

**IREES WORKING PAPER**  
**No. 1/2020**

Felix Reitze | Oliver Lösch

# **Eisen- und Stahlproduktion in Deutschland**

Genutzte Technologien sowie Kurzanalyse der Förderprojekte aus dem Energieforschungsprogramm

IREES Working Paper No. 1/2020

# Eisen- und Stahlproduktion in Deutschland

Genutzte Technologien sowie Kurzanalyse der Förderprojekte aus dem Energieforschungsprogramm

Felix Reitze | Oliver Lösch

## Herausgeber

Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien GmbH

Schönfeldstraße 8

D - 76131 Karlsruhe

Telefon: +49 (0) 721 915 2636-36

Fax: +49 (0) 721 915 2636-11

E-Mail: [info@irees.de](mailto:info@irees.de)

Bitte beachten Sie, dass dieses Dokument aus Umweltschutzgründen auf den zweitseitigen Druck ausgelegt ist.

Grafiken und weitere Inhalte dieses Dokuments dürfen unter vollständiger Quellen-Angabe weiterverbreitet und zitiert werden.

## Inhaltsverzeichnis

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Kontext: Das Projekt Energieeffizienz für Industrie und Gewerbe (EE4InG): Innovationen erkennen und vernetzen, Empfehlungen ableiten! ..... | 4  |
| 2     | Überblick über die Stahlherstellung in Deutschland .....  | 4  |
| 2.1   | Überblick: Die Stahlproduktion in Deutschland .....   | 6  |
| 2.2   | Produktionsrouten der Stahlproduktion in Deutschland .....  | 7  |
| 2.2.1 | Hochofenroute (BF-BOF, engl. Blast Furnace – Basic Oxygen Furnace) .....  | 8  |
| 2.2.2 | Elektrostahlproduktionsroute (EAF-Verfahren).....   | 10 |
| 2.2.3 | Gasbasiertes Direktreduktionsverfahren .....  | 10 |
| 2.2.4 | Sekundärmetallurgie .....   | 11 |
| 2.2.5 | Urformen (Vergießen des Stahls) .....   | 13 |
| 3     | Methodik und Ziel der Analyse .....   | 16 |
| 4     | Überblick: Förderung von energiebezogenen Forschungsprojekten im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie durch die Bundesregierung.....       | 18 |
| 5     | Fazit .....   | 26 |
|       | Literaturverzeichnis .....  | 27 |

## 1 Kontext: Das Projekt Energieeffizienz für Industrie und Gewerbe (EE4InG): Innovationen erkennen und vernetzen, Empfehlungen ableiten!

Zur Erreichung der Energiewendeziele der Bundesregierung ist eine wesentliche Steigerung der Energieeffizienz im Industriesektor erforderlich.

Das Forschungsnetzwerk „Energie – Industrie und Gewerbe“ dient dem Austausch zu Energieeffizienz und -flexibilität zwischen dem Bundesministerium für Wirtschaft und Energie auf der einen Seite und Industrie und Gewerbe auf der anderen.

Zur Koordinierung und zur wissenschaftlichen Begleitung des Forschungsnetzwerks Energie – Industrie und Gewerbe sowie zur Entwicklung von Handlungsempfehlungen für die zukünftige Forschungsförderpolitik des BMWi wurde das Projekt EE4InG – Energieeffizienz für Industrie und Gewerbe initiiert. Es sollen entscheidende Innovationen energieeffizienter Lösungen sowohl auf Ebene der Forschungsfelder des Forschungsnetzwerks als auch branchenübergreifend erkannt und die relevanten Akteure des Innovationssystems vernetzt werden. Dabei stehen die Branchen Chemische Verfahrenstechnik, Fertigungstechnik sowie Eisen- und Stahlherstellung aufgrund ihrer besonderen Bedeutung für den Energieverbrauch der deutschen Industrie im Fokus.

Eine relationale Analyse verschiedener Technologieoptionen innerhalb der verschiedenen Industriebranchen soll es ermöglichen, konkrete Empfehlungen für die Weiterentwicklung der Forschungsförderpolitik zu entwickeln<sup>1</sup>.

## 2 Überblick über die Stahlherstellung in Deutschland

Die Herstellung von Roheisen und Rohstahl sowie deren erste Bearbeitung sind Grundpfeiler der deutschen Volkswirtschaft (Abele et al. 2019). Es wurde im Jahr 2018 noch an 20 Standorten in Deutschland Rohstahl hergestellt (vgl. Abbildung 1). Dies geschah entweder in integrierten Hüttenwerken oder in einem Elektrostahlwerk.

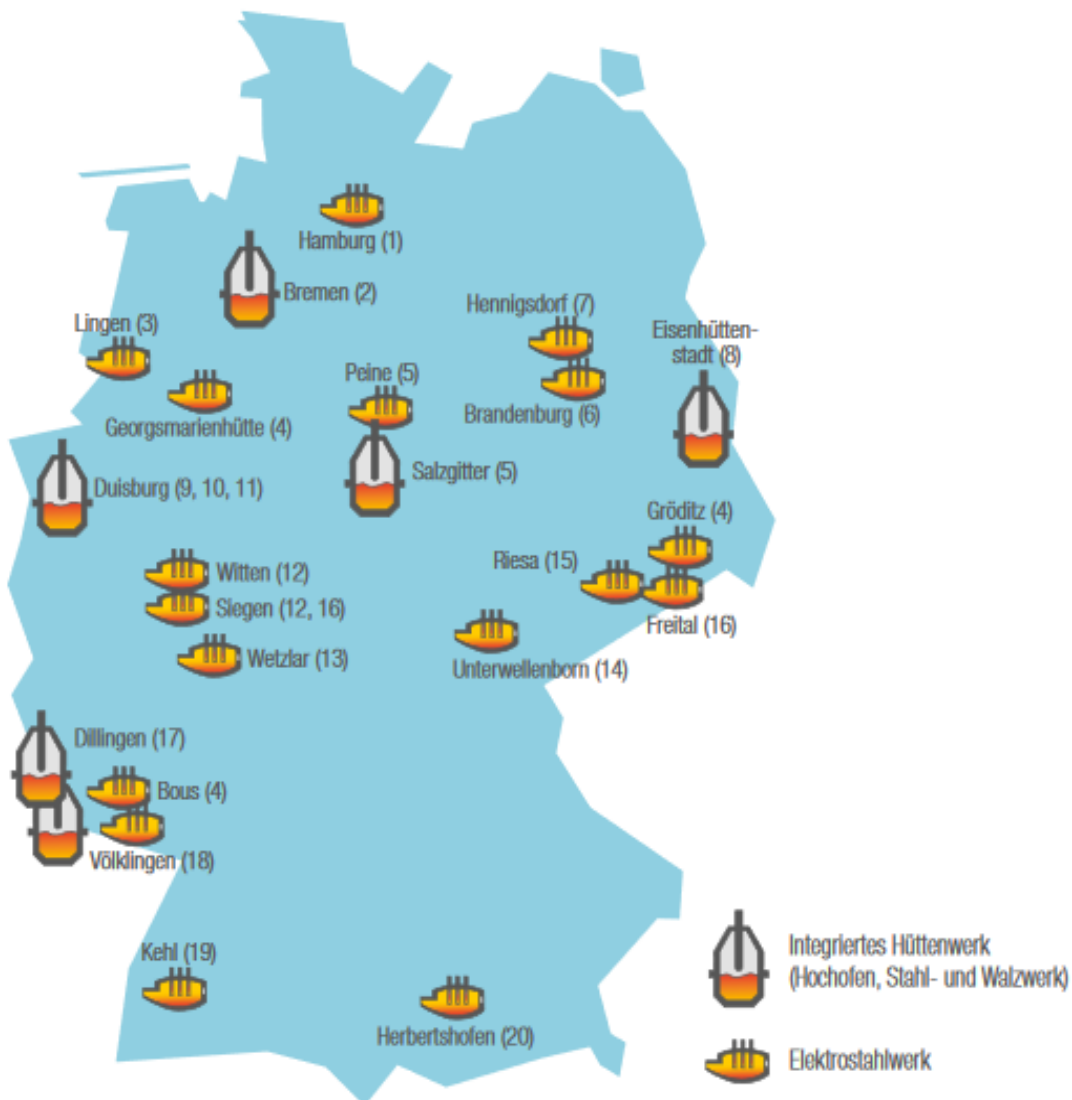
Insgesamt wurden im Jahr 2018 42,4 Millionen Tonnen Rohstahl in Deutschland produziert. Gegenüber dem Vorjahr 2017 (43,3 Mio. Tonnen Rohstahl) sank die Rohstahlproduktion somit nur unerheblich um 2 %. (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2019a,b)

Mit dieser Rohstahlproduktion ist die deutsche Stahlindustrie Spitzenreiter in Europa, während sie in der Welt auf Platz 7 der größten Rohstahlproduzenten liegt. Gleichzeitig erzielte die Stahlindustrie in Deutschland durch den Verkauf entsprechender Stahlprodukte im Jahr 2018 Umsatzerlöse von gut 44 Mrd. Euro. (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2019b)

Im Vergleich dazu findet circa 50 % der globalen Rohstahlproduktion heute in China statt, mit einem beachtlichen Aufwuchs seit Beginn des 21. Jahrhunderts (Lösch 2019).

---

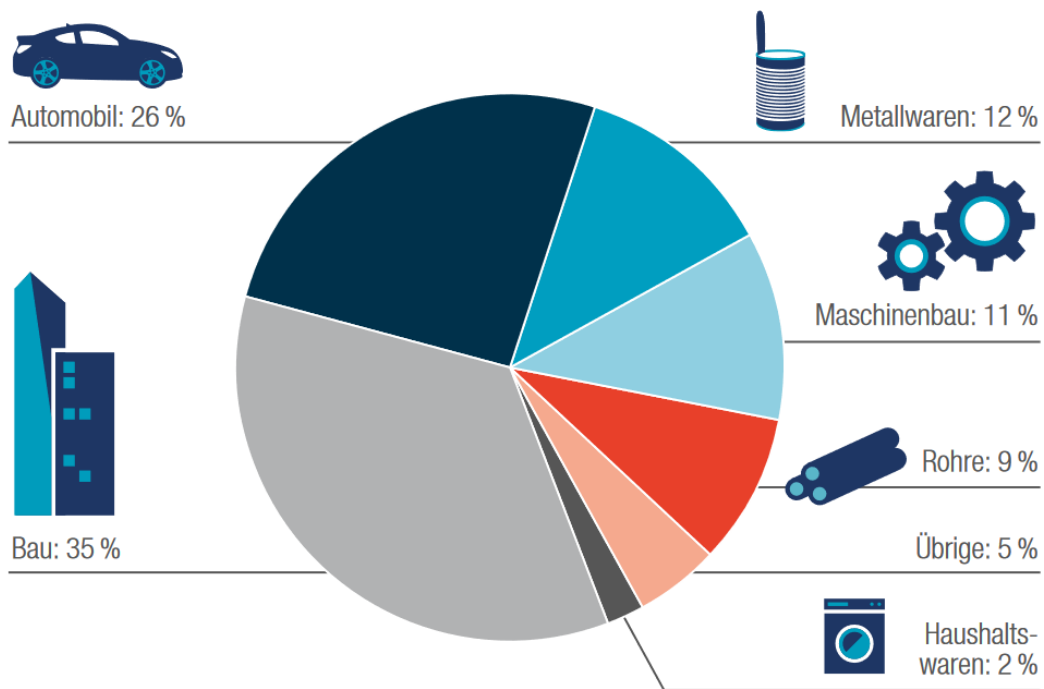
<sup>1</sup> Weitere Informationen zum Projekt unter [www.EE4InG.de](http://www.EE4InG.de) oder [http://www.irees.de/irees-de/inhalte/projekte/laufend/alle-GF/2018-12\\_EE4InG.php](http://www.irees.de/irees-de/inhalte/projekte/laufend/alle-GF/2018-12_EE4InG.php)



- |                                    |                                    |                                  |
|------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| (1) ArcelorMittal Hamburg          | (8) ArcelorMittal Eisenhüttenstadt | (15) ESF Elbe-Stahlwerke Feralpi |
| (2) ArcelorMittal Bremen           | (9) thyssenkrupp Steel Europe      | (16) BGH Edelstahl               |
| (3) Benteler                       | (10) HKM                           | (17) Dillinger Hüttenwerke       |
| (4) Georgsmarienhütte              | (11) ArcelorMittal Ruhrort         | (18) Saarstahl                   |
| (5) Salzgitter                     | (12) Deutsche Edelstahlwerke       | (19) Badische Stahlwerke         |
| (6) Brandenburger Elektrostahlwerk | (13) Buderus Edelstahl             | (20) Lech-Stahlwerke             |
| (7) Hennigsdorfer Elektrostahlwerk | (14) Stahlwerk Thüringen           |                                  |

Abbildung 1 Standorte der Stahlerzeugung in Deutschland im Jahr 2018  
 Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl (2019b)

Stahl ist für den Aufbau von Infrastrukturen, insbesondere im Gebäude- und Mobilitätsbereich, derzeit unverzichtbar (vgl. Abbildung 2). Darüber hinaus stellt die Stahlindustrie einen zentralen Lieferanten für eine der bedeutendsten Branchen der deutschen Wirtschaft, die Kfz-Industrie, dar (vgl. Abbildung 2).



Stand: 2017

Abbildung 2 Prozentualer Anteil am Stahlbedarf in Deutschland im Jahr 2017

Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl (2019b)

## 2.1 Überblick: Die Stahlproduktion in Deutschland

Das Niveau der Rohstahlproduktion in Deutschland liegt seit 2010 relativ stabil zwischen 42 und 44 Mio. Tonnen, erreichte aber nach dem Krisenjahr 2009 nicht mehr ganz die höheren Produktionswerte der Vorjahre (45-46 Mio. Tonnen Rohstahl) (vgl. Abbildung 3). Der Stahlausenhandelsaldo von Deutschland ist derzeit nahezu ausgeglichen, wobei die Importe in den letzten Jahren deutlich angestiegen sind. 80 % der deutschen Stahlexporte erfolgen in die Europäische Union (Wirtschaftsvereinigung Stahl 2019b).

Eine solche Stahlproduktion ist sehr energie- und emissionsintensiv. Der spezifische Primärenergiebedarf der Rohstahlerzeugung tendiert gegen 17 GJ pro Tonne erzeugtem Rohstahl (VDEh 2015). Ein hoher Anteil der zur Stahlproduktion eingesetzten Energie wird bei der Produktion von Stahl auch in Form von Abwärme ungenutzt an die Umgebung abgegeben, da die Abwärme heutzutage nur zu gewissen Teilen zur Energieeffizienzsteigerung des Fertigungsprozesses genutzt wird. Die Abwärme fällt in der Eisen- und Stahlindustrie einerseits als sensible Wärme in Form von Abgasen, Kühlwässern sowie Produkten und andererseits auch als latente Wärme der unvollständig gekühlten Haupt- und Nebenprodukte an (Lüngen et al. 2018).

Gleichzeitig hat die deutsche Stahlindustrie in den vergangenen Jahrzehnten enorme Rationalisierungserfolge bei der Produktion von Eisen und Stahl erzielt. Im Jahr 1980 umfasste die Eisen- und Stahlindustrie insgesamt 288.000 Beschäftigte, während die Beschäftigtenzahl im Jahr 2018 nur noch 84.000 lag (-71 % gegenüber 1980). Im Gegensatz dazu lag die Produktion von Rohstahl in den beiden Jahren 1980 (43,8 Mio. Tonnen Rohstahl) und 2018 (42,4 Mio. Tonnen Rohstahl) auf einem relativ ähnlichen Niveau. (Lösch et al. 2017; Wirtschaftsvereinigung Stahl 2019b)

Im Jahr 2020 wird die Eisen- und Stahlindustrie in Deutschland zudem durch die Dominanz der chinesischen Stahlproduktion auf dem Weltmarkt und die weltweiten Überproduktionen im Stahlbereich tangiert. Zudem ist die Stahlindustrie u.a. durch hohe Kosten für die jeweiligen Produktionsverfahren bzw. notwendige Produkte und Einsatzstoffe betroffen. Die Profitabilität der Stahlindustrie hängt dabei wesentlich von der Differenz zwischen den Erlösen für das entsprechende Produkt und den Kosten für die Erzeugung dieses Produkts ab. Gleichzeitig ist auch die Nachfragegenerierung durch die Wertschöpfungsketten der Stahlerzeugung zentral für die wirtschaftliche Entwicklung der Stahlindustrie, und somit auch für die Innovationsneigung, der Eisen- und Stahlindustrie. (Lösch 2019)

## 2.2 Produktionsrouten der Stahlproduktion in Deutschland

Stahl wird heutzutage in Deutschland im Wesentlichen auf zwei verschiedenen Produktionsrouten erzeugt:

- der Hochofen-Konverter-Route (Primärroute) und
- der Elektroofenroute (Sekundärroute).

Rund 30 Mio. Tonnen Rohstahl (~ 70 % des gesamten Rohstahls) wurden in Deutschland im Jahr 2018 über die Hochofen-Konverter-Route (Primärroute) in integrierten Hüttenwerken<sup>2</sup> als Oxygenstahl und knapp 13 Mio. Tonnen Rohstahl (30 %) über die Elektrolichtbogenofenroute erzeugt (vgl. Abbildung 4). Die Elektro Stahlproduktion (Sekundärroute) hat sich somit gegenüber 1990 verdoppelt (vgl. Abbildung 3). Bei knapp 94 % der Stahlproduktion handelt es sich um Walzstahl (vgl. Abbildung 3).

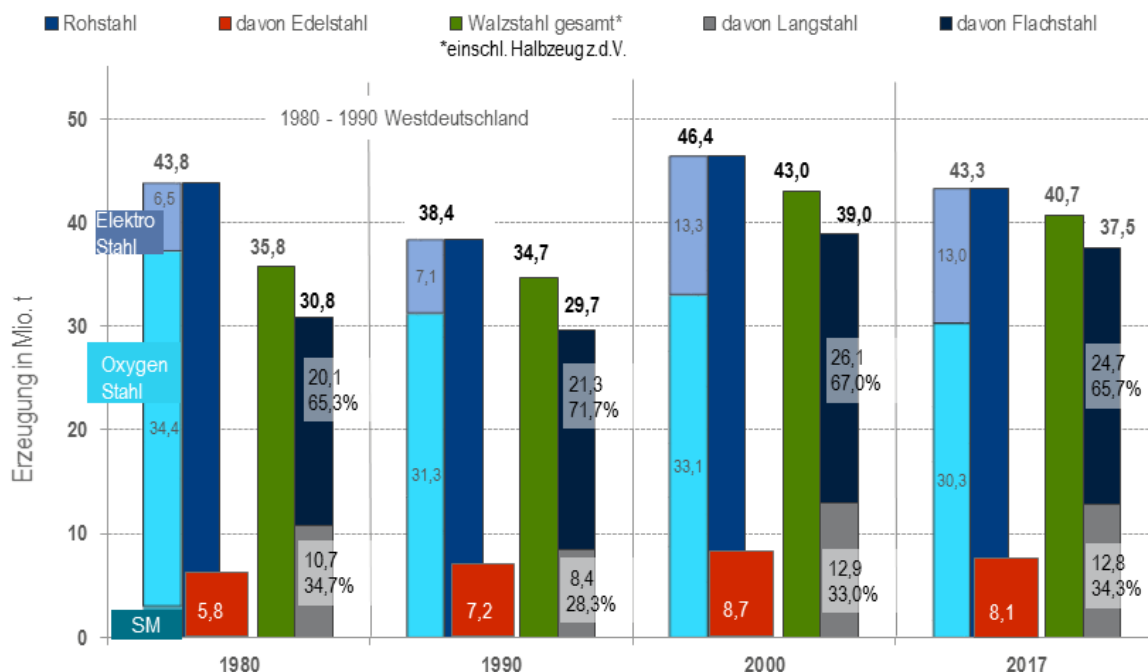


Abbildung 3 Entwicklung der Produktionsmengen der Stahlerzeugung in Deutschland

Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl (2019a)

<sup>2</sup> Hochofen, Stahl- und Walzwerke.

Die beiden unterschiedlichen Produktionsrouten werden in den beiden nachfolgenden Kapiteln 2.2.1 & 2.2.2 näher erläutert. Die Struktur des Energieverbrauchs unterscheidet sich in Abhängigkeit von der Produktionsroute erheblich. Bei der integrierten Hochofenroute dominiert Steinkohle als Ausgangsstoff für Koks, sowie geringere Mengen anderer Kohlen und fester und flüssiger fossiler Energieträger. Gleichzeitig werden in den integrierten Hüttenwerken die bei der Kokerei, am Hochofen und am Konverter entstehenden Prozessgase weitestgehend zur Eigenstromversorgung genutzt, weshalb der Fremdstrombezug gering ausfällt. (Lösch 2019)

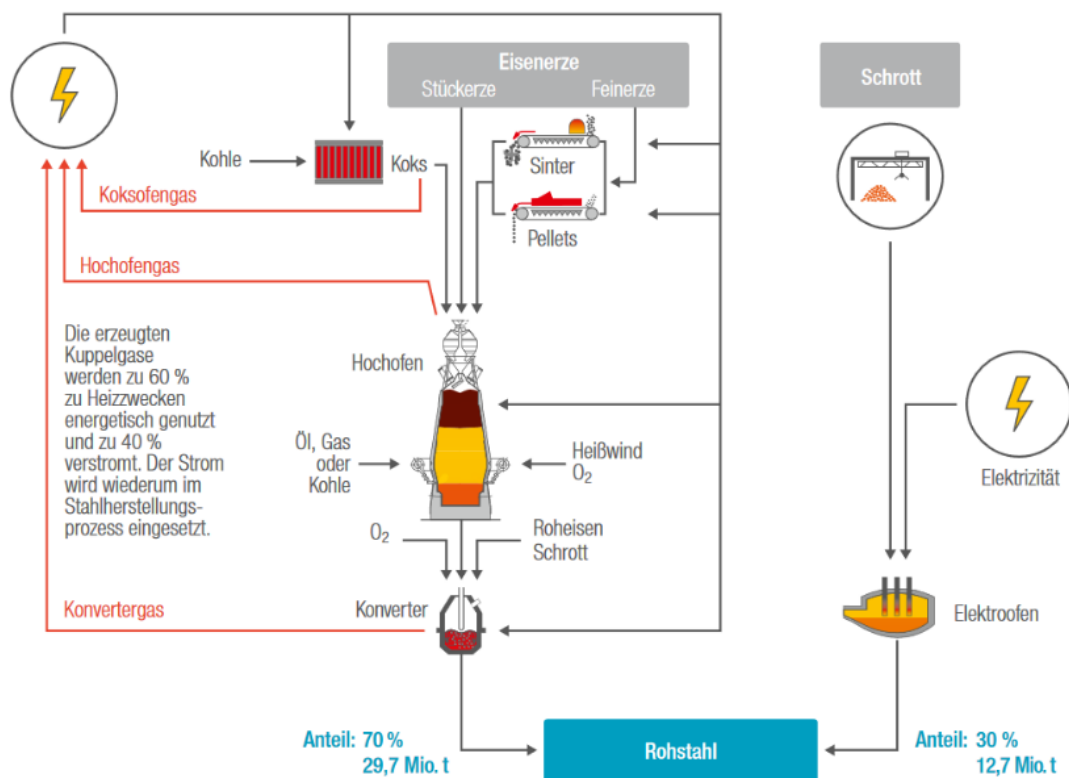


Abbildung 4 Erzeugungsrouten der Stahlherstellung in Deutschland im Jahr 2018

Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl (2019b)

### 2.2.1 Hochofenroute (BF-BOF, engl. Blast Furnace – Basic Oxygen Furnace)

Im Fall der Hochofenroute erfolgt eine Reduktion von Eisenerz mittels Kohlenstoffträgern (vorwiegend Koks sowie bis zu einer technischen Obergrenze auch Kohle bzw. Öl sowie kohlenstoffhaltige Abfälle) im Hochofen.

Im Lauf des Hochofenprozesses sammeln sich Roheisen und Schlacke im unteren Bereich des Hochofens und können über ein zu öffnendes Stichloch im unteren Bereich mit einer Temperatur von rund 1.500 Grad Celsius abgelassen werden. Über ein feuerfest ausgekleidetes Rinnensystem werden Roheisen und Schlacke getrennt und sogenannten Roheisentorpedopfannen bzw. Schlackepfannen zugeführt. Überwiegende Verwendung findet die Schlacke als Baustoff in der Zementindustrie oder dem Straßenbau. (VDEh 2020a)



Das flüssige Roheisen wird im anschließenden Prozessschritt des Frischens<sup>3</sup> im Konverter zu Rohstahl weiterverarbeitet. Roheisen enthält etwa 5 % Kohlenstoff und Stahl hingegen nur weniger als 2 % (Fleiter et al. 2013). Dabei werden sowohl der unerwünschte Kohlenstoffgehalt des Roheisens als auch weitere unerwünschte Begleitelemente, vor allem Phosphor, Silicium und Schwefel, durch Aufblasen von Sauerstoff oxidiert (daher die Bezeichnung „Oxygenstahl“). Anschließend schwimmen die verbliebenen Verunreinigungen als Schlacke auf dem Metallbad auf. Zur Kühlung dieses exothermen Prozesses werden größere Mengen Stahlschrott (10-30 % der Gesamtcharge) beigegeben. (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.; Lösch et al. 2017; Lösch et al. 2018).

Bei den heutigen Convertern handelt es sich um kippbare mit feuerfestem Futter ausgekleidete Stahlgefäße, welche je nach Schmelze ein Fassungsvermögen von 50 bis 400 Tonnen aufweisen (VDEh 2015).

Vorgelagerte Prozesse der Rohstahlproduktion betreffen die Eisenerzaufbereitung in Sinter- oder Pelletieranlagen sowie die Koksherstellung in der Kokerei. An die Herstellung des Rohstahls schließt sich die sekundärmetallurgische Nachbehandlung an, welche aufgrund der hohen Qualitätsanforderungen an die Eigenschaften der erschmolzenen Stähle erforderlich ist (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.). Es folgt das Vergießen des flüssigen Rohstahls und für die überwiegende Menge des Rohstahls (derzeit ~94 %) auch die Weiterverarbeitung im Walzwerk. (Lösch et al. 2017; Lösch et al. 2018)

Die Hochofenroute ist seit Jahrzehnten Stand der Technik in der Produktion. Weltweit erfolgen ca. 65 % der gesamten Rohstahlerzeugung über die Hochofenroute (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.). Endenergieeffizienzpotenziale sind weitgehend ausgereizt, allerdings gibt es vermutlich noch erhebliche Potenziale auf Seiten der Nutzenergie durch Abwärmenutzung. Im Bereich der Roheisenproduktion in Deutschland ist zudem zu beachten, dass die bestehenden Produktionsanlagen (z. B. Hochöfen) in Europa in der Regel abgeschrieben sind und sich die Investitionsneigung in der Branche nur äußerst gering darstellt. (Lösch 2019)

Bei der integrierten Hochofenroute dominiert die Steinkohle als Ausgangsstoff für Koks, sowie geringere Mengen anderer Kohlen und fester und flüssiger fossiler Energieträger. In den integrierten Hüttenwerken werden die bei der Kokerei, am Hochofen und am Konverter entstehenden Prozessgase weitestgehend zur Eigenstromversorgung genutzt, weshalb der Fremdstrombezug gering ausfällt. (Lösch 2019)

Der Hochofen selbst ist ein kontinuierlich arbeitender Schachtofen. Nach der Inbetriebnahme eines Hochofens (sogenanntes Anblasen) bleibt dieser etwa 15 bis 20 Jahre in Betrieb. Der eigentliche Ofen ist etwa 35 Meter hoch und erreicht inklusive der Begichtungsanlage und den Begichtungsleitungen eine Gesamthöhe von rund 100 Metern und mehr. Die Abmessungen des Hochofens sind von dem geplanten Durchsatz abhängig. (VDEh 2015)

Eine vollständige Hochofenanlage (Hochofenwerk) besteht u.a. aus (VDEh 2015):

- Hochofen,
- Gasreinigung (Wirbler, Wäscher),

---

<sup>3</sup> Vorgang des Aufblasens von Sauerstoff über eine wassergekühlte Lanze bei Temperaturen zwischen 2.500 und 3.000 Grad Celsius. Der eigentliche Blasprozess dauert für 300 t Material etwa 20 Minuten und verläuft unter starker Wärmeentwicklung. (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.)

In Deutschland erfolgt die Sauerstoffzuführung im Konverter einzig über das Sauerstoffaufblasverfahren (LD-Verfahren) (Lüngen et al. 2018).

- Gießhalle,
- Bunker und Begichtungseinrichtungen,
- Winderhitzer und Windzuführung sowie
- Gichtgasabzug und -entstaubung sowie Transporteinrichtungen.

### 2.2.2 Elektrostahlproduktionsroute (EAF-Verfahren)

Beim Elektrostahlverfahren wird die notwendige Wärme für den Einschmelzvorgang durch elektrischen Strom erzeugt (VDEh 2015).

Der Einsatz von Stahlschrott zur Herstellung von Rohstahl stellt eines der ältesten Recyclingverfahren dar (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.). Durch Einschmelzen von Eisenschrott in Elektrolichtbogenöfen wird Elektrostahl erzeugt. Weit mehr als 90% des Elektrostahls werden im Elektrolichtbogenofen erzeugt (VDEh 2015). Bei dieser Sekundärroute dominiert generell der Strombedarf des Elektrolichtbogenofens. Die elektrische Energie wird durch den Lichtbogen in Schmelzwärme überführt, wobei im Lichtbogen zwischen den Elektroden Temperaturen von bis zu 3.500 Grad Celsius und in der Stahlschmelze von bis zu 1.800 Grad Celsius entstehen (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.). Da bei diesem Verfahren auf die energieintensive Eisenerzreduktion verzichtet werden kann, ist der spezifische Energieverbrauch der Elektrostahlerzeugung im Vergleich zur Primärstahlerzeugung über die Hochofen-/Konverterroute erheblich niedriger. (Lösch 2019)

Der Energiebedarf je Tonne Elektrostahl hängt stark von der zu erzeugenden Stahlqualität ab; der Stromverbrauch liegt bei ca. 500 bis 600 kWh je Tonne erzeugtem Elektrostahl (Fleiter et al. 2013).

Das Fassungsvermögen moderner Elektrolichtbogenöfen beträgt bis zu 250 Tonnen Stahl; für einen Schmelzvorgang wird weniger als eine Stunde benötigt. Der Anteil des Elektrostahlverfahrens an der weltweiten Rohstahlproduktion beträgt rund 31 %. (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.)

Die Elektrostahlroute produziert derzeit nahezu ausschließlich Stähle geringerer Qualität (Baustahl) aufgrund der mangelnden getrennten Erfassung und Sortierung von Schrotten. Prinzipiell kann über die Elektrolichtbogenofenroute abhängig von der Qualität des metallischen Einsatzes jedoch Stahl jeglicher Güte hergestellt werden (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.). Stahlschrott wird sowohl in der Primärstahlerzeugung (Frischen des Roheisens im Konverter) als auch in der Sekundärstahlerzeugung genutzt. Bei letzterer ist Stahlschrott, neben wenigen Zusätzen wie der sogenannten Aufschäumkohle, mit Abstand der wesentlichste Einsatzstoff. (Lösch 2019)

Die wesentlichen Bauelemente eines Elektrolichtbogenofens sind (VDEh 2015):

- ein Ofengefäß mit Abstickerker und Abstichöffnung (Schlackentür),
- ein abhebbarer Deckel,
- wassergekühlte Wandelemente,
- Elektroden mit Elektrodentragarmen und weitere stromzuführende Elemente sowie
- eine Kippvorrichtung.

### 2.2.3 Gasbasiertes Direktreduktionsverfahren

Neben der Hochofenproduktionsroute und der Elektroofenproduktionsroute wird in Deutschland an einem Standort in Hamburg das Direktreduktionsverfahren mit Erdgas als Reduktionsmittel eingesetzt. Bei der Direktreduktion wird das Rohmaterial Eisenerz, das in Form von Pellets genutzt wird,

im festen Aggregatzustand, d.h. ohne die Notwendigkeit eines Schmelzvorgangs wie bei der (BCG & VDEh 2013) mittels eines gasförmigen Reduktionsmittels zu Eisen reduziert. Das Direktreduktionsverfahren arbeitet daher im Vergleich zum Hochofen bei niedrigeren Temperaturen (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.; Lösch et al. 2018).

Der so gewonnene Eisenschwamm (DRI, engl. Direct Reduced Iron; HBI, engl. Hot Briquetted Iron) wird anschließend in einem Elektrolichtbogenofen (EAF, engl. Electric Arc Furnace), oftmals gemeinsam mit Stahlschrott, zu Rohstahl weiterverarbeitet. Der Direktreduktionsprozess mit Schachtöfen ist nicht neu, sondern bereits seit den 1970er Jahren im industriellen Einsatz (BCG & VDEh 2013), wobei bislang nahezu ausschließlich Erdgas als Rohstoff für das Reduktionsgas eingesetzt wurde. Das Erdgas wird entweder direkt im Prozess oder durch einen separaten Erdgasreformer zu einem Reduktionsgas umgewandelt, das aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff besteht. Weltweit betrachtet, erfolgt die Direktreduktionsgaserzeugung bei 85 % der Direktreduktionsverfahren durch Umwandlung von Erdgas in Wasserstoff und Kohlenmonoxid und zu 15 % durch Einsatz von Kohle als Reduktionsmittel (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.). In der einzigen Direktreduktionsanlage Westeuropas<sup>4</sup>, betrieben von der ArcelorMittal Hamburg GmbH, besteht das Reduktionsgas zu 60 % aus H<sub>2</sub> (Hölling et al. 2017). Bei diesem Verfahren handelt es sich heute somit, in Deutschland und weltweit betrachtet, eher um eine Ausnahme. Eine Änderung dieser Situation ist in näherer Zukunft nicht zu erwarten (Lösch et al. 2018), wenngleich sich die Produktionsmengen in den letzten Jahren auf relativ niedrigem Niveau deutlich erhöht haben.

Die Nutzung von Wasserstoff zur Reduktion von Eisenerz stellt technologisch kein grundsätzliches Problem dar (Lösch et al. 2018).

#### 2.2.4 Sekundärmetallurgie

Nach der Herstellung des Rohstahls schließt sich die sekundärmetallurgische Weiterverarbeitung, das Vergießen und für die überwiegende Menge die Weiterverarbeitung zu Walzstahlprodukten (wie z.B. Flachband für die Automobilbranche oder lange Produkte für den Bausektor) im Walzwerk des integrierten Hüttenwerkes an. Die weiteren Behandlungsschritte sind notwendig, um gezielte Festigkeits- und Materialeigenschaften bzw. Stahlqualitäten zu erzielen, d. h. die Schmelze wird durch entsprechende metallurgische Maßnahmen verbessert (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.). An die Sekundärmetallurgie schließt sich der Urformprozess des Vergießens des Stahls an (vgl. Kapitel 2.2.5).

Die Sekundärmetallurgie dient hauptsächlich der Homogenisierung der Schmelzen, dem Einstellen von Temperaturgrenzen sowie der Einstellung von exakten Gehalten mit einer Genauigkeit von Tausendstel Prozentwerten an Kohlenstoff, Stickstoff, Wasserstoff, Phosphor sowie von Legierungselementen im Stahl (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.). Letztendlich werden im Rahmen der Sekundärmetallurgie die gewünschten Eigenschaften der hergestellten Produkte eingestellt bzw. festgelegt.

Typische Aufgaben der Sekundärmetallurgie sind (VDEh 2015):

- Einstellen der geforderten Legierung,
- Homogenisierung der Temperatur und der chemischen Zusammensetzung der Stahlschmelze,
- Einstellen der Gießtemperatur,

---

<sup>4</sup> In Gubkin im europäischen Teil Russlands betreibt Metalloinvest Direktreduktionsanlagen

- Tiefentkohlung,
- Entschwefelung,
- Entphosphorung,
- Entfernung von Spurenelementen,
- Entgasung,
- Desoxidation,
- kugelige Einformung der Einschlüsse,
- Verbesserung des Reinheitsgrades sowie
- Beeinflussung des Erstarrungsgefüges.

D.h. alle Prozesse für die Behandlung von flüssigem Stahl in der Pfanne, in der Vakuumanlage sowie im Pfannenofen werden von der Sekundärmetallurgie umfasst. In bestimmten Fällen zählen auch Prozesse im Oxygenkonverter, im Elektrolichtbogenofen, im Stranggießverteiler oder in der Kokille zur Sekundärmetallurgie dazu. (VDEh 2015)

Zur Behandlung bzw. dem Feintuning des Flüssigstahls werden sogenannte Pfannenöfen eingesetzt.

### ***Pfannenöfen (engl. Ladle Furnace)***

Pfannenöfen dienen innerhalb der Stahlindustrie zum Aufheizen bzw. Warmhalten des flüssigen Stahls. Die Pfannenöfen ermöglichen das Aufheizen auf eine ausreichend hohe Temperatur, damit eine weitere Entphosphorung möglich ist (VDEh 2015).

Mit Hilfe der Pfannenöfen wird dabei mittels eines Lichtbogens die optimale Gießtemperatur auf  $\pm 3$  Grad Celsius für den sich anschließenden Gießprozess eingestellt. Pfannenöfen können jedoch auch zur Vorbereitung der Schmelze für den Strang- bzw. Blockguss eingesetzt werden. Je nach Pfannengröße und Aufheizrate etc. sind hierfür elektrische Leistungen bis zu einigen Megawatt erforderlich.

Ein Pfannenofen besteht im Wesentlichen aus (Wikipedia 2020a):

- Elektroden,
- Transformator,
- Wassergekühltem Pfannendeckel,
- Temperaturmess- und Probenahmeeeinrichtungen,
- Möglichkeiten der Legierungszugabe über Vibrionen bzw. Förderbänder sowie einer
- Aluminiemeinspulmaschine<sup>5</sup>.

---

<sup>5</sup> Desoxidieren über Einspulen von Aluminiumdraht. Dies ist erforderlich, damit der Restsauerstoff in der Schmelze gebunden wird und sich nicht mit anderen Legierungen verbindet. Darüber können auch Fülldrähte eingespult werden. (Chemie.de 2020)

### **2.2.5 Urformen (Vergießen des Stahls)**

Der flüssige Rohstahl muss im Anschluss an die Sekundärmetallurgie durch das Vergießen im Blockguss oder Stranggussverfahren zu bestimmten Formen (Blöcken bzw. Brammen) und Abmessungen verfestigt werden; wobei der Rohstahl dann jedoch noch keine für den Stahlverwender nutzbare Form besitzt (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.). Dieser Prozess erfolgt im Rahmen des Umformens (vgl. Abbildung 5).

Die beiden eingesetzten Gussverfahren werden nachfolgend knapp erläutert.

#### ***Stranggussverfahren***

Das kontinuierliche Stranggussverfahren hat das Blockgussverfahren zu großen Teilen abgelöst (vgl. Abbildung 5). Rohstahl, welcher zur Umformung durch Walzen bestimmt ist, wird in der Regel im Stranggussverfahren vergossen. In Deutschland beträgt der Anteil ca. 96 %. (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.)

Bei diesem Verfahren wird der flüssige Rohstahl direkt aus der Gießpfanne unter Luftabschluss kontinuierlich über einen Verteilerbehälter in eine gekühlte, nach unten offene Kupferkokille gegossen. Anschließend wird der an seinem Rande erstarrte rotglühende Strang aus der Kokille gezogen und von der vertikalen in die horizontale Lage überführt. Unterdessen erfolgt ständig eine Kühlung des heißen Stranges mit Wasser. Nach der vollständigen Erstarrung erfolgt die Zerteilung des Stahlstranges mit Hilfe von Schneidbrennern oder Scheren auf die gewünschte Länge. Der Querschnitt des Stranges bzw. der Einzelstücke (Brammen, Knüppel, Vorblöcke) wird dabei durch die entsprechende Form der Kokille bestimmt. (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.)

Durch das Gießen von Dünnbrammen mit einer Dicke von 50-90 Millimetern wird der Produktionsprozess von 0,8-3,0 Meter pro Minute auf 6 Meter pro Minute erheblich beschleunigt (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.).

#### ***Blockgussverfahren***

Hierunter wird das portionsweise Vergießen des flüssigen Rohstahls in Kokillen verstanden (vgl. Abbildung 5). Der Stahl erstarrt anschließend in den entsprechenden Kokillen. Gängige Formate der Kokillen sind Rund- oder Vierkantblöcke bzw. Polygonalblöcke mit einem Gewicht zwischen 50 und 600 Tonnen. Verarbeitet werden im Blockguss z. B. Spezialstähle mit kleinen Mengen, Brammenblöcke für dicke Bleche, Wälzlagerstähle oder Werkzeugstähle etc. (VDEh 2020a).

Das Blockgussverfahren ist heute insbesondere beim Vergießen großer Stückgewichte für die Weiterverarbeitung durch Schmieden oder bei der Herstellung hochreiner Stähle und Sonderlegierungen in sogenannten Umschmelzverfahren von Bedeutung. (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.)

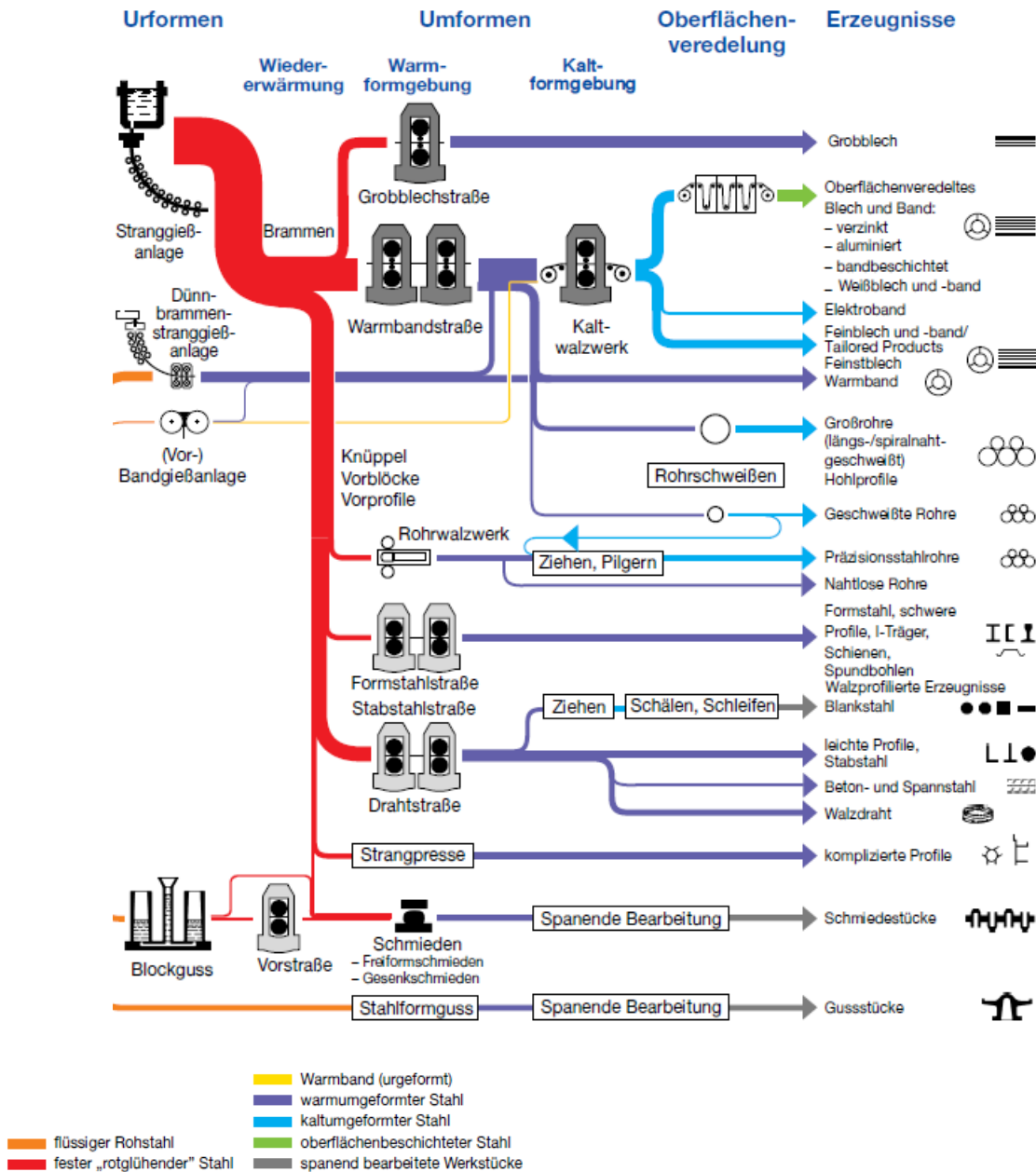


Abbildung 5 Der Weg der Weiterverarbeitung von Rohstahl zu gehandelten Erzeugnissen

Quelle: Wirtschaftsvereinigung Stahl (o.J.)

**Warmwalzen bzw. Kaltwalzen**

Das Umformen des verfestigten Rohstahls erfolgt in Walzwerken bzw. in Schmieden (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.; vgl. Abbildung 5). In den Walzwerken sind alle Betriebsanlagen zusammengefasst, welche zur Herstellung von Walzerzeugnissen erforderlich sind (Lüngen et al. 2018).

Die Endprodukte der Stahlindustrie sind u.a. warm- und kaltgewalztes Band, Grobblech, Stabstahl, Blankstahl, Freiformschmiedestücke oder gewalzte Scheiben und Ringe, welche durch Umformen aus dem Vormaterial hergestellt werden. Das Walzen erfolgt in auf die jeweiligen Produktgruppen spezialisierten Walzstraßen (z.B. Stabstahlstraßen, Drahtstraßen, Profil- und Schienenwalzwerke etc.). (VDEh 2020b).

In der Regel erfolgt nach dem Strangguss des Rohstahls eine Abkühlung der Brammen durch eine Zwischenlagerung, bei welcher ein Teil der sensiblen Wärme an die Umgebung verloren geht (Lüngen et al. 2018); anschließend erfolgt eine Wiedererwärmung der Brammen bzw. Blöcke über die Rekristallisationstemperatur von 1.250 Grad Celsius für das Warmwalzen. Die Wiedererwärmung der Brammen bzw. Blöcke auf die erforderliche Walztemperatur geschieht in den sogenannten Wärmöfen, welche auch Wiedererwärmungsöfen genannt werden. Ausgelegt sind die Wärmöfen konstruktiv als Hubbalken- oder seltener als Stoßofen (Lüngen et al. 2018). Die Wärmöfen sind dabei in verschiedene Zonen (Wärmzonen, Ausgleichszonen etc.) untergliedert, welche von den Brammen nacheinander durchlaufen werden. Unmittelbar nach dem Verlassen der Wärmöfen werden die noch rotglühenden Brammen im sogenannten Zunderwäscher entzündert, d.h. sie werden von der im glühenden Zustand entstandenen Eisenoxidschicht befreit (VDEh 2020a).

Da die Brammen nach dem Stranggussprozess zumeist im Vormateriallager erkalten und anschließend vor dem Warmwalzprozess in einer Reihe von hintereinander geschalteten Wärmöfen wieder auf die für das Walzen notwendige Temperatur von etwa 1.250 Grad Celsius erwärmt werden (VDEh 2020b), geht der gesamte Prozess mit erheblichen Ineffizienzen des Energieeinsatzes einher. Diese Energieverluste könnten durch das Verfahren des *Dünnbandgießens* vermutlich weitgehend vermieden werden. (Lösch 2019).

Beim Walzprozess erfolgt die Umformung des Stahls mit Hilfe von mehreren, jeweils paarig und parallel angeordneten Walzen, welche sich in entgegengesetzter Richtung drehen. Der Stahl wird beim Walzen zwischen den beiden Walzen hindurchgeführt, wobei die Druckkräfte den Stahl im Walzspalt bei einer gleichbleibenden Querschnittsverminderung hauptsächlich in Längsrichtung strecken. (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.)

Die Fertigstraße beim Walzprozess besteht in der Regel aus fünf bis sieben dicht hintereinander angeordneten Walzgerüsten, welche die Brammen auf das gewünschte Zielmaß, die entsprechende Banddicke, herunterwalzen (Lüngen et al. 2018). Während beim Warmwalzen das Umformen bei hohen Temperaturen (~1.250 Grad Celsius) geschieht, erfolgt das plastische Umformen beim Kaltwalzen unterhalb der Rekristallisationstemperatur des Walzgutes statt; das Kaltwalzen geschieht zumeist bei Raumtemperatur, ohne vorheriges Anwärmen des Walzgutes vor dem Walzprozess (Wirtschaftsvereinigung Stahl o.J.; Wikipedia 2020b)

Das beim Kaltwalzen verfestigte Material muss zur Wiederherstellung der Umformeigenschaften für die weitere Verarbeitung „rekristallisierend“ geglüht werden. Dies geschieht in Haubenglühen oder in kontinuierlichen Wärmehandlungsanlagen. Neuartige Entwicklungen im Bereich des Walzens betreffen z.B. das thermo-mechanische Walzen, bei welchem direkt aus der Walzhitze Werkstoffeigenschaften erzeugt werden. (VDEh 2020b)

An die formgebenden Prozesse der Umformung schließt sich die Oberflächenveredelung der mannigfaltigen Erzeugnisse der Stahlindustrie an. Fertige Erzeugnisse der Stahlindustrie stellen z. B. Bleche, Bänder, Rohre, Profile, Walzdraht, Gussstücke, Schmiedestücke etc. dar (vgl. Abbildung 5).

Zum Gesamtkomplex eines Warmwalzwerkes gehören (VDEh 2020b):

- Vormateriallager,
- Wärmöfen,
- Entzunderungsanlage,
- Vor- und Fertigstraße mit einer unterschiedlichen Anzahl von Gerüsten/Gerüstgruppen und Gerüsttypen,

- Kühlvorrichtungen,
- Adjustageeinrichtungen,
- Fertigmateriallager,
- Rollgänge, welche die einzelnen Bereiche eines Warmwalzwerkes miteinander verbinden;
- Mess- und Prüfeinrichtungen sowie

einer Walzenwerkstatt.

### 3 Methodik und Ziel der Analyse

Mit Hilfe von fundierter Fachliteratur und Expertenwissen wurde für integrierte Hüttenwerke die Prozesskette der Eisen- und Stahlindustrie – von vorgelagerten Prozessschritten wie dem Sintern über die Roheisen- und Rohstahlgewinnung bis hin zur Güterproduktion – analysiert. So konnten die spezifisch zur Eisen- und Stahlerzeugung eingesetzten Anlagen und Technologien bzw. branchencharakteristische Technologien und Verfahrensschritte identifiziert werden (vgl. Abbildung 6).

Basierend hierauf wurden spezifische Schlagwörter für Technologieoptionen (z. B. Sinteranlage, Hochofen, Schmelzreduktion, Direktreduktion, Konverter, Umformen, endabmessungsnaher Guss etc.) zur Suche in der EnArgus-Datenbank (EnArgus 2019) abgeleitet.

Die EnArgus-Datenbank ist ein zentrales Informationssystem zur Abbildung der Energieforschungsförderung des Bundes. Zuwendungsgeber für die geförderten Forschungsprojekte war bzw. ist dabei jeweils entweder das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) oder das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi).

Die EnArgus-Datenbank wendet sich an entsprechende Akteure aus Politik, Projektadministration und Unternehmen sowie die interessierte Öffentlichkeit (EnArgus 2019). Durch Vermittlung von nachvollziehbaren Informationen soll ein Zugang zur Energieforschung der Bundesregierung vermittelt werden (EnArgus 2019). Mit Hilfe der entwickelten spezifischen Schlagwortliste von Technologieoptionen wurde eine umfangreiche Recherche nach technologiespezifischen Forschungs- und Entwicklungsprojekten aus dem Bereich der Eisen- und Stahlindustrie in der EnArgus-Datenbank gestartet. Ziel war es dabei alle Förderprojekte mit einem Laufzeitbeginn zwischen den Jahren 2000 und 2018, die einen Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie aber gleichzeitig auch zur Energieforschung aufweisen, zu identifizieren.

Die identifizierten Förderprojekte des Bundes wurden entsprechend ihren Charakteristika (z. B. Name des Verbundprojektes, Laufzeitbeginn und -ende, Fördersumme, Zuwendungsgeber etc.) in einer Excel-Datenbank hinterlegt.

Anschließend wurden die mittels der EnArgus-Datenbank identifizierten Projekte, welche die Eisen- und Stahlindustrie sowie die Energieforschung betrafen, 13 unterschiedlichen Prozessschritten, spezifischen Technologien bzw. Querschnittsthemen entlang der Produktions- bzw. Wertschöpfungskette zugeordnet (vgl. Abbildung 6):

- Aufbereitung und Nutzung von Kuppelgasen (1)
- Direktreduktion (2)
- Elektrolichtbogenofen (3)
- Hochofen (4)



- Kokerei (5)
- Messen, Steuern, Regeln & IT (6)
- Querschnittsthema: Prozessführung (7)
- Sinterofen (8)
- Querschnittsthema: ganzheitliche Betrachtung ausgewählter Einzelaspekte des Systems Eisen- und Stahlindustrie (9)
- Thermische Reststoffnutzung (10)
- Umformen (11)
- Urformen (12)
- Querschnittsthema: Wärmöfen, Durchlauföfen, Industrieöfen etc. (13)

Die Zuordnung der identifizierten Projekte zu den ausgewählten Prozessschritten, spezifischen Technologien oder Querschnittsthemen entlang der Produktions- bzw. Wertschöpfungskette der Eisen- und Stahlindustrie erfolgte dabei, soweit möglich, mittels der beiden Datenbankcharakteristika „Thema“ sowie „Projektbeschreibung“.

Anschließend erfolgte eine Gesamtbewertung aller relevanten Förderprojekte, wobei die Projekte auch bezüglich ihres Laufzeitbeginns (zwischen „2000 und 2011“ oder zwischen „2011 und 2018“) sowie der jeweiligen Fördersumme ausgewertet wurden (vgl. Kapitel 4).

Durch diese Bewertung der speziellen Projektförderung, welche nur die Energieforschung im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie betrifft, soll ein möglichst exaktes Abbild der Energieforschungsförderung durch den Bund erzeugt werden. Dieses Abbild der Forschungsförderung wird genutzt, um einerseits technologiespezifische Forschungsschwerpunkte zu identifizieren und andererseits eine potenzielle Verschiebung der Förderung in Richtung spezieller Technologien zu beobachten. Gleichzeitig könnte die Auswertung das Erkennen von potenziellen „Forschungslücken“ bei der bisherigen Förderung der Energieforschung im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie durch den Bund ermöglichen; insbesondere im Zusammenspiel mit der Analyse der Prozesskette der Eisen- und Stahlindustrie – von vorgelagerten Prozessschritten wie dem Sintern über die Roheisen- und Rohstahlgewinnung bis hin zur Güterproduktion (vgl. oben).

Klar ist, dass das durch diese Analyse erzeugte Abbild der Forschungsförderung nur in einem gewissen Umfang belastbar ist. Schwerpunkte der Forschungsförderung ergeben sich selbstverständlich auch durch entsprechende Trends bei der Antragstellung auf Förderung durch Unternehmen. Werden für bestimmte Technologieoptionen der Prozesskette der Eisen- und Stahlindustrie bzw. für bestimmte Technologiebereiche von den Unternehmen keine Förderanträge beim Bund gestellt, kann für diese Technologieoptionen bzw. Technologiebereich auch keine Förderung durch den Bund erfolgen. Damit eine Forschungsförderung durch den Bund stattfinden kann, muss letztendlich zwangsläufig immer auch ein Förderantrag beim Bund eingereicht werden.

Generell ist es daher möglich, dass selbst Technologieoptionen mit hohen Energieeffizienzpotenzialen nicht in der EnArgus-Datenbank auftauchen; dies ist dann der Fall, wenn von Unternehmen kein Antrag auf Forschungsförderung in diesem Bereich erfolgte bzw. erfolgt. Die Gründe hierfür können mannigfaltig sein und variieren von Unternehmen zu Unternehmen. Ein Erfolg von EE4InG wäre es deshalb auch, wenn zukünftig Unternehmen in den durch die Analysen als vielversprechende „Förderlücken“ identifizierten Bereichen z.B. der Eisen- und Stahlindustrie verstärkt Anträge auf eine Förderung stellen würden. Eine gut konzipierte Informationskampagne zur breitflächigen

Information der relevanten Akteure aus der Wirtschaft über die vielversprechenden Potenziale entsprechender Technologien wäre dazu sicherlich hilfreich.

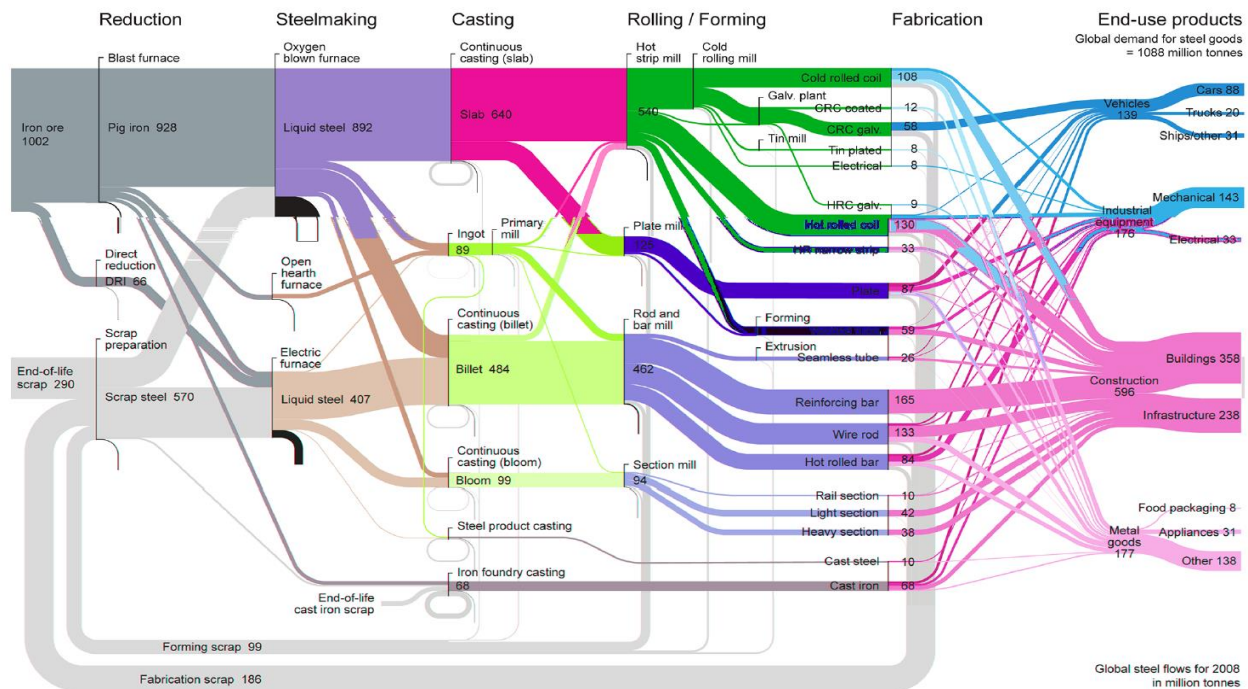


Abbildung 6 Produktionswege der Eisen- und Stahlindustrie – vom Erzabbau bis zur Güterproduktion

Quelle: Cullen et al. (2012)

#### 4 Überblick: Förderung von energiebezogenen Forschungsprojekten im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie durch die Bundesregierung

In der EnArgus-Datenbank (EnArgus 2019) konnten insgesamt 193 abgeschlossene oder laufende Förderprojekte aus dem Bereich der Energieforschung, die einerseits einen Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie aufweisen und deren Projektbeginn zwischen den Jahren 2000 bis 2018 lag bzw. liegt, identifiziert werden (vgl. Tabelle 1).

Die höchste Anzahl von Förderfällen kann dem Themenfeld „Messen, Steuern, Regeln & IT“ zugeordnet werden (vgl. Tabelle 1). Mit 39 geförderten Projekten entfällt rund 20 % der gesamten Förderung im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie auf diese Kategorie (vgl. Tabelle 1 & Abbildung 7). Außerdem werden die Themenfelder „Aufbereitung & Nutzung von Kuppelgasen“ (18 % aller Förderprojekte), „Wärmöfen, Durchlauföfen, Industrieöfen etc.“ (16 % aller Förderprojekte) und „Elektrolichtbogenöfen“ (11 % aller Förderprojekte) im Vergleich zu den übrigen Themenfeldern besonders häufig gefördert (vgl. Abbildung 7).

Anhand dieser themenspezifischen Verteilung der geförderten Projekte lässt sich als erste Vermutung ableiten, dass im Rahmen der derzeitigen Forschungslandschaft inkrementellen Verfahrensverbesserungen zur Steigerung der Energieeffizienz bzw. Energieträgersubstitution eine höhere Beachtung geschenkt wird als radikalen Verfahrensinnovationen. So wurden bzw. werden beispielsweise auch 13 Projekte im Themenfeld „Systemisch“ oder 14 Projekte im Zusammenhang mit Hochöfen gefördert (vgl. Tabelle 1).

**Tabelle 1** Von der Bundesregierung geförderte Projekte der Eisen- und Stahlindustrie aus dem Bereich der Energieforschung in der Periode 2000 bis 2018

| <b>Nr.</b>       | <b>Themenfelder</b>                         | <b>Anzahl der Projekte</b> |
|------------------|---|----------------------------|
| 1                | Aufbereitung & Nutzung von Kuppelgasen      | 34                         |
| 2                | Direktreduktion                             | 4                          |
| 3                | Elektrolichtbogenofen                       | 22                         |
| 4                | Hochofen                                    | 14                         |
| 5                | Kokerei                                     | 3                          |
| 6                | Messen, Steuern, Regeln & IT                | 39                         |
| 7                | Prozessführung                              | 8                          |
| 8                | Sinterofen                                  | 4                          |
| 9                | Systemisch                                  | 13                         |
| 10               | Thermische Reststoffnutzung                 | 4                          |
| 11               | Umformen                                    | 4                          |
| 12               | Urformen                                    | 13                         |
| 13               | Wärmöfen, Durchlauföfen, Industrieöfen etc. | 31                         |
| <b>Insgesamt</b> |   | <b>193</b>                 |

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf EnArgus (2019)

### Laufzeitbeginn von 2000 bis 2018

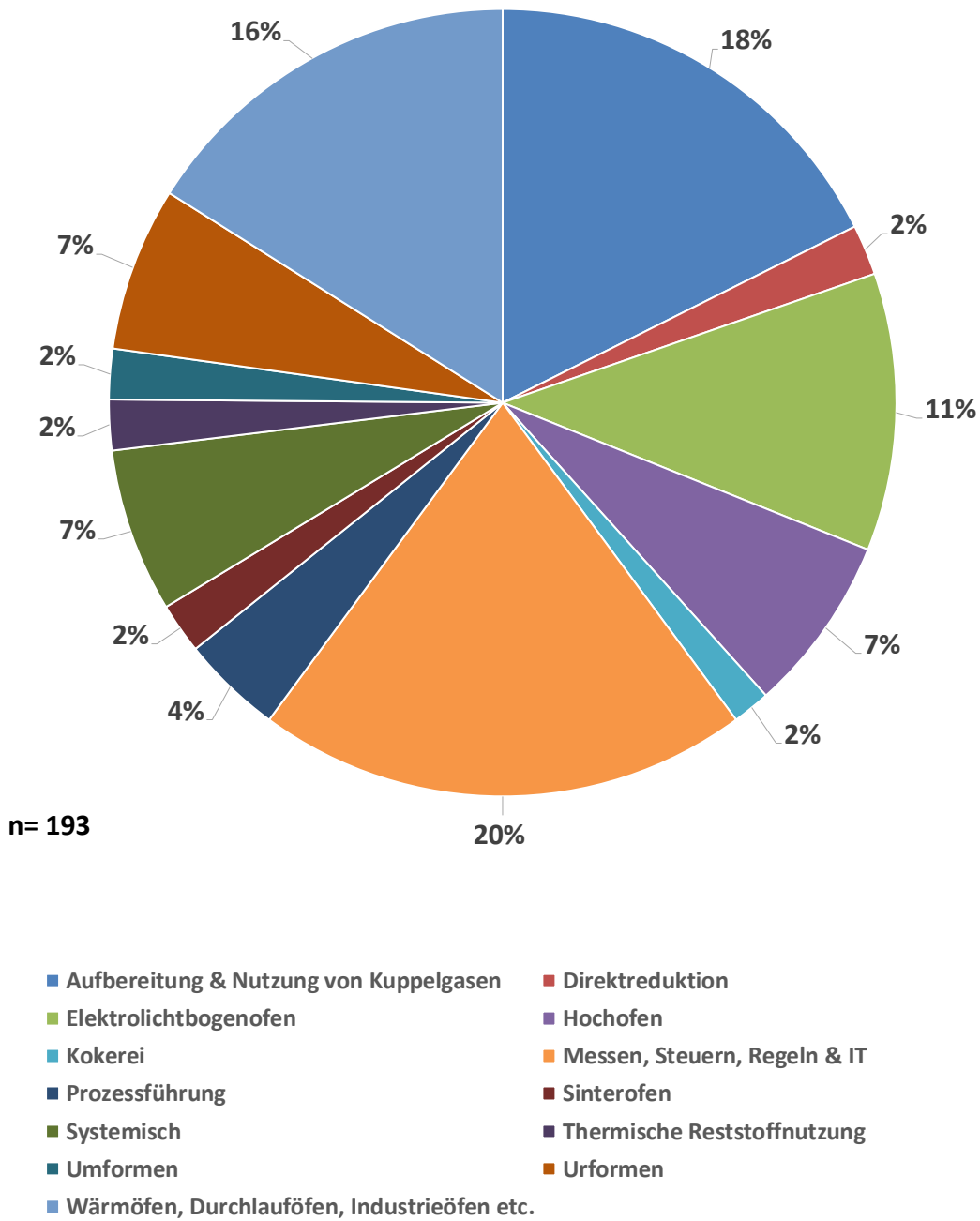


Abbildung 7 Prozentuale Verteilung der Projektförderung durch die Bundesregierung im Bereich der Energieforschung auf verschiedene Themenfelder aus dem Umfeld der Eisen- und Stahlindustrie anhand der absoluten Anzahl an geförderten Projekten

Quelle: eigene Darstellung basierend auf EnArgus (2019)

Um ein Bild von möglichen Verschiebungen bei den Schwerpunkten bei geförderten Projekten in der Forschungsförderung über die Zeit zu erlangen, wurde die Auswertung auch separat sowohl für die Periode „2000 bis 2009“ als auch für die Periode „2010 bis 2018“ durchgeführt (vgl. Abbildung 8).

In der Periode „2000 bis 2009“ wurden 71 Energieforschungsprojekte aus dem Bereich der Eisen- und Stahlindustrie gefördert (vgl. Abbildung 3-2). In der sich anschließenden Periode von „2010 bis 2018“ wurden insgesamt 122 Energieforschungsprojekte (+ 72 % gegenüber der vorhergehenden Periode von 2000 bis 2009) aus dem Bereich der Eisen- und Stahlindustrie gefördert (vgl. Abbildung 8).

In der Periode „2000 bis 2009“ wurden mit 23 % von insgesamt 71 Energieforschungsprojekten die meisten Projekte aus dem Themenfeld „Wärmöfen, Durchlauföfen, Industrieöfen etc.“ gefördert; gefolgt von den Themenfeldern „Elektrolichtbogenöfen“ mit 17 % und dem Themenfeld „Messen, Steuern, Regeln & IT“ mit 11 geförderten Projekten (15 % aller analysierter Projekte in dieser Periode) (vgl. Abbildung 8).

Im Gegensatz dazu wurden bzw. werden in der Periode „2010 bis 2018“, wie bereits erwähnt, insgesamt 122 Projekte gefördert (vgl. Abbildung 8). Allerdings lag hier der zahlenmäßige Förderungsschwerpunkt im Bereich der beiden Themenfelder „Aufbereitung & Nutzung von Kuppelgasen“ (26 % aller Projekte in dieser Periode)<sup>6</sup> und „Messen, Steuern, Regeln & IT“ (23 % aller Projekte in dieser Periode). Energieforschungsprojekte im Bereich „Kokerei“ wurden in dieser Periode nicht gefördert.

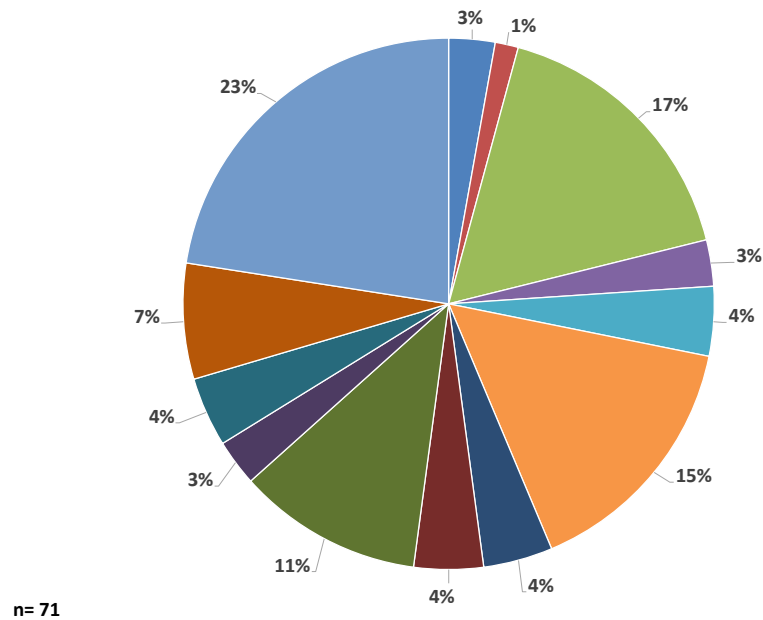
Zudem konnte eine Reihe von Energieforschungsprojekten in der EnArgus-Datenbank identifiziert werden, welche entweder nicht eindeutig der Eisen- und Stahlindustrie zugeordnet werden konnten oder welche nur der Eisen- und Stahlindustrie nahestehende Industriebranchen betrafen bzw. betreffen. Diese themenverwandten Förderprojekte aus dem Bereich der Energieforschung wurden für die hier durchgeführte Auswertung nicht berücksichtigt.

---

<sup>6</sup> Informationen zum Carbon2Chem-Projekt sind online verfügbar unter: <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/presse-medien/pressemitteilungen/2019/carbon2chem-laboreinweihung.html> bzw. <https://www.umsicht.fraunhofer.de/de/strategische-forschungslinien/kohlenstoffkreislauf.html>

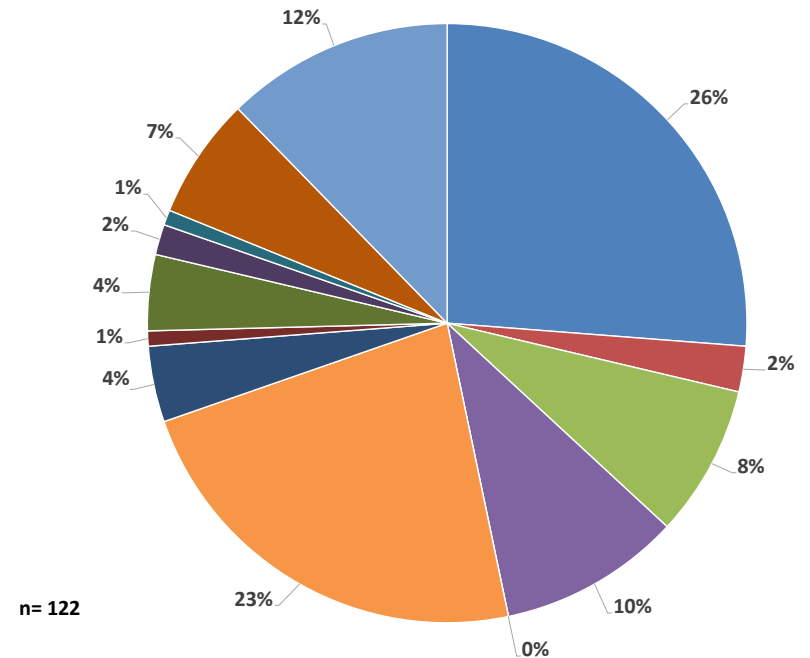
a)

Projektbeginn von 2000 bis 2009



b)

Projektbeginn von 2010 bis 2018



- Aufbereitung & Nutzung von Kuppelgasen
- Elektrolichtbogenofen
- Kokerei
- Prozessführung
- Systemisch
- Umformen
- Wärmöfen, Durchlauföfen, Industrieöfen etc.
- Direktreduktion
- Hochofen
- Messen, Steuern, Regeln & IT
- Sinterofen
- Thermische Reststoffnutzung
- Urformen

- Aufbereitung & Nutzung von Kuppelgasen
- Elektrolichtbogenofen
- Kokerei
- Prozessführung
- Systemisch
- Umformen
- Wärmöfen, Durchlauföfen, Industrieöfen etc.
- Direktreduktion
- Hochofen
- Messen, Steuern, Regeln & IT
- Sinterofen
- Thermische Reststoffnutzung
- Urformen

Abbildung 8 Vergleich der prozentualen Energieforschungsförderung im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie durch den Bund bezogen auf die absolute Anzahl der geförderten Projekte in der Periode 2000 bis 2009 (a) und in der Periode 2010 bis 2018 (b) auf verschiedene Themenfelder bzw. Technologieoptionen

Quelle: eigene Darstellungen basierend auf EnArgus (2019)

Die finanzielle Förderung aller identifizierten Energieforschungsprojekte mit Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie (vgl. Tabelle 2) über den gesamten Untersuchungszeitraum 2000 bis 2018 durch den Bund summiert sich insgesamt auf ein Fördervolumen von gut 122 Millionen Euro auf (EnArgus 2019).

Tabelle 2 Förderung von Energieforschungsprojekten der Eisen- und Stahlindustrie durch den Bund in der Periode 2000 bis 2018

| Nr.              | Themenfelder  | Anzahl der geförderten Energieforschungsprojekte | Förderung durch den Bund in Mio. € | Durchschnittliche spezifische Förderung durch den Bund in Mio. € pro Projekt |
|------------------|---|--|------------------------------------|--|
| 1                | Aufbereitung & Nutzung von Kuppelgasen <sup>3</sup> | 34   | 62,7 <sup>7</sup>                  | 1,8  |
| 2                | Direktreduktion                                     | 4  | 2,5                                | 0,6  |
| 3                | Elektrolichtbogenofen                               | 22   | 5,9                                | 0,3  |
| 4                | Hochofen  | 14   | 8,7                                | 0,6  |
| 5                | Kokerei   | 3  | 1,1                                | 0,4  |
| 6                | Messen, Steuern, Regeln & IT                        | 39   | 11,4                               | 0,3  |
| 7                | Prozessführung                                      | 8  | 4,8                                | 0,6  |
| 8                | Sinterofen  | 4  | 1,0                                | 0,2  |
| 9                | Systemisch  | 13   | 4,1                                | 0,3  |
| 10               | Thermische Reststoffnutzung                         | 4  | 3,1                                | 0,8  |
| 11               | Umformen  | 4  | 2,2                                | 0,5  |
| 12               | Urformen  | 13   | 4,5                                | 0,3  |
| 13               | Wärmöfen, Durchlauföfen, Industrieöfen etc.         | 31   | 10,2                               | 0,3  |
| <b>Insgesamt</b> |   | <b>193</b>                                       | <b>122,2</b>                       | <b>0,6</b>   |

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf EnArgus (2019)

25 Mio. € der Förderung von Energieforschungsprojekten aus dem Kontext der Eisen- und Stahlindustrie entfallen auf den Zeitraum zwischen den Jahren 2000 bis 2009; die restlichen 97 Mio. € auf die Periode 2010 bis 2018 (EnArgus 2019).

Somit beläuft sich die durchschnittliche Projektförderung durch den Bund für Energieforschungsprojekte mit Laufzeitbeginn in der Periode „2000 bis 2009“ und Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie auf 0,4 Mio. € je gefördertem Projekt und für Projekte mit Laufzeitbeginn in der Periode „2010 bis 2018“ auf 0,8 Mio. € je gefördertem Projekt. Über die gesamte Periode „2000 bis 2018“ betrachtet betrug die durchschnittliche Förderung von Energieforschungsprojekten im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie 0,6 Mio. €.

<sup>7</sup> Informationen zum Carbon2Chem-Projekt sind online verfügbar unter: <https://www.bmbf.de/de/mit-abgas-das-klima-retten-3044.html>

51 % der gesamten Fördersumme des Bundes entfällt auf das Themenfeld „Aufbereitung & Nutzung von Kuppelgasen“<sup>8</sup> (vgl. Abbildung 9). Dies liegt hauptsächlich an der Förderung des Projektes Carbon2Chem.

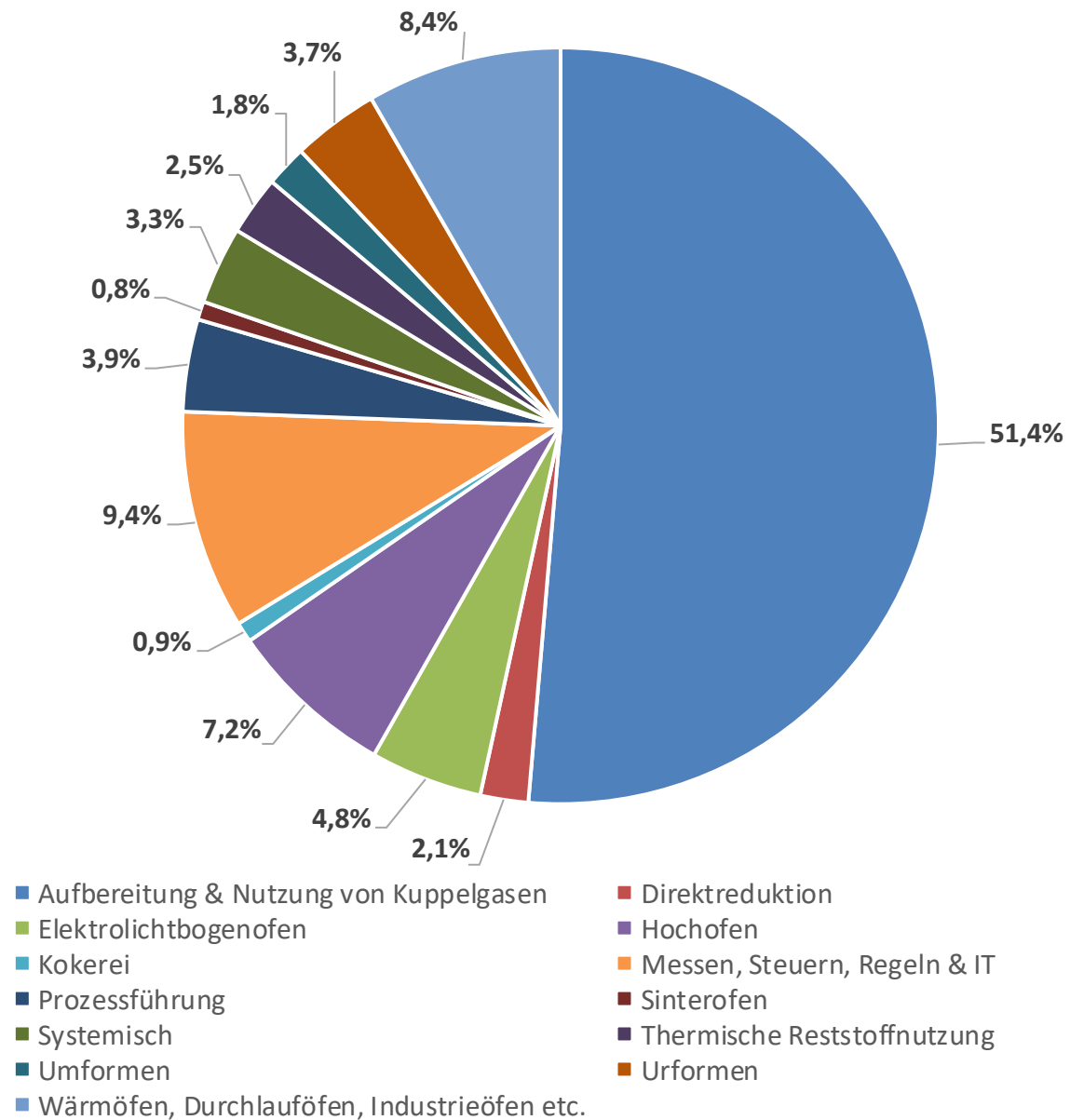


Abbildung 9 Prozentuale Verteilung des entsprechenden Fördervolumens im Bereich der Energieforschung (122 Mio. €) des Bundes auf verschiedene Themenfelder mit Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie – Projektlaufzeitbeginn der geförderten Projekte „2000 bis 2018“

Quelle: eigene Darstellung basierend auf EnArgus (2019)

Erwähnt werden soll hier, dass das langjährige Verbundvorhaben Carbon2Chem (C2C) mit 17 Partnern mit insgesamt rund 63 Mio. € gefördert wird, um die Entwicklung eines

<sup>8</sup> Informationen zu dem Carbon2Chem-Projekt sind online verfügbar unter: <https://www.fona.de/de/massnahmen/foerdermassnahmen/carbon2chem.php>



flexiblen Carbon Capture and Utilization (CCU)-Konzepts für die gesamte kohlenstoffbasierte Industrie voranzubringen und die Nutzung der kohlestoffhaltigen Industrieabgase in einer Pilotanlage praktisch zu demonstrieren. Letztendlich werden somit im Rahmen des Projektes innerhalb von mehreren Teilvorhaben unterschiedlichste techno-ökonomische Aspekte betrachtet. C2C zielt auch, aber nicht nur auf die Nutzung von Kuppelgasen der Stahlindustrie ab. Die Technologie ist ebenso auch in anderen CO<sub>2</sub>-intensiven Industriebranchen einsetzbar. Grundsätzlich ist das Verfahren kohlenstoffhaltige Abgase als Rohstoffquelle für die chemische Industrie zu erschließen insbesondere auch für die Kalk- und Zementindustrie geeignet und von Interesse, da hier Punktquellen mit hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen vorliegen.

Insofern ist eine Zuordnung der Fördermittel zu einer bestimmten Anwenderbranche schwer möglich. Unabhängig von der jeweiligen Einsatzbranche wird jedoch durch die Nutzung der kohlenstoffhaltigen Abgase stets der Bedarf an fossilen Rohstoffen reduziert.

Acht Industrieunternehmen entwickeln im Rahmen von C2C gemeinsam mit Max-Planck und der Fraunhofer-Gesellschaft sowie verschiedenen Universitäten u.a. eine weltweit einsetzbare Lösung, um die Abgase der Hochöfen, die sogenannten Hüttengase, in höherwertige Vorprodukte für Kraftstoffe, Kunststoffe oder Dünger umzuwandeln (BMBF 2016). In einem Teilprojekt wird beispielsweise die dynamische Wasserstoffelektrolyse erforscht. Andere Teilprojekte beschäftigen sich mit einer nachhaltigen Methanolproduktion aus Hüttengas, der Gasreinigung von Rohgas, der Herstellung von langkettigen Alkoholen aus Kuppelgasen, einer nachhaltigen Produktion von Kunststoffen oder der Herstellung von Oxymethylenether.

In dem Projekt soll die branchenübergreifende stoffliche Nutzung der Abgase der Stahlherstellung in Form chemischer Grundstoffe entworfen werden. Nutzer dieser im Vergleich zur konventionellen Herstellung nachhaltigeren Grundstoffe ist somit nicht nur alleine die Stahlindustrie; bei Erfolg des Projektes könnten verschiedene Branchen der energieintensiven Industriezweige (z.B. die Zementindustrie, Chemieindustrie etc.) branchenübergreifend vernetzt werden, um diverse Alltagsprodukte nachhaltiger herstellen zu können. Dabei zählt dann letztendlich nicht die Effizienz der einzelnen Prozessschritte, sondern die Systemeffizienz des Gesamtsystems. (BMWi 2018)

Weitere finanzielle Förderschwerpunkte bilden das Themenfeld „Messen, Steuern, Regeln & IT“ (11,4 Mio. € Förderung) und das Themenfeld „Wärmöfen, Durchlauföfen, Industrieöfen etc.“ (10,2 Mio. € Förderung) sowie das Themenfeld „Hochofen“ (8,7 Mio. € Förderung) (vgl. Tabelle 2).

## 5 Fazit

Die Energieforschungsförderung durch den Bund deckt in der analysierten Periode von 2000 bis 2018 eine ganze Bandbreite unterschiedlichster Themen und Aspekte ab. Insgesamt profitieren dabei knapp 200 Projekte mit Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie, deren Laufzeit in dem betrachteten Zeitraum beginnt, von einer in diesen Bereich investierten Fördersumme von gut 122 Mio. € (vgl. Tabelle 2). Besonders umfangreich wird dabei seit 2010 das Themenfeld „Aufbereitung & Nutzung von Kuppelgasen“ gefördert.

Über die gesamte Periode betrachtet nehmen Themen mit Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie für die Forschungsförderung deutlich an Bedeutung zu. Während Forschungsprojekte mit Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie und einem Laufzeitbeginn in der Periode „2000 bis 2009“ mit rund 25 Mio. € gefördert wurden, stieg die gesamte Förderung von Projekten im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie, deren Laufzeitbeginn in der Periode „2010 bis 2018“ liegt, auf rund 97 Mio. € an.

Parallel dazu stieg die absolute Anzahl der geförderten Projekte mit Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie von 71 geförderten Projekten mit Laufzeitbeginn in der Periode „2000 bis 2009“ auf 122 (+ 72 %) geförderte Projekte mit Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie und einem Laufzeitbeginn in der Periode „2010 bis 2018“ ebenso an.

Bezogen allein auf die absolute Anzahl aller durch den Bund geförderten Projekte mit Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie und ohne Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie nahm die Förderung von Projekten mit Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie in der Periode „2010 bis 2018“ gegenüber der Periode „2000 bis 2009“ jedoch aufgrund der massiv steigenden Anzahl von geförderten Projekten ohne Bezug zur Eisen- und Stahlindustrie ab.

Im Rahmen des EE4InG-Projektes sollen u.a. im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie entscheidende Innovationen zur Steigerung der Energieeffizienz erkannt und konkrete Empfehlungen für die Weiterentwicklung der Forschungsförderpolitik entwickelt werden. Wichtig hierbei ist u.a. dafür zu sorgen, dass im Rahmen des Projektes identifizierte aber auch noch unbekanntes vielversprechende Technologieoptionen zur Steigerung der Energieeffizienz im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie von der zukünftigen Förderpolitik soweit möglich berücksichtigt werden. Deswegen kommt es auch darauf an, dass die erkannten vielversprechenden Technologieoptionen im Rahmen der Vernetzung der relevanten Akteure des gesamten Innovationssystems breitflächig, intensiv und wiederholt kommuniziert werden. Dadurch soll die Aufmerksamkeit der Forschungs- und Entwicklungsabteilungen der Unternehmen auf diese Innovationsmöglichkeiten gerichtet und ihr Interesse daran geweckt oder verstärkt werden.

Ziel ist es, dass die Unternehmen, wenn sie die Chancen und Potenziale der Technologieoptionen realisiert haben, möglichst innovative und vielversprechende Anträge auf die Förderung von konkreten Forschungsvorhaben in den verschiedensten Themenfeldern stellen.

## Literaturverzeichnis

- Abele, E. et al. (2019): Analyse von Trends und Megatrends in der Industrie. Analyse im Rahmen des Projektes EE4InG.
- Chemie.de (2020): Pfannenofen. Online verfügbar unter: <https://www.chemie.de/lexikon/Pfannenofen.html>. Zuletzt abgerufen am: 17.01.2020.
- Cullen, J.M., Allwood, J.M. & Bambach, M.D. (2012): Mapping the Global Flow of Steel: From Steelmaking to End-Use Goods. *Environmental Science & Technology*, 2012. 46, 13048-13055
- BCG & VDEh (2013): Steel's contribution to a low carbon Europe 2050. Technical and economic analysis of the sector's CO<sub>2</sub> abatement potential. Hg. v. The Boston Consulting Group, Steel Institute VDEh.
- BMBF (2016): Mit Abgas das Klima retten – Carbon2Chem. Pressemitteilung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung 075/2016. Online verfügbar unter: <https://www.bmbf.de/de/mit-abgas-das-klima-retten-3044.html>. Letzter Zugriff: 14.05.2019
- BMWi (2018): Carbon2Chem – Experten beraten über CO<sub>2</sub>-Nutzung in der Industrie. Online verfügbar unter: <https://www.fona.de/de/carbon2chem-experten-beraten-ueber-co2-nutzung-in-der-industrie>. Letzter Zugriff: 27.01.2020
- EnArgus (2019): Zentrales Informationssystem Energieforschungsförderung. PtJ, BMWi. Online verfügbar unter: <https://www.enargus.de/pub/bscw.cgi?op=enargus.eps2>. Letzter Zugriff: 16.04.2019
- Fleiter, T., Schломann, B., Hirzel, S., Arens, M., Rhode, C., Eichhammer, W., Cebulla, F., Elsland, R., Fehrenbach, D., Singer, N., Gerspacher, A., Idrisova, F., Jochem, E., Mai, M., Reitze, F., Toro, A., Bachmann, J., Wittich, K. & Hassan, A. (2013): Energieverbrauch und CO<sub>2</sub>-Emissionen industrieller Prozesstechnologien – Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente. Fraunhofer Verlag. Online verfügbar unter: [https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2013/Umweltforschungsplan\\_FKZ-370946130.pdf](https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/ccx/2013/Umweltforschungsplan_FKZ-370946130.pdf). Letzter Zugriff am 17. Januar 2020.
- Hölling et al. (2017): Bewertung der Herstellung von Eisenschwamm unter Verwendung von Wasserstoff.
- Lösch, O. (2019): Trends und Einflussfaktoren für die energie- und emissionsbezogene Innovationstätigkeit der Eisen- und Stahlherstellung. IREES Working Paper 1/2019.

- Lösch, O.; Reitze, F.; Schön, M.; Toro, F.A. & Ashley-Belbin (2018): Prozessemissionen in der deutschen Industrie und ihre Bedeutung für die nationalen Klimaschutzziele – Problemdarstellung und erste Lösungsansätze. Hg. v. Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES). Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, und Nukleare Sicherheit. Karlsruhe.
- Lösch, O.; Jochem, E.; Reitze, F.; Schön, M.; Toro, F.A., Gollmer, C., Blazejczak, J., Garnreiter, F., Hassan, A. & Legler, H. (2017): Herausforderungen und Chancen des Transformationsprozesses in der deutschen Industrie bis 2050. Hg. v. Institut für Ressourceneffizienz und Energiestrategien (IREES). Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, und Nukleare Sicherheit. Karlsruhe, Berlin 12.04.2017.
- Lüngen, H.B., Stranzinger, B., Rosemann, H. & Adler, W. (2018): Abwärmenutzungspotenziale in Anlagen integrierter Hüttenwerke der Stahlindustrie. Abschlussbericht des Stahlinstituts VDEh im Auftrag des Umweltbundesamtes. Texte 07/2019, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit.
- UBA (2014): Treibhausgasneutrales Deutschland. im Jahr 2050. Hg. v. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau.
- VDEh (2020a): Stahl im Fluss: Vergießen des Stahls. Stahltechnologie/Stahlerzeugung. Stahlinstitut VDEh. Online verfügbar unter: <https://www.vdeh.de/stahltechnologie/stahlerzeugung.html>. Zuletzt abgerufen am 9. Januar 2020.
- VDEh (2020b): Umformtechnik. Stahlinstitut VDEh. Online verfügbar unter: <https://www.vdeh.de/stahltechnologie/umformtechnik.html>. Zuletzt abgerufen am 17. Januar 2020.
- VDEh (2015): Stahlfibel. Herausgegeben vom Stahlinstitut VDEh. Verlag Stahleisen GmbH Düsseldorf
- Wikipedia (2020a): Pfannenofen. Online verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Pfannenofen>. Zuletzt abgerufen am 9. Januar 2020.
- Wikipedia (2020b): Kaltwalzen. Online verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kaltwalzen>. Zuletzt abgerufen am 17. Januar 2020.
- Wirtschaftsvereinigung Stahl (2019a): Stahlerzeugung in Deutschland. Online verfügbar unter: <https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2019/03/Folie1.png>. Zuletzt abgerufen am 7. Januar 2020
- Wirtschaftsvereinigung Stahl (2019b): Fakten zur Stahlindustrie in Deutschland 2019. Online verfügbar unter: [https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2019/09/WVStahl\\_Fakten\\_zur\\_Stahlindustrie\\_2019.pdf](https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2019/09/WVStahl_Fakten_zur_Stahlindustrie_2019.pdf). Zuletzt abgerufen am 7. Januar 2020
- Wirtschaftsvereinigung Stahl (o.J.): Schaubild - Wege zum Stahl. Stahlinformationszentrum. Online verfügbar unter: [https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2013/10/D519\\_Schaubild\\_Wege\\_zum\\_Stahl.pdf](https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/2013/10/D519_Schaubild_Wege_zum_Stahl.pdf). Zuletzt abgerufen am 9. Januar 2020.