtenden Formstoffen arbeiten (Abbildung 35).

Abbildung 35: Durchlaufmischer



Bei höheren Temperaturen, wie sie beispielsweise im Stahlguss in der Form auftreten, werden neben Quarzsanden auch temperaturbeständiger Chromit- oder Zirkonsande eingesetzt. Magnetabscheider zum Trennen von Chromit- und Quarzsand bei der Regenerierung sind in Deutschland etwa 10% der Fe-Gießereien, verbreitet [Technikerhebung 2012].

Vorwiegend in Aluminiumgießereien werden Bindemittel auf Basis von Wasserglas bei der Kernherstellung oder bei der Verarbeitung selbsthärtender Formstoffsysteme (Wasserglas-Ester-Verfahren) eingesetzt. Ihre Regenerierung und Wiederverwendung ist derzeit noch unbefriedigend; die Regenerierquoten liegen weit unter denen von bentonit- oder kaltharzgebundenen Systemen.

Verfahren der Nassregenerierung, wie sie beispielsweise in osteuropäischen Ländern betrieben werden, sind in Deutschland nicht im Einsatz.

Gebrauchte Kernsande werden in großen Aluminiumkokillengießereien in thermischen Anlagen regeneriert – die Bindemittel werden verbrannt, so dass ein sehr hochwertiger Formgrundstoff anfällt. Hiervon sind etwa 5 Anlagen in Deutschland im Einsatz.

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

Ausnahmen sind gebrauchter Maskenformstoff, bei dem die Sandkörner in einem speziellen Prozess mit neuem Bindemittel umhüllt werden – in Deutschland wird dies bei der Gießerei-Zulieferindustrie durchgeführt und nicht in den Gießereien.

## 10 Gussnachbehandlung und Wärmebehandlung

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 2.7; 2.8

## 11 Strahlen

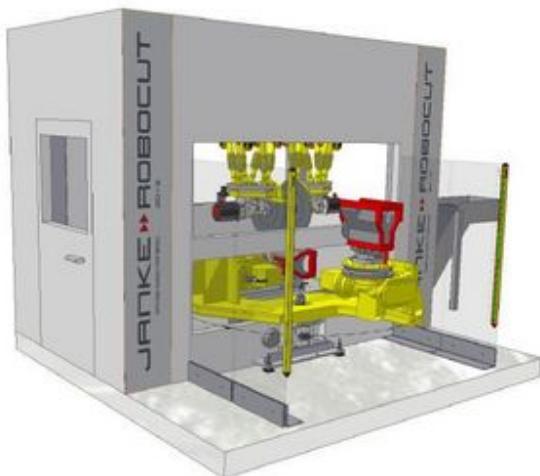
Anhaftungen von Formstoff an Rohgussteilen werden durch Strahlen mit Strahlmittel beseitigt.

Das Strahlen wird in gekapselten Räumen durchgeführt. Bei sehr großen Gussstücken wird Druckluftstrahlen, bei kleineren Gussteilen ist Schleuderradstrahlen als Standard-Verfahren im Einsatz. Mittlerweile gibt es Strahlkabinen für mehrere Meter lange Gussteile, wie Zylinderkurbelgehäuse für große Dieselmotoren wie sie in Schiffen oder zur Stromerzeugung eingesetzt werden.

## 11.1 Putzen von Rohguss

In noch vergleichsweise geringer Anzahl werden Abtrenn- und Schleifarbeiten an Gussteilen in automatisierten, vollständig gekapselten Prozessen durchgeführt. Diese vollständig gekoppelten Einrichtungen haben den Vorteil, dass weniger Staub in die Hallenluft und damit auch über etwaige diffuse Quellen, wie Hallenfenster oder -tore, emittiert werden kann. Die Anzahl derartiger Systeme steigt jedoch ständig (Abbildung 36).

Abbildung 36: Putzroboter



Weiter verbreitet ist das Putzen mit handgeführten Geräten. Dadurch, dass sich Beschäftigte im Arbeitsbereich aufhalten, ist eine Kapselung und Erfassung von freigesetzten Stäuben nur teilweise effizient möglich.

## 11.2 Wärmebehandlung

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

Umweltrelevant ist bei diesem Prozess die Energieeffizienz. In Stahlgießereien ist bei der Wärmebehandlung der Energieeinsatz – typischerweise in Form von Erdgas – so hoch wie der Energieeinsatz im Schmelzbetrieb.

Viele Gießereien haben in ihrer Wärmebehandlungseinrichtung eine Abwärmenutzung installiert. Etwa die Hälfte der Wärmebehandlungseinrichtungen in NE-Gießereien ist mit einer Abwärmenutzung versehen – bei den Fe-Gießereien ist diese weniger verbreitet.

Ein Abschreckmittel, das weniger riechende, ölige Dämpfe freisetzt, ist als BVT-Kandidat beschrieben.

## 12 Luftreinhaltung in Gießereien

Im Folgenden werden die typischen Gießereiprozesse und Gießereifertigungsbereiche hinsichtlich ihrer Emissionen und ihrer Verfahren und Anlagen zur Luftreinhaltung dargestellt. Die Emissionswerte, die aus Emissionsmessprotokollen stammen, sind in UFOPLAN ausgewertet worden (siehe entsprechendes Kapitel).

Im Folgenden werden die einzelnen Verfahren und Anlagen nicht ausführlich beschrieben, sondern es werden für den weitergehend Interessierten Hinweise auf die jeweils zugehörigen Kapitel in der derzeitigen BREF für Gießereien oder auf die jüngst erarbeiteten BVT-Kandidaten gegeben. Das folgende Kapitel folgt – wie die Ausführungen zuvor – der Gliederung der derzeitigen BREF für Gießereien.

### 12.1 Luftreinhaltung in Schmelzbetrieben

Siehe Abschnitt in Foundry-BREF: 3.2

In Schmelzbetrieben von Gießereien werden die Ofenabgase typischerweise erfasst und gereinigt [Handte 2012; Schütte 2012].

Ausnahmen können kleine Nichteisenmetall-Schmelzöfen darstellen, bei denen die Emissionen vergleichsweise gering sind. Die Leistung des Schmelzofens ist hierbei nicht relevant, sondern relevant sind die Grenzwerte für Massenkonzentrationen oder Massenstrom nach TA Luft.

Verbreitet im Einsatz sind Trockenfilter und Wäscher zur Staubabscheidung - in Sonderfällen zusätzliche Reinigungsverfahren, wie das Flugstrom-Verfahren. Etwa die Hälfte der NE-Gießereien führen die abgesaugte Abluft der Öfen einer Entstaubung zu.

#### 12.1.1 Abgaserfassung

Bei Kupolöfen unterscheidet man zwischen Obergichtabsaugung, typisch bei Kaltwindkupolöfen, und Untergichtabsaugung, typisch bei Heißwindkupolöfen. Die Abgaserfassung ist bei derartigen Schachtöfen – bedingt durch ihre Bauweise – seit langem sehr effektiv.

Bei Induktionsrinnen-, Induktionstiegelöfen und brennstoffbeheizten Tiegelöfen sind weit verbreitet und je nach Größe und technischem Stand der Schmelzeinrichtung verschiedenartige Erfassungseinrichtungen im Einsatz, wie unterschiedlich gestaltete und bewegliche Absaughauben. Es gibt hierbei einen Trend von Erfassungseinrichtungen mit weniger hohem Wirkungsgrad, wie Ringabsaugungen, hin zu modernen mit hoher Effizienz bei der Ablufterfassung. Bei Schacht- und Drehstrommelöfen ist – bedingt durch eine geschlossene Bauweise – die Erfassung effizient. Bei Drehstrommelöfen sollte die Absaugung allerdings so ausgelegt sein, dass auch bei drehender Trommel die Abgase möglichst effizient erfasst werden.

Lichtbogenöfen verfügen über einen Deckel mit Loch zur Abgasführung oder sind eingehaust, um Emissionen in die Hallenluft – und damit mögliche diffuse Emissionen - zu vermindern.

#### 12.1.2 Abluftreinigung

Die sehr weit verbreiteten Systeme zur Abluftreinigung von Schmelzofenabgasen sind Trockenfilter. In Deutschland sind sie für die Reinigung von Abgasen bei allen Arten von Schmelzöfen üblich.

Bei Verwendung von Abgasreinigung im Schmelzbetrieb sind im mehr als 90% Trockenfilter - lediglich weniger als 10% Nasswäscher [Technikerhebung 2012].

Bei Trockenfiltern ist im Normalbetrieb die Staubemissionen unter etwa 2 mg/m<sup>3</sup>.

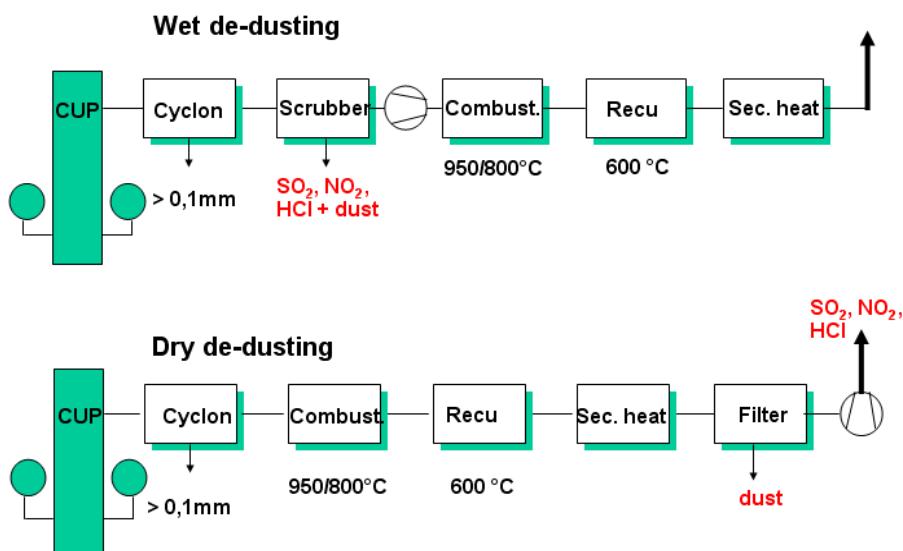
Bei kontinuierlichen Messungen wird deutlich, dass einzelne Werte für die Staubemissionen deutlich höher als 2 mg/m<sup>3</sup> sein können; diese Betriebszustände treten gelegentlich auf, können allerdings nicht als Normalbetrieb angesehen werden.

Der Wirkungsgrad von Trockenfiltern bei Kupolöfen ist sehr hoch und der Grenzwert für Staub in Deutschland von 20mg/m<sup>3</sup> nach TA Luft wird im üblichen laufenden Betrieb weit unterschritten; Emissionswerte, die nicht weit unter dem Grenzwert liegen – in den im UFOPLAN ausgewerteten Messprotokollen zwischen <1 und 10 mg/m<sup>3</sup> - beschränken sich auf untypische Betriebszustände.

Nasswäscher sind in Schmelzbetrieben von Eisen- und Stahlgießereien lediglich bei Kupolofenanlagen im Einsatz; ca. 10% der Kupolofenbetreiber setzen Nasswäscher ein. Im Vergleich zu einer Trockenentstaubung haben sie Vor- und Nachteile [Lemperle 2012]: sie weisen im Vergleich zu Trockenentstaubungen einen vergleichsweise höheren Staubgehalt im Reingas auf – die Werte liegen < 20 mg/m<sup>3</sup> und es ist eine Wasserwirtschaft zu betreiben, vergleichsweise niedrigere Gehalte an Gasen, wie SO<sub>2</sub> oder NO<sub>x</sub>, im Reingas auf.

Die Vorteile sind der Grund, warum bei Heisswindkupolöfen beide Systeme (Abbildung 37) verbreitet sind und voraussichtlich verbreitet bleiben werden.

Abbildung 37: Nass- und Trockenabscheidung bei Kupolöfen



Beispielhafte Angaben:

	<u>SO<sub>2</sub> [mg/m<sup>3</sup>]</u>	<u>NO<sub>x</sub> [mg/m<sup>3</sup>]</u>
Kaltwindkupolofen:	160	25-65
Heißwindkupolofen:		
(Trockenentstaubung)	.80	40
Heißwindkupolofen:		
(Nassentstaubung)	20	27

Die Gehalte gasförmiger Schadstoffe, wie Schwefelverbindungen, Fluoride, Chloride oder organische Verbindungen (Dioxine), sind typischerweise niedrig und können bei erhöhten Werten durch jeweils geeignete Maßnahmen, beispielsweise andere Einsatzstoffe (Koks oder metallische Einsatzstoffe) vermindert werden. Mit sekundären Maßnahmen mit Adsorbereinsatz kann ein Wirkungsgrad von über 99% erreicht werden (DIOFUR 2010).

In einzelnen wenigen Fällen ist dies nicht ausreichend möglich. Dann ist als zusätzliches Abgasreinigungsverfahren das Flugstrom-Verfahren im Einsatz. Bei diesem Verfahren wird ein Adsorbermaterial in den Abluftstrom eingeblasen, die zu vermindernden gasförmigen Stoffe werden adsorbiert und das Adsorbermaterial wird im Staubfilter aus dem Abluftstrom abgeschieden (siehe auch BVT-Kandidat).

## 12.2 Luftreinhaltung bei Form- und Kernherstellung

Siehe Foundry-BREF: 3.9

In diesem Fertigungsabschnitt sind in allen Gießereien, die Sandformen und/oder Sandkerne einsetzen typische Emissionen quarzhaltige Stäube aus trockenem Formstoff. In Deutschland sind dies etwa 500 Betriebe.

Für die Emissionssituation bzgl. Gase und Dämpfe ist die chemische Zusammensetzung des Formstoffs und die Unterscheidung des Handlings der Sandformen beim Nassguss- und beim Kaltharz-Verfahren wichtig.

### 12.2.1 Staubfreisetzung und Ablufterfassung

Beim Nassguss-Formen ist die Staubfreisetzung eher gering, da der bentonitgebundene Formstoff feucht ist und wenig staubt. An der Stellen der Formlage, wo Sandkerne eingelegt werden, ist bisher in wenigen Fällen eine Ablufterfassung aus Gründen der Verminderung einer Exposition gegenüber Quarzfeinstaub installiert. Bei der Herstellung von Nassguss-Formen sind Absaugungen typischerweise nicht notwendig und demzufolge nicht vorhanden.

Beim Formen mit kaltharzgebundenem Formstoff sind aus Gründen des Arbeitsschutzes am Durchlaufmischer teilweise Absaugungen angebracht. Bei modernen größeren Durchlaufmischern gibt es Absaugungen an der Stelle, wo der gemischte Formstoff den Mischer verlässt und wo Gase, wie Formaldehyd, Phenol oder Furfurylalkohol je nach chemischem Bindemittel freigesetzt werden können. Etwa 60% der Gießereien, die selbsthärtende Bindemittel einsetzen, haben Ablufterfassung und Entstaubung im Handformbereich installiert [Technikerhebung 2012].

Beim Kernschießen von Serienkernen nach dem Urethan-Cold-Box-Verfahren, bei dem mit dem Katalysatorgas Amin ausgehärtet wird, sind Ablufterfassungen üblicherweise angebracht an den Kernschießformen oder an den Kernschießmaschinen. Abluftreinigung

Zur Abscheidung von Staub ist die Trockenentstaubung das Standardreinigungsverfahren auch im Bereich Formen.

Beim Einsatz von Nassguss-Formanlagen werden anstelle von Trockenfiltern bei rd. 10% der Anlagenbetriebe Nasswäscher verwendet. Bei Stäuben mit Klebeneigung (tonhaltige Stäube, Wasserdampf) sind Nasswäscher vorteilhaft.

Bei den im Rahmen dieser Arbeit ausgewerteten Daten wird ein Bereich von etwa 1 bis 14 mg/m<sup>3</sup> deutlich. Die Auslegung der lufttechnischen Maßnahme für den Wirkungsgrad der An-

lage kann von größerer Bedeutung sein als Unterschiede, die sich aus Trocken- oder Nassabscheidung ergeben.

Staubemissionen in einer Kernmacherei können beim Mischen auftreten. Die abgesaugten Stäube werden mit Trockenfilter gereinigt. Es liegen Messprotokolle vor mit Emissionswerten von etwa 1 bis 14 mg/m<sup>3</sup> (siehe entsprechendes Kapitel).

Bei Einsatz von Urethan-Cold Box-Binder werden Amine zur Härtung der organischen Bindemittel eingesetzt. Das Gas wird weitgehend erfasst, in dem die verwendete Kernschießform oder die geschlossene Kernschießmaschine absaugt werden. Eine effiziente Erfassung und Abreinigung ist in jeder Gießerei, die Amine einsetzt, obligatorisch. Die vorliegenden Emissionswerte liegen zwischen 0,3 und 0,8 mg Amin/m<sup>3</sup>

Ebenso obligatorisch ist in deutschen Gießereien die Entsorgung des Amins. Am weitesten verbreitet ist die Abscheidung des Amins in einem Wäscher. Die Waschlösung wird in Fachfirmen aufbereitet und das Amin wird wieder gewonnen.

Eine von früher bekannte und praktizierte Variante der Amin-Entsorgung, die Verbrennung in einem Kupolofen, wird in der Technikerhebung von keiner Gießerei angegeben.

## 12.3 Luftreinhaltung beim Gießen, Abkühlen und Ausleeren

siehe Foundry BREF: 3.10

Mit dem Gießen der Schmelze in die Form beginnt ein Wärmetransport in den Formstoff. Bei Temperaturen von etwa über 300°C beginnen sich kohlenstoffhaltige Stoffe, wie Kohlenstaub oder Harzbindemittel, chemisch umzuwandeln und es bilden sich Gase mit sehr komplexer Zusammensetzung (Gießgase). Ein Teil der sich bildenden Stoffe sind Schadstoffe, wie die BTX-Gruppe, oder intensiv riechende Stoffe, wie einige Schwefelverbindungen.

Die Gießgase werden während des Abkühlens aus der Form freigesetzt. Ihr Massenstrom hat kurze Zeit nach dem Gießen ein Maximum mit anschließendem Abklingen.

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

Eine Erfassung der Stäube ist bei kleinen Formen effektiv und bei großen Formen weniger effektiv bis nicht möglich.

Erfasste Abluft wird entstaubt und in einzelnen Fällen mit zusätzlichen Verfahren, wie Biofilter, gereinigt.

### 12.3.1 Ablufterfassung

Eine Ablufterfassung erfolgt üblicherweise an stationären Gießplätzen, Kühlstrecken oder Kühlbahnhöfen und gekapselten Ausleerstationen von Sandgießereien. Die Erfassung erfolgt bei älteren Formanlagen lediglich kurz nach dem Gießen und bei neueren Anlagen über eine längere Abkühlstrecke oder in einem Kühlbahnhof (siehe auch BVT-Kandidat).

Bei Großguss mit Formgruben oder mit großen Formkästen ist eine Erfassung der Gießgase während der Abkühlphase an der Form nicht möglich, verschiedene technische Ansätze, wie Erfassungen innerhalb der Form mit eingefürteten Lanzen oder oberhalb der Form mit großen Hauben, führten bisher zu keinen betriebstauglichen Maßnahmen.

Das Ausleeren von Formkästen – auch großformatigen – findet typischerweise in Kabinen statt, die eine weitgehende Ablufterfassung gewährleisten.

Beim Kokillen-, Druck-, Fein- oder Genaugießen sind teilweise Hauben und Absaugungen eingerichtet. Etwa die Hälfte der Druckgießmaschinen verfügt über Erfassungseinrichtungen [Technikerhebung 2012]. Teilweise werden die Gase und Dämpfe in die Hallenluft freigesetzt.

Beim Druckgießen werden vereinzelt Luftschieber-Anlagen eingesetzt, die eine unsichtbare Raumteilung bewirken [Technikerhebung 2012]

### 12.3.2 Abluftreinigung

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 bei rd. 10 Gießereien Nasswäscher zur Entstaubung verwendet, weil sie bei Stäuben mit Klebeneigung (tonhaltige Stäube) Vorteile haben können [Technikerhebung 2012].

Bei den vorliegenden Werten liegen die Staubemissionen hinter Trockenfiltern zwischen <1 und etwa 8,5 mg/m<sup>3</sup>, die Staubemissionen hinter dem Nasswäscher liegen höher: > 10 mg/m<sup>3</sup>. (siehe entsprechendes Kapitel).

Elektrofilter werden in etwa einem Viertel der Druckgießereien eingesetzt.

Messwerte für gasförmige Emissionen, wie Benzol, weisen typischerweise Konzentrationen auf, die eine zusätzliche Abreinigung der gasförmigen Emissionskomponenten nicht verlangt; die Werte für Benzol liegen zwischen < 0,2 bis 4,5 mg/m<sup>3</sup> (siehe entsprechendes Kapitel).

In einzelnen Fällen sind jedoch zusätzliche Anlagen zur Emissionsminderung – d.h. zur Beseitigung oder zur Verminderung von gasförmigen Emissionen - installiert worden; es sind in Deutschland jeweils weniger als 5, evtl. bis zu 10, Anlagen der im Folgenden genannten Art in Gießereien installiert:

- Biofilter: Reinigung von vorwiegend Gießgasen in großen Eisen- oder Aluminiumgießereien,
- Nachverbrennung von Gießgasen bei Anwendung des Lost Foam-Verfahrens,
- Einbringen von geruchsmindernden Stoffen zur Geruchsminderung, vorwiegend bei Gießgasen: in Eisen- oder Aluminiumgießereien,
- Abscheiden von Schad- und Geruchsstoffen mit Adsorberstoffen: das Verfahren kann eine mögliche Alternative zu Biofilter.

## 12.4 Luftreinhaltung bei Formstoffaufbereitung und -regenerierung

### 12.4.1 Abluftfassung

Im Formstoffkreislauf wird an den Stellen, an denen aus trockenem, leicht staubenden Formstoff Staub freigesetzt werden kann, der Staub erfasst.

### 12.4.2 Abluftreinigung

Auf dem universellen und sehr verbreiteten Einsatz von Trockenfiltern – die vorliegenden Messwerte liegen zwischen < 0,1 bis 10 mg/m<sup>3</sup> – und dem teilweisen Einsatz von Nassabscheidern – Messwert bei etwa 13 mg/m<sup>3</sup> - bei tonhaltigen Stäuben wurde bereits hingewiesen (siehe oben).

## 12.5 Luftreinhaltung in der Gussbehandlung und Wärmebehandlung

### 12.5.1 Ablufterfassung

Da Strahlanlagen vollständig gekapselt sind, werden beim Strahlen entstehende Stäube sehr effizient erfasst und typischerweise mittels Trockenfilter abgeschieden – ein Standard in Gießereien; die Staubemissionen bei den ausgewerteten Messdaten liegen zwischen < 0,5 bis etwa 18 mg/m<sup>3</sup>.

In noch vergleichsweise geringer Anzahl werden Abtrenn- und Schleifarbeiten an Gussteilen in automatisierten, vollständig gekapselten Prozessen durchgeführt. Die Anzahl derartiger Systeme steigt ständig. Durch diese vollständig gekapselten Prozesse und Arbeitsplätze wird die Staubfreisetzung in der Gießereihalle – und damit die mögliche Freisetzung von Stäuben über diffuse Quellen, wie Hallenöffnungen - deutlich vermindert.

Vergleichsweise weiter verbreitet ist das Putzen mit handgeführten Geräten. Dadurch, dass sich Beschäftigte im Arbeitsbereich aufhalten, ist eine Kapselung und Erfassung von freigesetzten Stäuben nur teilweise effizient möglich.

In Zusammenhang mit diffusen Quellen bei Hallenöffnungen ist allerdings darauf hinzuweisen, dass in vielen Gießereihallen von den dortigen Absaugungen – an einzelnen Aggregaten oder an der Hallendecke - in der Gießerei-Halle ständig ein Unterdruck herrscht, so dass an Hallenöffnungen Luft in die Halle gesaugt wird und nicht die Halle verlässt.

### 12.5.2 Abluftreinigung

In Eisen- und Stahlgießereien werden zu über 90% Trockenfilter und lediglich zu 5% Nasswäscher eingesetzt.

In Nichteisenmetallgießereien sind etwa 60% Nasswäscher und 40% Trockenfilter in der Entstaubung; die Nassentstaubung vermindert hier Brandgefahr.

Die gereinigte Luft kann – bei Reinigung mit entsprechenden Filtermaterialien – in die Halle zurückgeführt werden – die anspruchsvollen Arbeitsschutzvorschriften bei der Luftrückführung sind zu beachten.

Die Staubkonzentrationen in den ausgewerteten Messberichten betragen zwischen 0,2 und 5,8 mg/m<sup>3</sup>.

Die Luftrückführung ist ein energieeffizientes lufttechnisches System. Sie findet in etwa 30% der Gießereien statt [Technikerhebung 2012; Müller 2012].

Bei der Wärmebehandlung von Stahlguss werden teilweise Abschreckmittel mit unerwünschten Emissionen eingesetzt. Ein neuartiges Abschreckmittel mit deutlich weniger Emissionen: siehe BVT-Kandidat.

## 12.6 Luftreinhaltung in Gießereien - Übersicht

Tabelle 7 zeigte eine Übersicht über die Verbreitung verschiedener lufttechnischer Anlagen in Gießereien.

Die Spalte „Verbreitung bei Anlagenbetreibern“ gibt an, wie groß der Anteile beispielsweise der Gießereien mit Kupolofen ist, die eine Trockenentstaubung installiert haben.

Tabelle 7 Verbreitung von Anlagen zur Luftreinhaltung in Gießereien

Gießerei-Fertigungsbereich	Gießereitechnische Anlage	Anlage zur Luftreinhaltung	Verbreitung bei Betreibern derartiger gießereitechnischer Anlagen
<b>Schmelzbetrieb</b>			
	Kupolofen	Abgaserfassung	100%
		Trockenentstaubung	80%
		Nassentstaubung	20%
		Adsorbereinsatz	< 5 Anlagen
	E-Ofen	Abgaserfassung, Trockenentstaubung (Fe)	100%
		Abgaserfassung, Trockenentstaubung (NE)	50%
	Brennstoffbeheizte Öfen	Abgaserfassung, Trockenentstaubung (NE)	50%
<b>Form- und Kernherstellung</b>			
	Nassguss	Absaugung	100%
		Trockenentstaubung	90%
		Nassentstaubung	10%
	Kaltharz-Verfahren	Abgaserfassung	60%
		Trockenentstaubung	100%
	Cold-Box-Verfahren	Amin-Wäscher	100%
<b>Gießen, Abkühlen, Ausleeren</b>			
	Nassguss	Ablufterfassung	100%
		Trockenentstaubung	90%
		Nassentstaubung	10%
	Kaltharz-Verfahren	Trockenentstaubung	100%
	Kokillen-, Druckgießen	Erfassungseinrichtung, Luftschieleier	80%
		Abluftreinigung, Trockenfilter, Elektrofilter u.a.	40%
	Verschiedene Gießverfahren	Spezielle Gießgasreinigungsverfahren:	
		Biofilter	< 5 Anlagen
		Nachverbrennung	< 5 Anlagen
		Geruchsmindernde Stoffe	5-10 Anlagen
		Adsorberstoffe	< 5 Anlagen
<b>Formstoffaufbereitung, -regenerierung</b>			
	Nassguss	Ablufterfassung	100%
		Trockenentstaubung	90%
		Nassentstaubung	10%

Gießerei-Fertigungsbereich	Gießereitechnische Anlage	Anlage zur Luftreinhaltung	Verbreitung bei Betreibern derartiger gießereitechnischer Anlagen
	Kaltharz-Verfahren	Ablufterfassung (Regenerierung)	100%
		Trockenentstaubung	100%
<b>Gussnachbehandlung, Wärmebehandlung</b>			
	Verschiedene Gießverfahren		
		Ablufterfassung	100%
		Trockenentstaubung (Fe)	90%
		Nassentstaubung (Fe)	10%
		Trockenentstaubung (NE)	40%
		Nassentstaubung (NE)	60%
		Luftrückführung	30%

## 13 Quellen

- BDGuss 2012. [www.bdguss.de](http://www.bdguss.de), Informationen und Datenbanken.
- CAEF, Com. 7. Jahresbericht des europäischen Gießerei-Verbandes CAEF, Düsseldorf 2012.
- Colditz 2012. Informationen von M. Colditz, Fa. DISA Industrieanlagen, Leipzig.
- DIOFUR 2010. Gute Praktiken-Leitfaden: MINIMIERUNG VON DIOXIN- UND FURAN-EMISSIONEN IN GIESSEREIEN, Düsseldorf, 2010.
- Dötsch 2012. Informationen von E. Dötsch, Fa. ABP, Dortmund.
- Eckenbach 2006. Informationen von Ch. Eckenbach, Fa. Marx, Iserlohn.
- Energieeffizienter Gießereibetrieb 2009. IfG gGmbH im Auftrag des BDG. Düsseldorf 2009.
- Foundry-BREF: European Commission: Integrated Pollution Prevention and Control, Reference Document on Best Available Techniques in the Smelters and Foundries Industry, May 2005.
- Gießereitechnik 1993/1994. GIESSEREI 1994, Nr. 11, S .324 ff.
- Iden 2012. Informationen von K. Iden, Fa. Hüttenes-Albertus, Düsseldorf.
- Handte 2012. Informationen von J. Handte, Fa. Handte, Tuttlingen.
- Leikom 2010. Ergebnisbericht über BMBF gefördertes Vorhaben „Nachhaltige und innovative Produktion von Leichtbau-Komponenten“. Düsseldorf 2010.
- Lemperle 2012. Informationen von M. Lemperle, Fa. Küttner, Essen 2012.
- Meyer, F.: Seaflow – Strom aus Meereströmungen, <http://www.iset.unikassel.de/oceanenergy/>, Universität Kassel (2004), in LeiKom 2010.
- Müller 2012. Informationen von B. Müller, Keller Lufttechnik, Kirchheim.
- Neumann, F.: Gußeisen. Expert-Verlag 1999.
- Schmitz 2012. Informationen von W. Schmitz, Fa. Otto Fuchs, Simmerath.
- Schumacher 2011. GIESSEREI 2011, Nr. 4, S. 68 ff.
- Schütte 2012. Informationen von D. Schütte, Fa. Lühr, Stadthagen.
- Technikerhebung 2012. Ergebnis aus Technikerhebung in Gießereien im Rahmen des Projektes UFOPLAN 2012.
- Wenk 2012. Vortrag von L. Wenk über Schmelzeinrichtungen in NE-Gießereien. Düsseldorf 2006.
- WIKIPEDIA/VDA.2012.
- WIKIPEDIA/VDMA.2012.