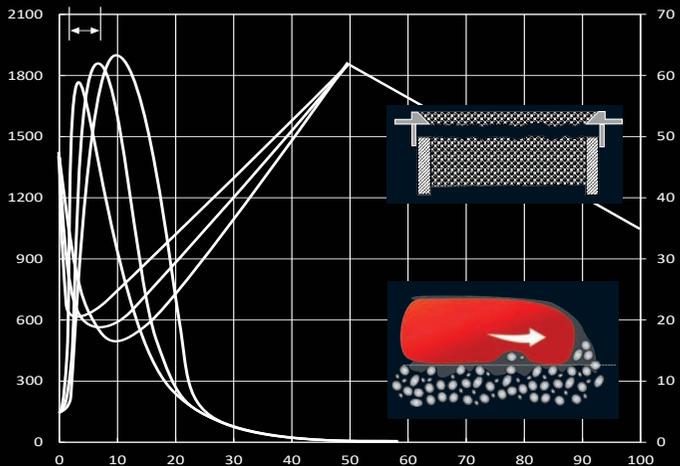
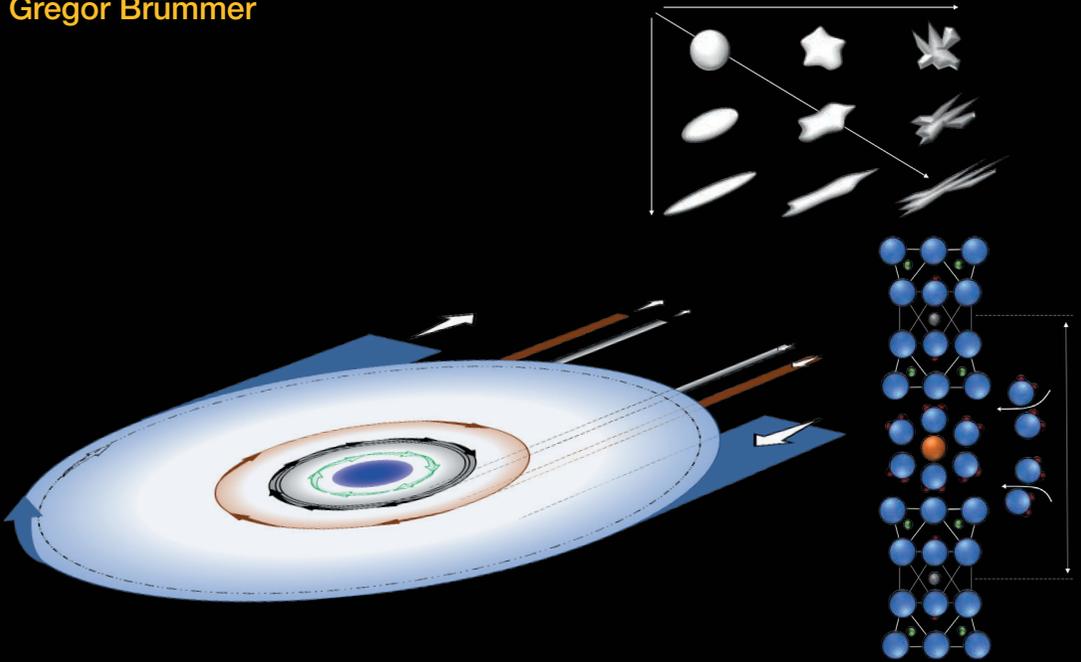


E. Brümmer, G. Brümmer

Der tongebundene Formstoff – primärer Werkstoff des Gießereiwesens

Herausgegeben von
Gregor Brümmer



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über www.dnb.de abrufbar.

Der tongebundene Formstoff – primärer Werkstoff des Gießereiwesens

Eicke Brümmer, Gregor Brümmer

1. Auflage 2022

ISBN: 978-3-8027-3170-9

© 2022: Montsanssaisier-Verlag, Auforsterstrasse 7a, 84518 Hart a. d. Alz

Projektmanagement, Lektorat und Satz: Vulkan-Verlag GmbH, 45127 Essen

Umschlaggestaltung: Vulkan-Verlag GmbH, nach einem Entwurf von G. Brümmer

Druck: ScandinavianBook c/o Druckhaus Nord GmbH, 91413 Neustadt a. d. Aisch

Hinweise zu den Bildquellen: Bis dato unveröffentlichte bzw. nur im Rahmen von Vorträgen, Forschungsberichten und Seminar- bzw. Tagungsunterlagen veröffentlichte Aufnahmen wurden mit dem Hinweis auf den Urheber versehen bzw. dessen Wünschen gemäß gekennzeichnet. In den Fällen, in denen bereits ein Abdruck in einer Publikation erfolgt ist, wird auf diese Erstveröffentlichung verwiesen. Den Inhabern der Urheberrechte sei an dieser Stelle für die Reproduktionserlaubnis gedankt. In wenigen Fällen war es nicht möglich, den Urheber bzw. dessen Rechtsnachfolger zu ermitteln, wofür um Nachsicht gebeten wird. Grafische Darstellungen von Forschungsergebnissen oder Versuchsanordnungen anderer Autoren wurden für dieses Buch adaptiert und deren Gestaltung entsprechend angepasst. Die ursprünglichen Autoren (bzw. Werke im Fall von Monografien, bei denen der jeweilige Autor nicht ermittelbar ist) sind in der Bildunterschrift genannt, ggf. ergänzt um die Jahreszahl der Veröffentlichung, um die Zuordnung zum Schrifttum zu erleichtern. blieb die ursprüngliche Grafik weitgehend unverändert, ist dies durch die Zusätze „aus...“ bzw. „von...“ gekennzeichnet. Wurde die Grafik überarbeitet bzw. um weitere Ergebnisse aus eigenen Arbeiten oder anderer Autoren ergänzt oder Teile weggelassen, so ist dies an dem Vermerk „nach...“ zu erkennen. In letzterem Fall ist es möglich, dass der sich ergebende Gesamteindruck bzw. die ursprüngliche Aussage der Urheber etwas modifiziert ist und sich ggf. nicht mehr vollständig mit deren Intention deckt. Das Werk einschließlich aller Abbildungen ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Bearbeitung in elektronischen Systemen. Der Erwerb berechtigt nicht zur Weitergabe des eBooks an Dritte. Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften. Der Verkauf dieses Werkes erfolgt nur in West- und Mitteleuropa

Haftungsausschluss: Trotz großer Sorgfalt bei der Erstellung dieses Buches sind inhaltliche oder sich aus der Herstellung ergebende Fehler nicht auszuschließen. Die Interpretation der dargestellten Ergebnisse und ggf. deren Adaption in der Praxis bleibt ausschließlich dem Leser überlassen. Für Folgen jedweder Art, die sich aus Fehlern in dieser oder Fehlinterpretationen aus dieser Arbeit ergeben, übernehmen weder die Autoren, der Herausgeber, der Verlag noch die übrigen Verlagsdienstleister eine juristische Verantwortung oder Haftung.

Das Werk wurde nach den aktuellen Regeln der deutschen Rechtschreibung lektoriert.

Fortsetzung siehe S. 858

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|-----------|---|------------|
| 1. | Einleitung..... | 1 |
| 2. | Die Ausgangsbestandteile tongebundener Formstoffe..... | 5 |
| 2.1 | Formgrundstoffe – die Trägermaterialien..... | 5 |
| 2.1.1 | Kornform, Kornoberfläche und Kornverteilung | 6 |
| 2.1.2 | Stabilität und Hochtemperaturverhalten | 22 |
| 2.1.3 | Weitere Eigenschaften verschiedener Formgrundstoffe | 26 |
| 2.2 | Das Bindersystem Ton & Wasser | 42 |
| 2.2.1 | Wasser..... | 43 |
| 2.2.2 | Tonminerale | 46 |
| 2.2.3 | Bindersystem..... | 54 |
| 2.2.4 | Vom Lehm zum Gießereibentonit | 59 |
| 2.2.5 | Einflüsse auf das Bindersystem | 82 |
| 2.2.6 | Merkmale realer Gießereibentonite | 104 |
| 2.3 | Ergänzende Binderkomponenten..... | 117 |
| 2.4 | Organische Formstoffkomponenten zur Vermeidung von Penetration und Formstoff-Metall-Reaktionen | 144 |
| 2.4.1 | Wirkmechanismen..... | 144 |
| 2.4.2 | Rohstoffauswahl..... | 162 |
| 2.4.3 | Anmerkungen zur Umweltbelastung | 191 |
| 2.5 | Komponenten zur Unterstützung der Formverdichtung..... | 225 |
| 3 | Formstoffkreislauf | 245 |
| 3.1 | Der Kreislaufgedanke | 245 |
| 3.2 | Austauschvorgänge im Formstoffkreislauf | 254 |
| 3.2.1 | Körnung im Kreislauf | 255 |
| 3.2.2 | Abbrand von Bentonit, pyrolysierbaren Kohlenstoffverbindungen & weiteren Zusätzen – die Formstoffbilanz..... | 265 |
| 3.2.3 | Berechnung der Austauschvorgänge | 283 |
| 3.3 | Das dynamische Gleichgewicht | 294 |
| 3.3.1 | Grundlegende Zusammenhänge..... | 295 |
| 3.3.2 | Typische Beispiele des Einflusses von Veränderungen im Formstoffsystem auf die Formstoffanalyse | 307 |
| 3.4 | Formstoffsteuerung | 320 |
| 3.4.1 | Durch Prüfung der Formstoffzusammensetzung | 324 |
| 3.4.2 | Durch Prüfung technischer Formstoffeigenschaften..... | 328 |
| 3.4.3 | Durch Ausgleich des berechneten kreislaufbedingten Bedarfes..... | 329 |
| 3.4.4 | Basierend auf der Formstoffbilanz | 332 |
| 3.5 | Regenerierung | 340 |

| | | |
|----------|--|------------|
| 4 | Formstoffaufbereitung | 353 |
| 4.1 | Das Verhältnis von Wasser zu Bentonit und Formgrundstoff..... | 353 |
| 4.2 | An der Ausleerstation | 362 |
| 4.3 | Kühlung und Lagerung von Altsand | 365 |
| 4.4 | Aufbereitungsaggregate | 375 |
| 4.5 | Der Aufbereitungsgrad | 392 |
| 5 | Grundlegende Eigenschaften des bentonitgebundenen Formstoffes & Formherstellung | 399 |
| 5.1 | Brücken im Sand | 399 |
| 5.2 | Bildsamkeit, formgerechter Zustand und der Wasserbedarf | 406 |
| 5.3 | Vorgänge bei der Formstoffverdichtung | 413 |
| 5.4 | Methoden der Formherstellung | 418 |
| 5.5 | Hochtemperatureigenschaften, Ausleerverhalten | 424 |
| 6 | Gussfehler – nicht unbedingt ausschließlich formstoffbedingt..... | 439 |
| 6.1 | Leitfaden für den Einstieg in die Gussfehleranalyse..... | 439 |
| 6.2 | Kuriosa & Sonderfälle: Dellen, Ansätze und sonstige Beschädigungen..... | 443 |
| 6.3 | Formfehler: Ballen- und Kantenabriss, Versatz, Gratbildung und getriebener Guss | 447 |
| 6.4 | Lunker & Mikroporositäten | 466 |
| 6.5 | Penetrationen | 481 |
| 6.5.1 | Sekundärpenetration | 482 |
| 6.5.2 | Statische & dynamische Penetration..... | 485 |
| 6.5.3 | Explosionspenetration..... | 488 |
| 6.5.4 | Vererzung..... | 499 |
| 6.6 | Einschlüsse & Schlackenfehler: Abrieb, Erosion, Fluor, Schlacken & Dross | 503 |
| 6.7 | Gasblasen aus dem Metall: CO, N ₂ , H ₂ | 512 |
| 6.8 | Gasblasen aus der Form | 529 |
| 6.9 | Glanzkohlenstofffehler..... | 537 |
| 6.10 | Thermisch bedingtes Formversagen: Schülpen, Rattenschwänze & Blattrippen | 539 |
| 7 | Formstoffprüfungen | 557 |
| 7.1 | Formstoffzusammensetzung..... | 561 |
| 7.1.1 | Wassergehalt | 564 |
| 7.1.2 | Schlammstoffgehalt..... | 567 |
| 7.1.3 | Elektrische Leitfähigkeit in wässriger Lösung (ggf. mit pH-Wert)..... | 571 |
| 7.1.4 | Bindetongehalt | 574 |

| | | |
|-----------|--|------------|
| 7.1.5 | Granulometrische Kennwerte..... | 586 |
| 7.1.6 | Bestimmung des Sinterbeginns | 593 |
| 7.1.7 | Glühverlust | 595 |
| 7.1.8 | Gehalt an gebranntem Bindeton | 599 |
| 7.1.9 | Flüchtige Bestandteile..... | 605 |
| 7.1.10 | Glanzkohlenstoffbestimmung | 609 |
| 7.1.11 | Toluol-lösliche Bestandteile..... | 612 |
| 7.1.12 | Gehalt an Pellets, Knollen und Fremdkörpern..... | 614 |
| 7.1.13 | Röntgendiffraktometrie – Röntgenstrukturanalyse..... | 617 |
| 7.2 | Formstoffeigenschaften..... | 618 |
| 7.2.1 | Schüttgewicht und Verdichtbarkeit | 619 |
| 7.2.2 | Fließbarkeit | 624 |
| 7.2.3 | Druck-, Zug- und Spaltfestigkeit | 630 |
| 7.2.4 | Formverdichtung, Formfestigkeit, Formhärte..... | 646 |
| 7.2.5 | Nasszugfestigkeit | 649 |
| 7.2.6 | Ausstoßkraft | 653 |
| 7.2.7 | Kippwinkel | 657 |
| 7.2.8 | Gasdurchlässigkeit | 661 |
| 7.2.9 | Abrieb & Erosion..... | 666 |
| 7.2.10 | Trockenfestigkeit | 672 |
| 7.2.11 | Shatter-Test | 677 |
| 7.2.12 | Cone-Jolt-Toughness | 681 |
| 7.3 | Simulation formstoffbedingter Gussfehler..... | 684 |
| 7.3.1 | Gießzeit- oder Schülpenprobe | 689 |
| 7.3.2 | Prüfkokille zur Bestimmung der Explosionspenetrationsneigung.... | 692 |
| 7.3.3 | Ausleerprüfung | 695 |
| 8 | Tongebundene Formstoffe im Metallguss..... | 699 |
| 9 | Ausblick..... | 711 |
| 10 | Fragen..... | 719 |
| 11 | Antworten..... | 753 |
| 12 | Bewertung..... | 787 |
| 13 | Literatur..... | 789 |
| 14 | Personenverzeichnis..... | 819 |
| 15 | Stichwortverzeichnis..... | 829 |

| | | |
|-----------|-------------------------------|------------|
| 16 | Nachtrag..... | 849 |
| 16.1 | Widmung des Herausgebers..... | 849 |
| 16.3 | Die Autoren..... | 853 |

Exemplar-Nr.

1. Einleitung

Der Besuch einer Eisengießerei mit ihrer ungewöhnlichen Geräuschkulisse, den offensichtlichen und kaum zu bändigenden Emissionen an Staub und Rauch, der Hitze und dem Farbenspiel des flüssigen Eisens in Öfen, Pfannen und insbesondere beim Gießen mutet den meisten Bürgern archaisch an. So greifen die Redaktionen von Fernsehanstalten auch immer wieder gerne zu einem willkürlich aus dem Archiv gezerrtem Bild oder kurzem Filmbeitrag aus einer Eisengießerei, bisweilen auch eines Stahlwerkes, wobei Bilder mit Flüssigeisen hiervon seltener sind, denn die Hitze dort ist dem Aufenthalt eines Photographen bei weitem abträglicher, weshalb man gerne auf die kleinere Gießerei zurückgreift, wenn es darum geht, einen Bericht zu Themen wie industrielle Emissionen, Kurzarbeit oder Wirtschaftskrise allgemein unter Titeln wie „die Öfen sind aus“ bildlich aufzuwerten. Als wären die wenig mehr als 100 verbliebenen Betriebsstätten des deutschen Eisengießereiwesens noch repräsentativ für die gesamte deutsche Industrielandschaft und Öfen, noch dazu viel Größere, welche ausgehen können, hätten auch anderen Industrien, z. B. die Nahrungsmittel- oder die Zementproduktion, zu bieten. Derart „geimpft“ stellt sich der Gießer selbst gerne als furchtloser Bändiger urzeitlicher Kräfte eines der ältesten Produktionsverfahren vor, was chronologisch betrachtet nicht korrekt ist. Wirklich alt in Bezug auf die Menschheitsgeschichte ist die mechanische Bearbeitung. Der Gebrauch von Werkzeugen ist seit etwa 1 bis 1,5 Millionen Jahren bezeugt. Erstes formgebendes Verfahren unter Veränderung der Werkstoffstruktur durch Einwirkung von Hitze war die Keramik, welche ab etwa 6700 v. u. Z. belegbar wird. Um 5000 v. u. Z. trat dann zum ersten Mal die Formgebung von Werkstücken durch den Phasenübergang fest-flüssig-fest in Erscheinung; der Kupferguss war erfunden. Um das Jahr 2030 v. u. Z. erfolgte der Einstieg in die Verhüttung von Eisen, welches im weiteren Verlauf durch Schmieden in Form gebracht wurde. 600 v. u. Z. wurde das Verlöten von Eisenteilen erfunden und erst um das Jahr 540 v. u. Z. – so wird berichtet – gelang es Theodorus, auf Samos Eisen zu vergießen. Mithin ist der Eisenguss ein relativ junges Verfahren und dies mag die Skepsis erklären, welche erhebliche Bereiche des an Bohren, Fräsen und Fügen gewöhnten Maschinenbaues auch heute noch dem Gießen gegenüber hegt. In einigen Generationen mag sich auch dieses Verhältnis mit zunehmendem gegenseitigem Verständnis geglättet haben.

Die Besonderheit des Gießereiwesens ist daher nicht dessen außerordentliches Alter, sondern die Tatsache, dass der Gießer zur Erzeugung seines Gussstückes mehr als nur den Werkstoff seines Endproduktes benötigt und beherrschen muss. Der Konstrukteur und Erbauer einer Maschine oder Anlage greift selbstverständlich auf verschiedenste Werkstoffe zurück, bearbeitet diese und erarbeitet sich ein Wissen über deren Belastungsfähigkeit, bisweilen hofft er auch, derartige Informationen zugeliefert zu bekommen. Der Keramiker hat sich mit den Eigenschaften seines Tones und der Glasuren zu beschäftigen, die aber beide Bestandteile des Endproduktes sind. Nur der Gießer hatte sich von Anfang an zwingend mit vom Endprodukt, welches in der Produktionsfolge sekundär ist, völlig unterschiedlichen Werkstoffen zu beschäftigen,

ohne die ein verkaufsfähiges Erzeugnis – sein Gussstück – nicht denkbar wäre. Diese primären Werkstoffe des Eisengießereiwesens waren:

- Der Brennstoff Koks (bzw. Holzkohle)
- Das Feuerfestmaterial zur Auskleidung von Öfen und Pfannen, welches nicht nur Hitze ertragen, sondern auch die mechanische und chemische Belastung durch die Schmelze auszuhalten hat
- Der Formstoff, denn jedes Gußstück bedingt eine Form.

Bezüglich der Holzkohle konnten Gießer auf die Erfahrungen anderer, älterer Gewerke wie z. B. den Schmieden oder Hüttenleuten zurückgreifen, zumal Gießer und Hüttenmann anfänglich unter einem Dach zuhause und ursprünglich sogar die Tätigkeiten ein und desselben Personenkreises waren. Kenntnisse bezüglich der Herstellung von Holzkohle waren mithin nicht zwingend erforderlich, da das Produkt vom Berufsstand der Köhler zugeliefert wurde. Kenntnisse bezüglich der Eigenschaften von feuerfesten Materialien und die Fähigkeit, Öfen und Pfannen auszukleiden bzw. zu Mauern waren lange ein unverzichtbarer Bestandteil des Wissens von Gießern, wobei man auch hier stark von den Erfahrungen und Entwicklungen des Hüttenwesens profitierte. Mit zunehmender Spezialisierung verlagerte sich gerade in den vergangenen Jahrzehnten das Wissen um feuerfeste Materialien mehr und mehr auf deren Erzeuger und so ist auch dieser Bereich heute kein Kernbestandteil des Gießereiwesens mehr, denn feuerfeste Komponenten werden einbaufertig zugekauft, Ofenzustellungen von Zulieferern weitgehend ohne Beteiligung der Gießer eingebaut und Pfannen bisweilen schon außerhalb des Gießereibetriebes zugestellt, womit die Gießerei nicht einmal mehr eine eigene Abteilung für die Pfannenwirtschaft hat. So verbleibt als letzter primärer Werkstoff des Gießereiwesens der Formstoff und ist die Formherstellung nach wie vor eine wesentliche Aufgabe im Wirkungskreis eines Eisengießers.

Die Betonung des Eisengusses soll an dieser Stelle keine Missachtung gegenüber den, historisch älteren und damit „erfahreneren“, Metallgießern sein, nur haben sich die Formverfahren des Metallgusses anders und insbesondere beim Leichtmetall Aluminium von Anfang an deutlich unterschiedlich zum Eisenguss entwickelt. Aufgrund der erheblich geringeren Gießtemperatur ist es naheliegend für den Leichtmetallguss, Kokillen, d. h. metallische Dauerformen zumeist aus Eisenwerkstoffen, die vielfach verwendet werden, zu nutzen. Dies bedeutet nicht, dass beim Aluminiumguss keine „verlorenen“, d. h. nur einmalig verwendbaren Formteile, zum Einsatz kommen. Im Gegenteil: Gerade im Motorenguss wird hiervon intensiv Gebrauch gemacht, nur handelt es sich hierbei um die Innenkonturen der Gussstücke, welche in Form von Kernen abgebildet werden und hierfür werden derzeit ausschließlich andere Bindersysteme als Tone verwendet. Es ist daher auch schwierig, eine prozentuale Verteilung der Formverfahren je nach Gusswerkstoff anzugeben, da eine Form aus Außen- und Innenbereich besteht, also der eigentlichen Form, welche den Außenbereich umfasst, und dem Kern, der die Innenkonturen abbildet. Für Aluminiumgusswerkstoffe werden verlorene tongebundene Formen in weniger als 10 % der Fälle zum Einsatz kommen; ein Anwendungsfall für tongebundene Kerne ist nicht bekannt. Im Eisenguss dominiert scheinbar der tongebundene Formstoff die Formherstellung mit etwa $\frac{2}{3}$ der Anwen-

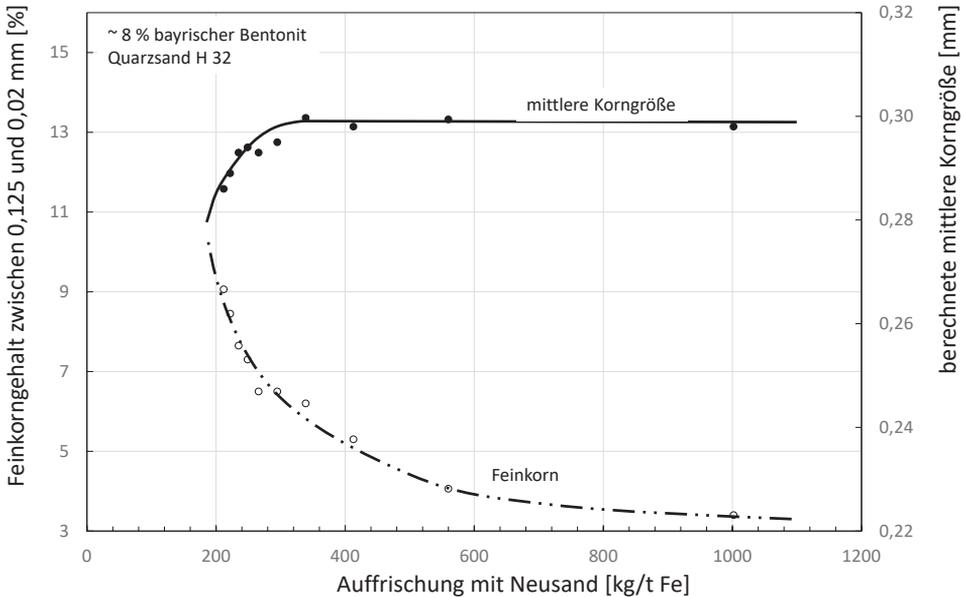


Bild 204: Mit abnehmender Auffrischung verringert sich i. d. R. die mittlere Korngröße eines Formstoffes bei gleichzeitig zunehmendem Feinkornanteil

3.2.2 Abbrand von Bentonit, pyrolysierbaren Kohlenstoffverbindungen & weiteren Zusätzen – die Formstoffbilanz

Beide, sowohl der Bentonit als auch die pyrolysierbaren Kohlenstoffverbindungen verändern sich unter dem Einfluss von Temperatur und diese dringt während des Gießens und der Erstarrung unvermeidbar in die Form ein. Der Wärmetransport vom Guss in die Form vollzieht sich durch verschiedene zum Teil parallel ablaufende Vorgänge und beginnt mit der Wärmestrahlung, die während der Formfüllung einsetzt und Formpartien bereits vor dem Kontakt mit der Schmelze erhitzt. Ist die Formoberfläche durch die Schmelze benetzt, erfolgt der Wärmeübergang durch Leitung im direkten Kontakt und schlussendlich tragen auch die im Formholraum befindlichen Gase zum Wärmetransport durch Konvektion bei. Im weiteren Verlauf sind dann in der Form all diese Mechanismen aktiv und es treten zudem Wärmesenken und -quellen hinzu, wie jene, die sich durch das Verdampfen und spätere Kondensieren des im Formstoff enthaltenen Wassers, das – endotherme – Abspalten des Kristallwassers der Tonminerale und der Verdampfung der flüchtigen Bestandteile der „Glanzkohlenstoffbildner“ und durch Phasenumwandlungen im Formgrundstoff ergeben. Die Vorgänge sind komplex und so ist die spezifische Wärmeleitfähigkeit bentonitgebundener Formen keine Konstante, was zu aufwändigen Untersuchungen führte, da das Wissen über die Wärmeableitung in der Form eine Voraussetzung für die Berechnung der Erstarrungsvorgänge im Guss ist. Für den Formstoff sind diese Vorgänge und die Frage nach der Wärmeleitfähigkeit von untergeordneter Bedeutung, da sich die Veränderung der Formstoffkomponenten in bestimmten Temperaturbereichen vollziehen und es hierbei nicht von Interesse

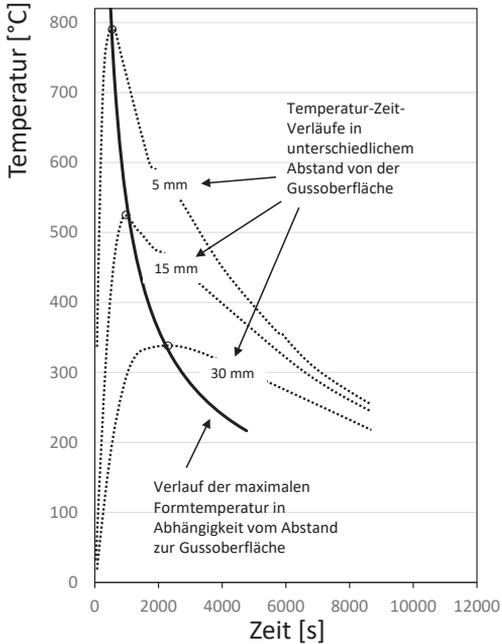


Bild 205: Der Verlauf der maximalen Temperatur in einer (harzgebundenen) Form ergibt sich aus den Scheitelpunkten der in verschiedenen Abständen von der Gussoberfläche aufgenommenen zeitabhängigen Temperaturverläufe (Daten aus Wolff, Engler, Schrey & Wolf)

bestandteile Quarz, Bentonit, Kohlenstaub und Wasser keine guten Wärmeleiter sind. D. h., der Wärmetransport muss sich andere Wege als die der Leitung, mithin durch Strahlung und Konvektion, suchen, wobei auch Letztere keine idealen Bedingungen vorfinden. Der Formstoff hat somit überwiegend isolierende Eigenschaften und so verwundert es nicht, dass der Verlauf der maximalen Formstofftemperatur bei verschiedenen Untersuchungen sehr ähnlich ist, die Temperatur der Schmelze einen vernachlässigbaren Einfluss zu haben scheint und nur die Steigerung der absoluten Wärmemenge – also ein höheres Gussgewicht – die Eindringtiefe der Temperatur signifikant erhöht. Der Frage, welche Parameter den Wärmetransport und damit die maximale Formtemperatur beeinflussen, sind Sanders & Doelman in einer umfangreichen Studie nachgegangen. Neben der Wärmemenge wäre zu vermuten, dass auch die Formstoffzusammensetzung einen erheblichen Einfluss haben sollte. Deshalb überrascht es, dass weder durch Verringern oder Vergrößern des Porenvolumens (Ersteres durch den Zusatz von Quarzmehl, Letzteres durch Verringern der Verdichtungsarbeit, nachgewiesen durch eine um 20 % geringere Formhärte) noch durch gravierende Veränderung des Wassergehaltes (0 bis 3 %) und auch nicht durch Kohlenstaubzusätze die maximale Formtemperatur, welche durch ein und dasselbe Gussstück hervorgerufen relevant beeinflusst wird (**Bild 206**).

ist, wie und wann diese Temperaturen erreicht werden, sondern nur ob und in welchem Umfang. D. h., um von der Temperaturbelastung der Form Rückschlüsse auf den Verschleiß einzelner Formstoffkomponenten zu ziehen, ist es nicht notwendig, den Verlauf der Temperatur in Abhängigkeit von der Zeit zu kennen, sondern nur den Verlauf der höchsten Temperatur mit zunehmendem Abstand vom Gussstück. Diesen erhält man durch die Verbindung der Scheitelpunkte der zeitlichen Temperaturverläufe, welche in verschiedenen Abständen vom Guss aufgenommen wurden (**Bild 205**).

Je weiter die Entfernung von der Gussoberfläche ist, umso deutlicher nimmt die maximale Formtemperatur ab und dass diese Entwicklung sehr steil abwärts verläuft, erklärt sich aus dem Umstand, dass zum einen Formen ein Porenvolumen von etwa 30 bis 40 % aufweisen, das mit gut isolierender Luft gefüllt ist und zum anderen auch die übrigen Formstoff-

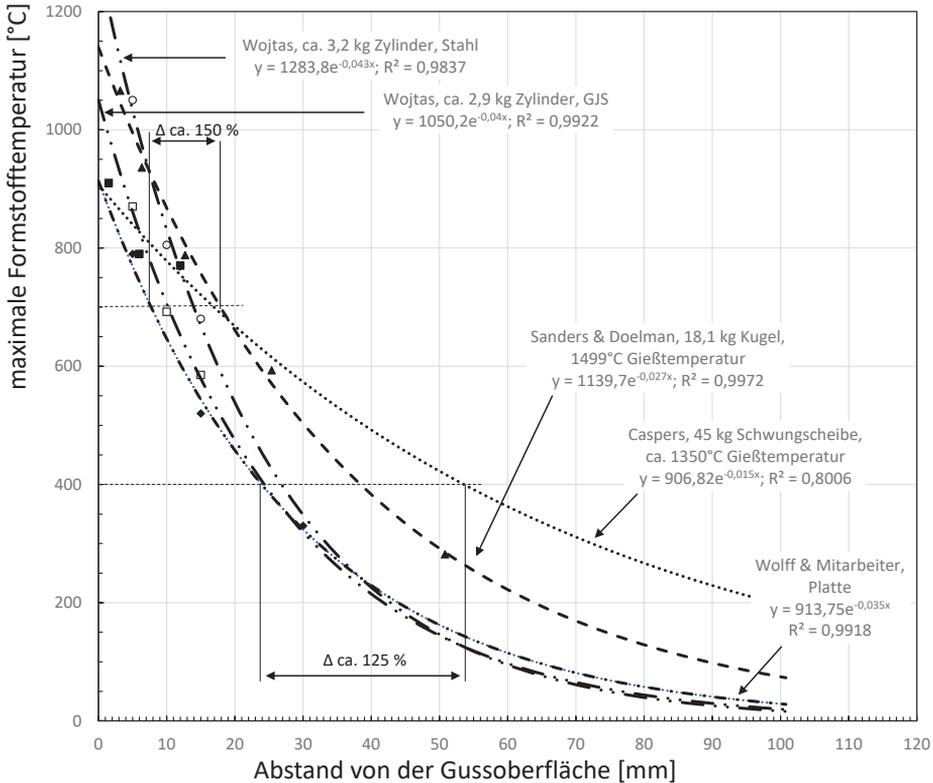


Bild 206: Aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit des Formstoffes nimmt die Temperaturbelastung in tieferen Formschichten schnell ab; für die Belastung wesentlich bedeutsamer als die Gießtemperatur ist das Gussgewicht und mithin die anliegende Wärmemenge; diese Erkenntnis bestätigen auch weitere, der Übersichtlichkeit wegen hier nicht mehr dargestellte, Untersuchungen z. B. von Löblich, Siefer & Orths

Die Schar der Kurven liegt in dem für den Verschleiß der Formstoffkomponenten vermutlich entscheidenden Temperaturbereich von 400 bis 700 °C dicht zusammen und es ergeben sich Unterschiede von nur bis zu etwa 20 %, wohingegen der Einfluss des Gussgewichts in demselben Temperaturbereich zu Abweichungen von über 100 % führte (**Bild 207**). Für die mathematische Erfassung der Abbrandvorgänge in einer Form bleibt somit erfreulicherweise festzustellen, dass deren Zusammensetzung in praxisüblichen Bereichen deren Temperaturbelastung kaum beeinflusst und somit vernachlässigt werden kann.

Ein vergleichbares Ergebnis erhält man bei der Betrachtung unterschiedlicher Formgrundstoffe. Diese unterscheiden sich sehr wohl bezüglich ihrer Wärmekapazität und ihrer Wärmeleitfähigkeit und die Unterschiede zwischen der Höchsttemperatur an der Formoberfläche der aus diesen erzeugten Formen belegt dies auch, nur in der Tiefe der Form gleichen sich die Temperaturverläufe an und es ergeben sich auch hier Unterschiede von nur etwa 25 % zwischen dem feinen Quarzsand einerseits und

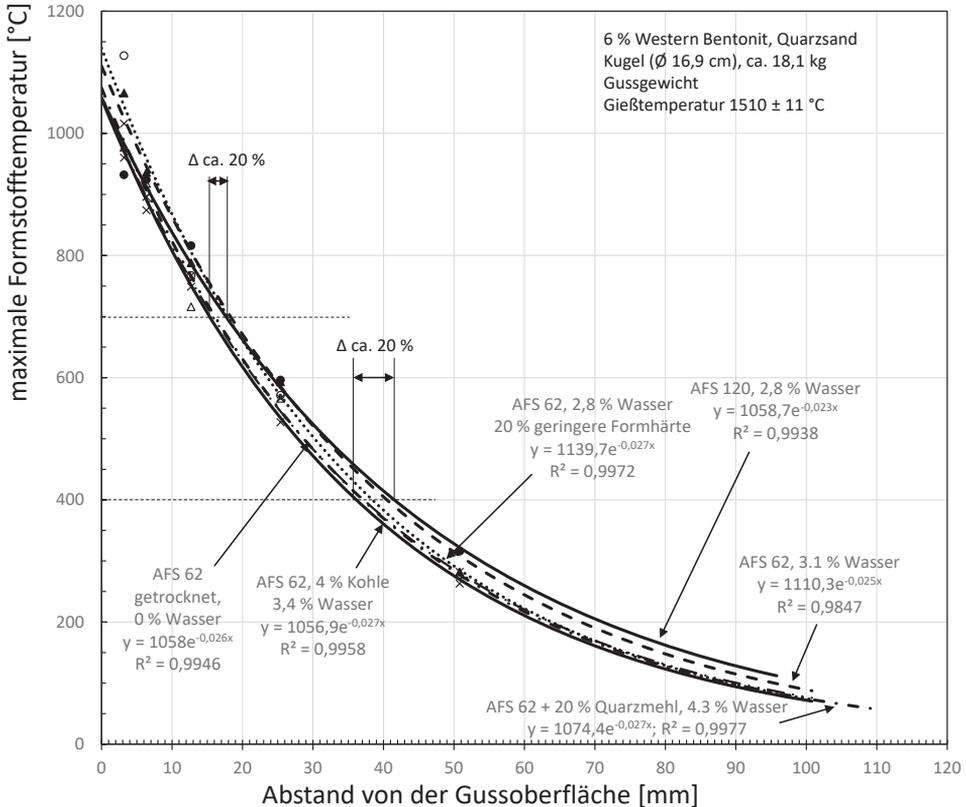


Bild 207: Die Abhängigkeit der maximalen Formtemperatur von der Zusammensetzung des Formstoffes ist marginal (Daten aus Sanders & Doelman)

dem etwas größeren Olivin andererseits. D. h. auch verschiedene Formgrundstoffe und insbesondere kleinere Mengen, die über Kernreste dem bentonitgebundenen Formstoff zulaufen, dürfen bezüglich ihres Einflusses auf das Abbrandverhalten der Formstoffzusätze vernachlässigt werden (**Bild 208**).

Bereits angedeutet, aber durch weitere Untersuchungen besser belegt, ist ebenfalls, dass auch die Gießtemperatur nur eine nachrangige Bedeutung für das Abbrandverhalten hat. Ein Unterschied von 140 °C kann kaum im Verlauf der maximalen Formstofftemperatur zwischen 700 und 400 °C nachgewiesen werden. Erst mit anderen Werkstoffen wie z. B. Bronze und demzufolge weitaus geringeren Gießtemperaturen ($\Delta = 375$ °C) ergibt sich eine Differenz, welche signifikant, aber deutlich geringer als der Einfluss des Gussgewichtes ist (**Bild 209**). Somit sind Gießtemperatur, Formstoffzusammensetzung und die Art des Formgrundstoffes allesamt Einflussgrößen von minderer Bedeutung für die Erfassung des Abbrandverhaltens verschiedener Formstoffkomponenten.

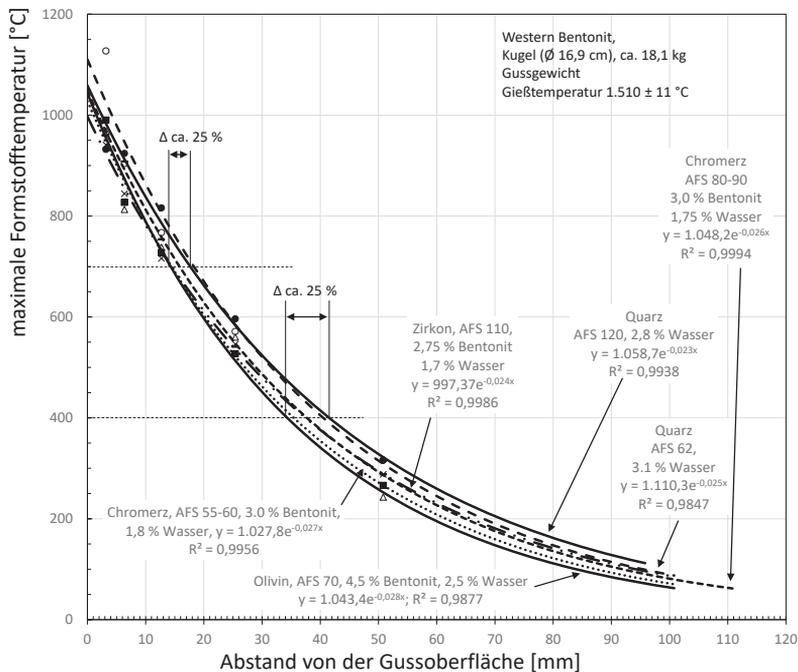


Bild 208: Auch der Einfluss von Formgrundstoffen mit unterschiedlicher Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit ist nicht entscheidend (Daten aus Sanders & Doelman)

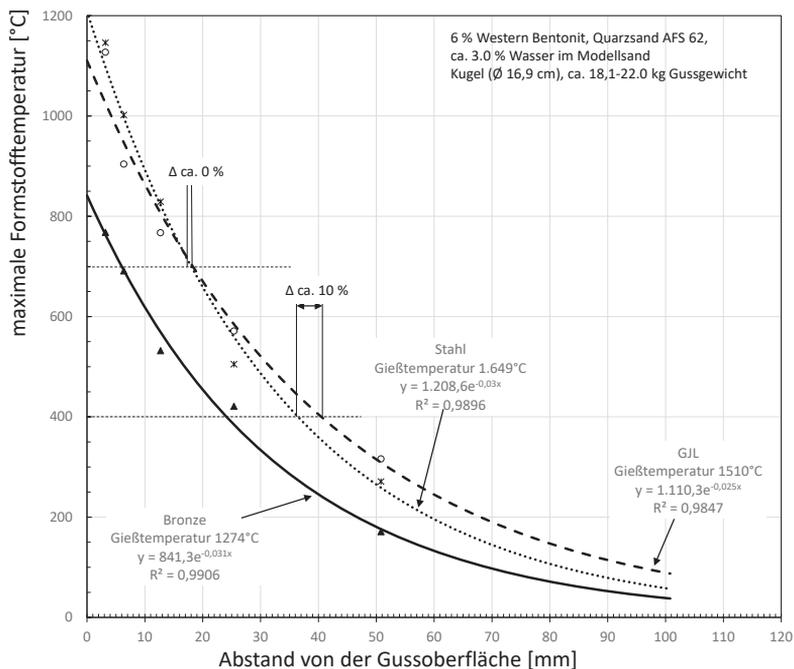


Bild 209: Ein Unterschied von 140 °C in der Gießtemperatur hat keinen nennenswerten Einfluss auf den räumlichen Verlauf der maximalen Formstofftemperatur zwischen 400 und 700 °C; erst bei deutliche tieferen Gießtemperaturen, wie sie z. B. bei Bronzeguss auftreten, verringert sich die Temperaturbelastung der Form (Daten aus Sanders & Doelman)

5.2 Bildsamkeit, formgerechter Zustand und der Wasserbedarf

Dass Wasser ebenso unverzichtbarer Bestandteil des Bindersystems wie der Bindeton selbst ist, zieht sich dem minoischen Faden gleich von den ersten Seiten an durch dieses Buch. Die Wechselwirkungen zwischen Wasser und Tonmineralien sind ausführlich in Kapitel 2 beschrieben. Nur bezüglich des exakten Verhältnisses zwischen Ton und Wasser im Bindersystem blieben die Aussagen verhältnismäßig vage bzw. wurde dieses Verhältnis mit dem formgerechten Zustand als ideal beschrieben, unter Vermeidung genauere Angaben zum mathematisch greifbaren Masseverhältnis zwischen beiden Komponenten. Der Grund hierfür ist, dass dieses Verhältnis nicht nur von der Beschaffenheit des Bentonits bzw. dessen mineralogischer Zusammensetzung abhängt, sondern auch vom Anwendungsfall, d. h., ein Standardrezept, das ggf. je nach Witterungseinflüssen zu variieren wäre wie im Falle chemischer Reaktionspartner, existiert nicht.

Zum besseren Verständnis dieses Umstandes ist es hilfreich, die Veränderungen eines Bentonits mit zunehmendem Wassergehalt – unter der Voraussetzung, dass dieses homogen verteilt ist, was (wie die Diskussion der Aufbereitung gezeigt hat) keinesfalls selbstverständlich, an dieser Stelle aber als Grundbedingung zu postulieren ist – zu betrachten. Ohne Feuchte ist Bentonit wie andere Tone auch ein Gestein, das verhältnismäßig weich im Mohs'schem Sinne (Ritzhärte nach F. Mohs), aber ohne jede Plastizität ist, weshalb nur getrockneter Ton als Baustoff bereits beachtliche Leistungen bis hin zur Stabilisierung mehrstöckiger Bauwerke in trockenen Regionen erbringen kann. Erhöht sich die Feuchte, wird der Ton ganz allmählich plastisch, ohne allerdings bereits eine Klebefähigkeit zu entwickeln, die ihn als Binder geeignet erscheinen ließe. Dies setzt erst allmählich ein und steigert sich mit weiter zunehmendem Wassergehalt. Binefähigkeit ist hierbei ein verhältnismäßig subjektives Empfinden, da auch im trockenen Zustand die Kristalle der Tonminerale durch dieselben elektrischen Wechselwirkungen aneinander gebunden werden, die auch später zwischen diesen und dem Wasser wirken. Nur ist eine Umorientierung dieser Kräfte im trockenen Zustand vergleichsweise schwierig. D. h., ist ein Bruch in einem trockenen Brocken Ton erfolgt, verheilt dieser ebenso wenig wie ein Riss in einem metallischen Werkstück, obwohl in beiden Fällen die Neigung des Werkstoffes vorhanden ist, sowohl die Rissfläche zu verringern als auch die energetischen Voraussetzungen – von der Waals-Bindungen einerseits, metallische andererseits – hierfür gegeben sind. Feuchte erleichtert die Übertragung der elektrischen Wechselwirkungen im Ton eines Werkstückes und so ist bereits bei geringer Feuchte unter Beaufschlagung durch einen hohen Druck wieder eine Bindung zwischen den Bruchflächen möglich. Dieses Verhalten nutzt zum einen die keramische Industrie, um mit möglichst geringer Feuchte und daher geringem Schwindungsrisiko Bauteile mit hinreichender „Grünfestigkeit“ für den anschließenden Brand unter hohen Drücken zu pressen und zum anderen auch die Feuerfestindustrie zur Herstellung haltbarer Steine zur Auskleidung metallurgischer Gefäße wie z. B. Öfen aller Art (**Bild 306**).

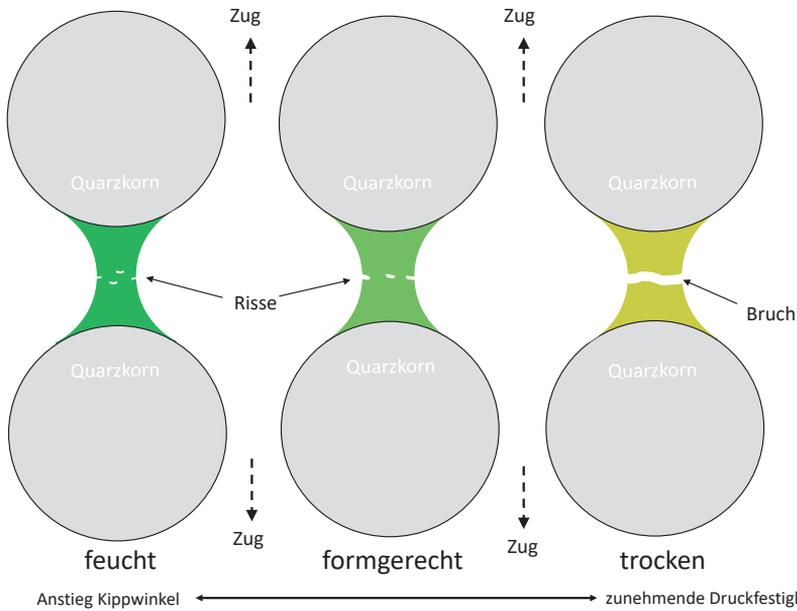


Bild 306: Mit zunehmendem Wassergehalt im Bindersystem wird dieses plastischer; dies führt bei geringen Feuchtegehalten zur Binefähigkeit, mit weiter steigendem Wassergehalt tritt die erzielbare Festigkeit zu Gunsten einer immer stärkeren Klebrigkeit in den Hintergrund, bis sich auch diese mit mehr Wasser samt dem Binder verflüssigt

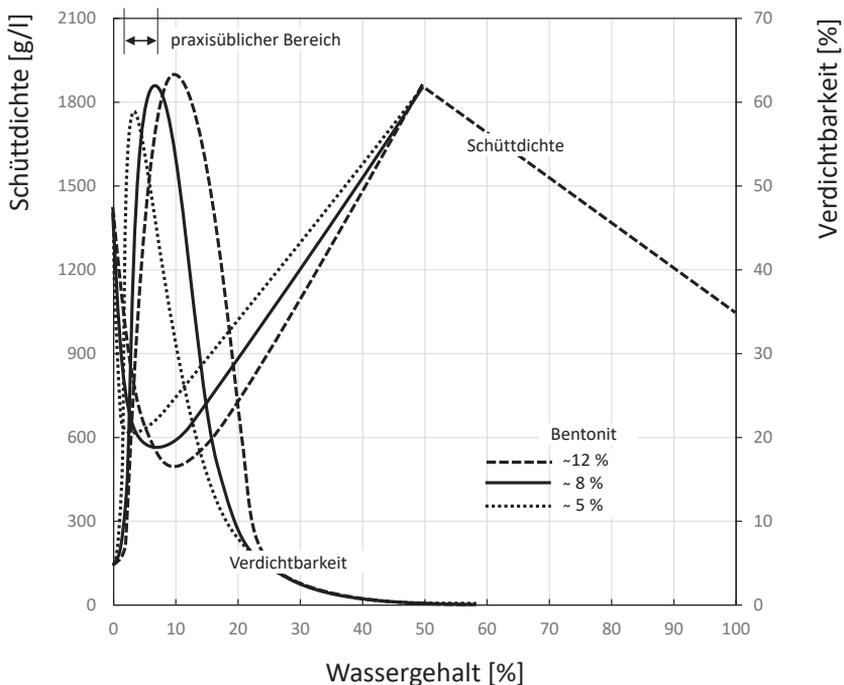


Bild 307: Berücksichtigt man die gesamte Breite des quasibinären Schnittes im System Bentonit & Formgrundstoff – Wasser, so ist einfach zu erkennen, dass die scheinbar lineare Abhängigkeit zwischen Schüttdichte bzw. Verdichtbarkeit und Wassergehalt nur im engen praxisrelevanten Formstoffbereich gilt

Die Verdichtungsleistung bei der Herstellung bentonitgebundener Formen ist nicht ausreichend, um sich in diesem trockenen Bereich zu bewegen und es wäre zudem in diesem Zustand nahezu unmöglich, den Binder dauerhaft, d. h. unter Vermeidung von Segregation während des Transports und der Formherstellung, homogen im Formgrundstoff zu verteilen. Erst wenn mit weiter steigender Feuchte der Binder ohne nennenswerten Druck von außen beginnt, an Oberflächen zu haften, ist der Punkt erreicht, an dem das Bindersystem als Formstoffbinder geeignet ist. Von diesem Punkt an nimmt die Klebrigkeit mit steigendem Wassergehalt stetig zu und dies wirkt sich bereits auf den lose geschütteten Formstoff aus, dessen Dichte aufgrund der zunehmenden Aktivität des Bindersystems und den sich daraus ohne sonderliche Verdichtungsleistung ergebenden Binderbrücken stetig abnimmt. Deshalb ist die Schüttdichte bzw. das Schüttgewicht ein gutes Maß für den Feuchtegehalt bzw. den formbaren Zustand eines tongebundenen Formstoffes.

Quer zur Hauptaussage der Schüttdichte und damit diese verzerrend wirkt das spezifische Gewicht des Formgrundstoffes, welches nicht nur vom ursprünglich als Formgrundstoff genutzten Material (zumeist Quarz), sondern auch von der Anreicherung der Abbrandprodukte im Formstoff abhängig ist. Unabhängig hiervon ist der Weg, um den eine lose Formstoffschüttung bei immer gleichem Druck komprimiert werden kann, woraus sich die Prüfgröße Verdichtbarkeit ergibt. Diese ist aber ihrerseits wiederum von der Wirkung verdichtungsfördernder oder hemmender Formstoffbestandteile (z. B. Grafit) abhängig, weshalb weder das Schüttgewicht noch die Verdichtbarkeit als ideale Prüfgröße zu betrachten sind, aber beide eignen sich sehr gut zur Charakterisierung der Bindefähigkeit des Bindersystems. Im praxisüblichen Bereich nimmt das Schüttgewicht nahezu linear mit zunehmendem Wassergehalt ab und ebenso nahezu linear steigt die komplementäre Prüfgröße Verdichtbarkeit –, die den Weg angibt, um den eine Schüttung komprimiert werden kann – mit steigender Feuchte an.

Diese Linearität im „normalen“ praxisüblichen Bereich darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass der Verlauf beider Kenngrößen über die gesamte Bandbreite aller denkbaren Wassergehalte keinesfalls linear, sondern von engen Kurven und Knicken geprägt ist. Dabei sind für die Praxis der obere Umkehrpunkt der Verdichtbarkeit bzw. der untere der Schüttdichte bisweilen von Bedeutung, denn diese Punkte sind auch von der gesamten Bindermenge abhängig und liegen umso näher und damit gefährdender für einen Ausbruch aus dem linearen Steuerungszusammenhang an praxisüblichen Bereichen, je geringer die Bindermenge ist. Mit zunehmendem Wassergehalt steigt die Bindefähigkeit des Bentonits an, das Bindersystem geht aber ab einen gewissen Zeitpunkt von einem pastösen in einen breiigen Zustand über. Die Folge ist eine weiter steigende Klebrigkeit, aber eine abnehmende Stabilität, weshalb allein der Druck der Schüttsäule ausreicht, den Formstoff zu verdichten und damit der Umkehrpunkt von Schüttgewicht (unterer) bzw. Verdichtbarkeit (oberer) erreicht ist. Im weiteren Verlauf nimmt die Sättigung des Binders mit Wasser zu und geht in eine Sättigung des gesamten Haufwerks über. Sind alle Poren des Haufwerks mit Wasser gefüllt, erreicht die Verdichtbarkeit den Nullpunkt und das Schüttgewicht sein Maximum. Letzteres fällt von dort mit weiter steigendem Wassergehalt bis auf die Dichte von reinem Wasser ab. All dies sind Erscheinungen weit ab von der Gießereipraxis und daher nur mehr von theoretischem Interesse (**Bild 307**).

Von praktischer Bedeutung ist allerdings, dass sowohl Schüttdichte als auch Verdichtbarkeit und der für diese benötigte Feuchtegehalt von der Zusammensetzung des Formstoffes abhängig sind. Das lineare Verhältnis beider Größen zueinander als auch zum Wassergehalt ist somit variabel, was sich in einer unterschiedlichen Steigung bemerkbar macht und eine Feuchtesteuerung erschwert (**Bild 308**). Besser als eine Steuerung, die sich alleine auf den Wassergehalt stützt, ist jene, die auf einen dieser Kennwerte Bezug nimmt allemal, es gilt nur langfristige Veränderungen in der Formstoffzusammensetzung zu berücksichtigen und kurzfristige zu vermeiden. Damit ist die Frage, welcher Feuchtegehalt der richtige, d. h. formgerechte, ist nach wie vor nicht beantwortet, die Klärung dieser Frage steht aber unmittelbar bevor. Denn es ist abhängig vom Former bzw. dem Formverfahren, was durch diesen bzw. dieses als formgerecht beurteilt wird (**Bild 309**). Steht eine hohe Bildsamkeit im Vordergrund, d. h. muss die Form enge Konturen des Modells mit hoher Präzision abbilden und sind dabei scharfe Kanten, die aus Partien mit verhältnismäßig wenigen Formgrundstoffkörnern bestehen erforderlich, so stellt dies höchste Anforderungen an die Plastizität, aber auch an Abrieb und Erosionsresistenz (**Bild 310**) der Binderbrücken in der Form, dass nur bei verhältnismäßig hohen Feuchtegehalten bzw. Schüttdichten um 700 g/l oder dementsprechend Verdichtbarkeiten zwischen 50 und 55 % zu erreichen sind.

Dies sind Anforderungen, die klassischerweise der Handformer an seinen Formwerkstoff stellt, aber auch im industriellen Maßstab bisweilen benötigt werden, wenn insbesondere kleinere Gussstücke mit größtmöglicher Konturenschärfe erzeugt werden sollen. Der Nachteil dieser Arbeitsweise ist eine schlechte Fließfähigkeit, die in eine schlechte „Verdichtbarkeit“ des Formstoffes mündet, was im Widerspruch zur Prüfgröße Verdichtbarkeit steht und erneut zeigt, dass die Auswahl der Begriffe und Bezeichnungen im Gießereiwesen leider nicht in allen Fällen der Verständlichkeit vollkommen gerecht wird.

In diesem Falle bedeutet ein verschlechtertes Fließverhalten, dass der Formstoff nur schwer um das Modell herum zu verdichten ist und damit die an sich schon weniger stabilen,

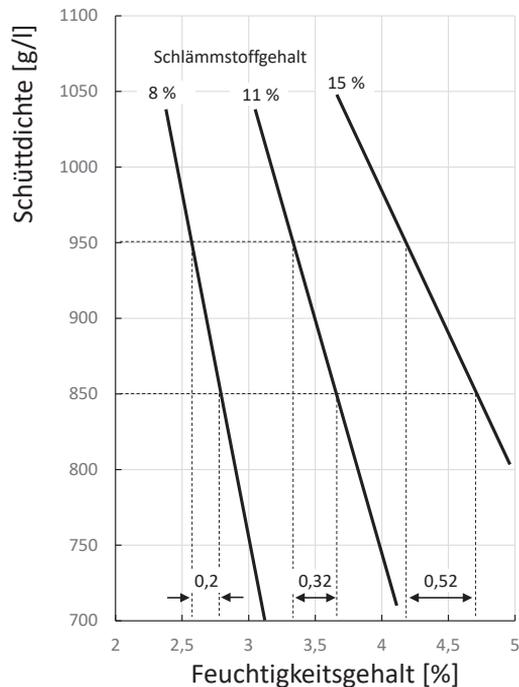


Bild 308: Mit zunehmendem Bindergehalt, d. h. unabhängig davon, ob dieser nur aus Bentonit oder auch anderen Komponenten wie z. B. Abbrandprodukten besteht, steigt der Wasserbedarf eines Formstoffes; um eine gleichbleibende Schüttdichte zu erzielen, wird die Empfindlichkeit des Bindersystems für Feuchteschwankungen, die sich unmittelbar auf die Formbarkeit auswirken, aber auch geringer (aus Levelink, Berg & Frank).

Abschließend zu ergänzen ist, dass Lunker und Mikroporositäten wohl in gleichem Maße ein Volumendefizit im Guss bezeichnen. Deren Unterschied besteht aber darin, dass Mikroporositäten stets gegen Erstarrungsende auftreten, wenn sich das Volumendefizit zwischen den bereits erstarrten Bereichen der Matrix, also interdendritisch, ergibt, wohingegen (Makro-) Lunker zu einem erheblich früheren Zeitpunkt auftreten und mit fortlaufender Erstarrung wachsend zu größeren Löchern führen. Makrolunker sind deshalb durch eine geeignete Speisungstechnik zu vermeiden, Mikroporosität dementsgegen im Wesentlichen nur durch metallurgische Maßnahmen wie z. B. einer auf Legierung und auf das Gussstück abgestimmten Impfung und dem daraufhin angepassten (geringeren) Gehalt an fremdcarbiddbildenden Elementen und dies gelingt in beiden Fällen nur, wenn die Form hinreichend stabil dem bei der Erstarrung auftretendem Grafitisierungsdruck ausreichend kontra bietet bzw. letzterer ggf. in einen Speiser abgeleitet wird. Ein vertikaler Schnitt durch einen Speiser verschafft zudem Klarheit darüber, in welcher Art und Weise dieser wirksam wurde. Ist dieser nur mehr teilweise gefüllt, d. h. zum Teil leer gefallen bzw. gesaugt, wurde das in diesem enthaltene Volumen tatsächlich zur Speisung benötigt. Ist der Speiser komplett gefüllt und frei von Lunkern oder Porositäten, muss dies nicht zwangsläufig ein Hinweis darauf sein, dass der Speiser überflüssig war, da dieser nach wie vor als Ausgleichsgefäß für den Grafitisierungsdruck gedient haben mag und so den Druck von der Form genommen und ein Treiben des Gusses verhindert haben kann. Ist allerdings der Speiser lunkerfrei und das Gussstück dennoch porös, sollte dies der gegebene Anlass sein, die Anschnitt- und Speisungstechnik des Modells noch einmal von Grund auf zu überdenken.

6.5 Penetrationen

Penetrationen sind die vermutlich größte und ausschussträchtigeste Gruppe der in Zusammenhang mit bentonitgebundenen Formen auftretenden Gussfehler. Es ist die Schmelze, die in den Porenraum der unbeschädigten Form eindringt, weshalb es sich nicht um einen ausschließlich form- bzw. formstoffbedingten Fehler handelt, da auch die Eigenschaften der Schmelze dieses Eindringen in erheblichem Maße mitbestimmen.

Die vier Arten der Penetration (**Bild 380**) sind die statische bzw. dynamische Penetration, die Sekundärpenetration, die Explosionspenetration und die Vererzung, die jeweils ganz charakteristische Merkmale aufweisen und sich durch ihre Lage und Ausbreitung voneinander unterscheiden und deshalb verhältnismäßig einfach zu identifizieren sind.

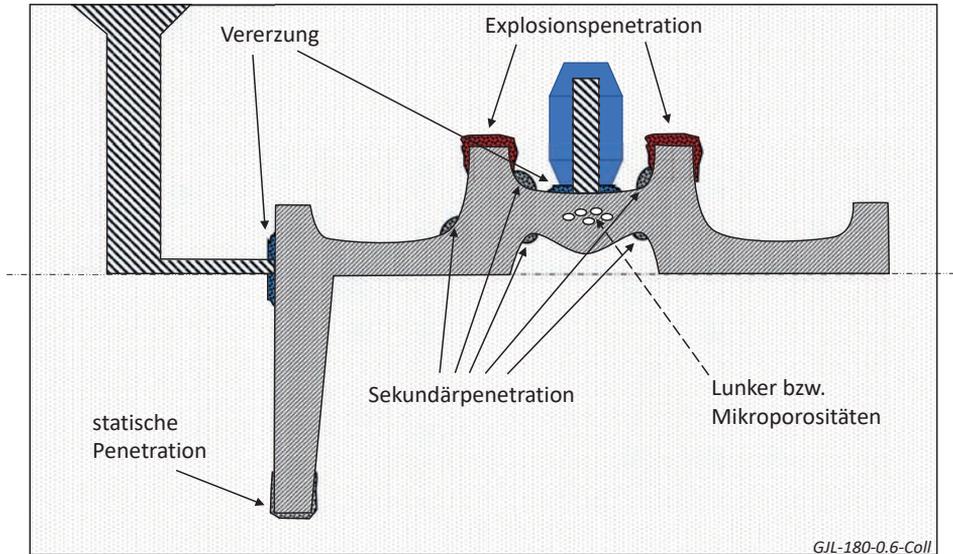


Bild 380: Die vier Arten der Penetration samt des Komplementär der Sekundärpenetration, dem Lunker bzw. der Mikroporosität

6.5.1 Sekundärpenetration

Jerzina berichtete 1960 in einem der vermutlich kürzesten Fachaufsätze, die je in der Giesserei publiziert wurden, von einem kompakten nur etwa 1 kg schweren Gussteil aus GJL-260, welches häufig Porositäten aufwies, die auch durch einen aufgesetzten Speiser nicht gänzlich vermieden werden konnten. Mit dem Einsatz dieses Speisers traten aber gleichzeitig so bezeichnete „Schwitzkugeln“ an einem in das Gussteil hineinragenden Formballen auf. Die Lunker als auch die „Schwitzkugeln“ verschwanden nach Entfernen des Speisers, dem Anheben des Sättigungsgrades auf 1,05 bis 1,07 und dem Anfügen einer Massel an den am weitesten vom Einguss entfernten Gussbereich (dies, um das kälteste Eisen aufzunehmen), sofern verhältnismäßig heiß gegossen wurde. Porositäten waren dann nur noch zu beobachten, wenn der Si-Gehalt bei konstantem Sättigungsgrad auf etwa 0,3 % über den neuen Zielwert hinaus angestiegen war (d. h. der MEG abgesenkt wurde). Unabhängig davon, welche der gewählten Maßnahmen nun schlussendlich für den Erfolg verantwortlich war, ist dies mit Sicherheit einer der ersten Berichte, welcher einen Zusammenhang zwischen Schwitzkugeln und Lunker hergestellt hat.

Levelink & Julien haben sich dann 1973 eingehender mit dem Phänomen des schwitzenden Eisens beschäftigt und konnten nachweisen, dass es sich um ein Problem handelt, welches durch die erstarrungsbedingte Expansion des Graphits verursacht wird, überwiegend bei GJL auftritt und daher im Wesentlichen metallurgisch zu beheben ist, weil es sich um einen erstarrungsbedingten inversen Lunker handelt. Die Fehlererscheinung an sich war auch in den 1960er-Jahren keine Neuheit, das Fehlerbild änderte sich nur mit dem verstärkten Einsatz höher verdichtender Forman-

lagen. Treibstellen sind als Fehlerbild seit langem im Gießereiwesen bekannt und so wurden in der Vergangenheit in Verkennung der wahren Ursache expansionsbedingte nicht von formbedingten unterschieden und zusammen Letzteren zugeordnet. Da das Treiben von Gussstücken bei insgesamt weichen Formen zudem flächig – d. h. optisch nicht nachweisbar – erfolgt, bestand auch nicht die Notwendigkeit, sich näher mit Formwandbewegungen im Toleranzbereich zu beschäftigen und die Verknüpfung mit den bisweilen gleichzeitig auftretenden Lunckererscheinungen erfolgte wiederum nur in Bezug auf die fehlende Härte der Form. Erst mit der steigenden Verdichtungsleistung von Formanlagen änderte sich das Fehlerbild weg von einem flächigen unmerklichen Treiben des Gussstückes hin zu einer tiefer in den Formstoff eindringenden Penetration. Die härtere Form erschwert das Treiben des Gussstückes, da der Grafitisierungsdruck nun nicht nur die bereits erstarrte Randschale des Gussstückes verformen, sondern zudem die stabilere Formwand bewegen muss. Deshalb erfolgt ab einer gewissen Formhärte der Druckabbau, in dem die Schmelze die kaum erstarrte Randzone eines Gussstückes durchbricht und dann verhältnismäßig tief in den Formstoff gepresst wird. Die Folge ist eine punktuelle bis zeilenförmige Zone, in der Formstoff mit Schmelze infiltriert wird und aufgrund des hohen Metallanteiles einen äußerst harten und kompakten Ansatz bildet (**Bild 381**, **Bild 382**).

Da der Durchbruch der Schmelze stets an der dünnsten Stelle der Gusshaut – die der noch nicht erstarrten Kernzone eines Gussteiles nächstgelegenen ist – erfolgt, ist es ein typisches Merkmal von Sekundärpenetrationen an innenliegenden Kanten oder Ballen – die durch den diesen umgebenden Guss am stärksten erhitzt werden – in unmittelbarer Nachbarschaft von Knotenpunkten und sonstigen Masseanhäufungen des Gussstückes aufzutreten. Dies, kombiniert mit der Infiltration des Formstoffes, führt dazu, dass Sekundärpenetrationen sehr schwer zu entfernen sind und



Bild 381: Noch verdeckte Sekundärpenetration, d. h. getriebener Guss, aber aufgrund der Lage sicher nicht wegen mangelhafter Formverdichtung, sondern bedingt durch den Grafitisierungsdruck, der eine am heißen Innenballen bis zum Entstehen des Fehlers nur unzureichend erstarrte und daher noch nachgiebige Gusshaut aufgewölbt hat



Bild 382: Sekundärpenetrationen können auch an kleinen Gussstücken auftreten, sind stets an heißen Kanten und bevorzugt Ecken zu finden...

gerade bei kleinen Serienteilen Sekundärpenetrationen unmittelbar zu Ausschuss führen, da die Kosten der Nacharbeit sehr schnell den Wert des Gussstückes überschreiten, sofern der Kunde penetrierten Guss nicht akzeptieren mag. Die tiefer gehenden Untersuchungen von Levelink & Julien bestätigen den metallurgischen Hintergrund der Fehlererscheinung. So war durch eine (rein experimentelle – d. h. nicht als Lösungsvorschlag zu begreifende) Zugabe von 1 % Molybdän die Penetration am Versuchsgussstück nahezu völlig zu vermeiden (senken des MEG durch Carbidbildung). Der Fehler tritt bei GJS in wesentlich schwächerer Form auf als bei naheutektischem GJL (dies wird mit der endogen breiartigen Erstarrung des GJS begründet, die den Expansionsdruck des Grafitis eher durch flächiges Treiben der weicheren Randschale des Gussstückes als durch punktuelle Penetration am Guss abbauen soll, sicher wird aber die bei der eutektischen Erstarrung des GJS dem Grafit vorlaufende Austenitkristallisation den Druck im Erstarrungsbereich wesentlich moderater beeinflussen als es im umgekehrten Falle beim GJL der Fall ist) und nimmt bei Letzterem mit zunehmender Entfernung von der eutektischen Zusammensetzung ab (weniger MEG) (**Bild 383, Bild 384**).

Bemerkenswert ist der Einfluss von Ti, welches bei 0,1 % Zugabe die Penetrationstiefe von GJL deutlich senkte und auch der Umstand, dass durch Impfung die Penetrationsneigung in Lunkerung verkehrt werden konnte. Ti ist aufgrund der schmelzpunktsenkenden Eigenschaft seines Oxids als Anti-Impfmittel bekannt, da es Keime anderer Oxide verflüssigt und in die Schlacke überführt und ein vergleichbarer Effekt ergibt sich durch überimpfen (viele und vor allem verschiedene Oxyd-Sulfid-Ausscheidungen koagulieren in der Schmelze und führen zu Partikeln, die insbesondere im flüssigen = verschlacktem Zustand nicht mehr als Keim wirksam sind, d. h., die Keimzahl sinkt),



Bild 383: ... und lassen sich, da diese überwiegend aus Metall bestehen und fest mit dem Gussstück verbunden sind, nur mit hohem Aufwand entfernen, an der Unterseite desselben Bereiches des hier abgebildeten Gusssegmentes befindet sich eine ebensolche Sekundärpenetration (GJL aus Choindez)

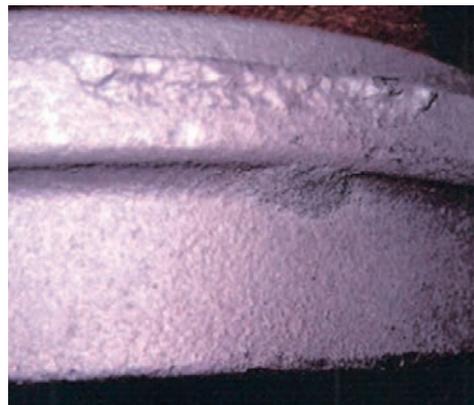


Bild 384: Typisches Beispiel einer Sekundärpenetration in unmittelbarer Nähe zu einem Anschnitt an einer heißen – weil nach innen gerichtet und vom Gussstück umgeben – Formkante (Aufnahme H. Ohlmes)

was insbesondere bei GJL leicht möglich ist und aufgrund einer dann zunehmenden Unterkühlung zu mehr Primäraustenit und folglich Lunker führt. Der Keimzustand der Levelinkschen Ausgangsschmelze wurde nicht ermittelt, darf aber als gut angenommen werden und so sind die berichteten Resultate höchst plausibel. Die stärkste Wirkung erzielte eine verhältnismäßig geringe Phosphorzugabe und dies sowohl bei GJL als auch GJS (**Bild 385**) wiewohl sich bei Letzterem die Zugabe von P i. d. R. verbietet, da Phosphor hier andere Werkstoffeigenschaften wie die der Kaltzähigkeit dramatisch schädigt.

Wenn man die gezielte Herstellung von weichen und damit zum flächigen Treiben neigenden Formen als Abhilfemaßnahme ausschließt

und auch metallurgisch keine Möglichkeit der Abhilfe (z. B. durch Senken von C und gleichzeitigem Anheben von Si, d. h. konstantem Sättigungsgrad, aber geringerem MEG) sieht, bliebe nur noch der Einsatz eines Speisers, der als Druck- bzw. Volumenausgleichsreservoir das Entstehen von Sekundärpenetrationen verhindern kann, wobei es sich als schwierig erweisen wird, den Speiser penetrationsvermeidungsgerecht zu positionieren.

Zur Entstehungsgeschichte der heute anerkannten Bezeichnung „Sekundärpenetration“ für diesen Fehlertyp ist anzumerken, dass die ursprünglich gewählte Beschreibung als „Schwitzkugel“ bzw. „Schwitzperle“ in der im deutschen Schrifttum veröffentlichten Hauptarbeit von Levelink & Julien zur „Ausschwitzpenetration“ mutierte, was anschaulich den Vorgang beschreibt, aber politisch unsensibel und daher bald eliminiert und zur Sekundärpenetration umgetauft wurde. Sekundär deshalb, weil die beiden anderen als Penetration bezeichneten Arten primär, d. h. während des Gießvorganges, auftreten und nur die sekundäre erst später bei der fortschreitenden Erstarrung des Gussstückes entsteht.

6.5.2 Statische & dynamische Penetration

Die bekannteste und verständlichste Art der Penetration ist die statische samt ihrer Variante der dynamischen. Aufgrund dieses Umstandes werden Penetrationen jeglicher Art gerne dieser Kategorie zugeordnet bzw. diese als den anderen übergeordnet

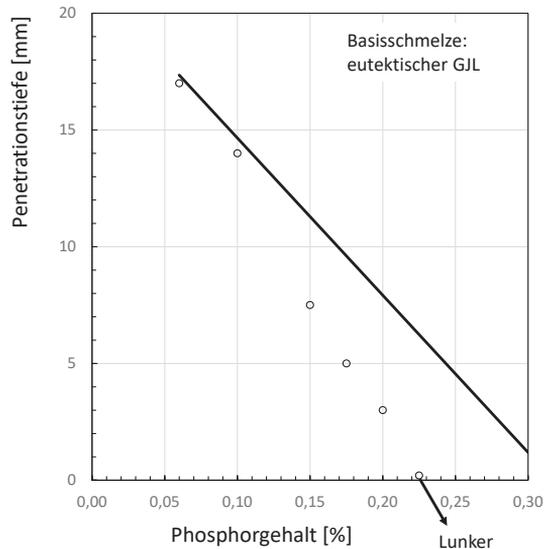


Bild 385: Von allen Maßnahmen ist die Zugabe von Phosphor die Wirkungsvollste zur Vermeidung von Sekundärpenetrationen, birgt aber auch das höchste Risiko im Gegenzug Lunker und Mikroporosität zu verursachen (aus Levelink & Julien 1973)

betrachtet, was den Blick auf die Entstehungsursachen anderer Penetrationsarten und damit auch deren Fehlervermeidung erschwert. Bei der statischen Penetration dringt Schmelze in die Poren der Form ein und erstarrt in diesen, wodurch sich eine raue, in kaum bearbeitetem Zustand formgrundstoffhaltige, Gussoberfläche ergibt, die entweder eines höheren Reinigungsaufwandes bedarf (Strahlen oder Schleifen) oder zu Bearbeitungsschwierigkeiten und höherem Werkzeugverschleiß führt. Für das Eindringen der Schmelze in die Formporen sind drei Hauptparameter verantwortlich:

- Der Druck, den die Schmelze auf ihre eigene Oberfläche ausübt, der entweder von statischer – aufgrund der Höhe des Gussstückes – oder von dynamischer Art – bedingt durch die Aufprallgeschwindigkeit der Schmelze auf die Form – sein kann
- Die Oberflächenspannung und Viskosität der Schmelze
- Der Porendurchmesser der Form.

Da die Oberfläche einer Form samt ihrer Poren stets vom Guss abgebildet wird, ist der Übergang von einer als normal zu bezeichnenden Gussoberfläche bis hin zur Penetration fließend und dem persönlichen Empfinden des Betrachters überlassen. Der zunehmende Druck auf Gießereien, ihre Emissionslast zu verringern und die daraus resultierende Reaktion der Gießer den Einsatz pyrolysierbarer Kohlenstoffverbindungen zunehmend zu beschränken, hat in den vergangenen beiden Jahrzehnten dazu geführt, dass heute Gussoberflächen, die seinerzeit als penetriert bezeichnet worden wären, nunmehr als normal gelten. Die in **Bild 386** gezeigte Veränderung der Gussoberfläche eines auf

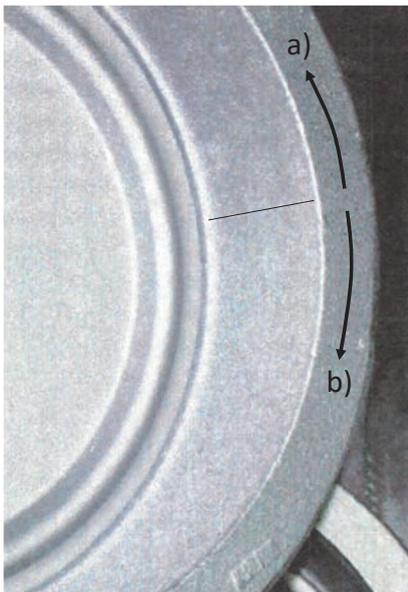


Bild 386: Statische Penetration an einem rotationssymmetrischen Bauteil; in Richtung a) abnehmend, in Richtung b) zunehmend (Aufnahme: H. Ohlmes)

einer kastenlosen Formanlage mit vertikaler Formteilung gegossenen Stückes zeigt, dass der in der Form höher liegende Gussbereich a) aufgrund des geringeren metallostatistischen Druckes sauber und quarzfrei blieb, wohingegen der untere b) in zunehmendem Maße penetriert ist und durch die beim Strahlen nicht gänzlich entfernten Quarzreste eine matt weißliche Farbe annimmt. Anstelle des metallostatistischen Druckes kann auch eine verhältnismäßig hohe kinetische Energie beim Aufprall der Schmelze auf die Form zu Penetrationen führen. Dies geschieht zumeist nahe tiefliegender Anschnittbereiche, in denen sich der Druck der Metallsäule zu Gießgeschwindigkeit umwandelt und durch Anprall auf die gegenüberliegende Formwand abgebaut wird, wobei diese Stellen auch erosionsgefährdet sind und dieses Fehlerbild der abgeschwemmten Form bzw. des formstofffreien Auswuchses am Guss nicht mit Penetration, also der Infiltration der Form durch die Schmelze, verwechselt werden sollte. Selten sind derartige dynamische Penetrationen in Oberkästen verursacht durch

14. Personenverzeichnis

Akademische Grade und Vornamen sind angegeben, sofern diese eindeutig zu bestimmen waren, deren Fehlen zeugt daher nicht von mangelndem Respekt, sondern lückenhafter Kenntnis.

| | |
|---------------------------------------|--|
| Alt, Rüdiger, Dr.-Ing. | 370, 790 |
| Arliguie, J.-P. | 511, 811 |
| Aufderheide, R. C. | 31, 799, 808 |
| Baier, Jörg | 75, 76, 790, 792, 804 |
| Bakó, Károly, Prof. Dr.-Ing. | 392, 804 |
| Barin, Ihsan, Prof. Dr.-Ing. | 145, 700, 792 |
| Bauer, Werner, Dipl.-Ing. | X, 512, 520, 524, 525, 789, 792, 808 |
| Baur, Emil, Prof. | 144, 145, 148, 152 |
| Bautz, Heiner, Dipl.-Ing. | 176, 800 |
| Bechný, Vladimír, PhD. Dipl.-Ing. | 7, 8, 18, 19, 26, 29, 792 |
| Bindernagel, Inge | 152, 156, 158, 159, 609, 610, 792, 798, 801, 806, 808, 809, 813 |
| Bodenburg, Hans-Christoph, Dipl.-Ing. | 818 |
| Bohlin, Åke | 818 |
| Boudouard, Octave, Leopold, Prof. Dr. | 145, 155 |
| Boenisch, Dietmar, Prof. Dr.-Ing. | 24, 65, 68, 69, 75, 76, 78, 80, 81, 86, 87, 91, 123, 181, 182, 229, 239, 240, 256, 257, 258, 375, 379, 383, 411, 413, 414, 453, 454, 455, 539, 547, 548, 549, 550, 552, 553, 587, 618, 649, 650, 688, 689, 690, 791, 793, 798, 801, 804, 806, 809, 812, 814, 816, Nachtrag |
| Bogisch, Klaus | 794, 818 |

| | |
|--------------------------------------|--|
| Boyd, D. W. | 176, 793 |
| Brand, Helmut, Prof. Dr.-Ing | Nachtrag |
| Brechmann, Frank, Dipl.-Ing. | 511, 809 |
| Brewster, F. S. | 661, 663, 814 |
| Brinkhoff, Ewald | 144, 793 |
| Brunhuber, Ernst, Dipl.-Ing. | 543, 769, 804, 817 |
| Bunge, Hans-Joachim, Prof. Dr. | Nachtrag |
| Carossa, Hans, Dr. med. | 737, 772 |
| Caspers, Karl-Heinz, Dr.-Ing. | 267, 794, 809 |
| Dahlmann, Martin, Dipl.-Ing. | 26, 27, 798 |
| Davis, K. G. | 475, 810 |
| De Man, H. C. J., Ing. | 536, 537, 811 |
| Dietert, Harry, W. | 390, 391, 539, 623, 629, 631, 661, 663, 667, 677, 679, 680, 804, 814 |
| Dobrinski, Paul, Prof. Dr. rer. nat. | 371, 789 |
| Doelman, R. L. | 266-272, 539, 703, 799, 802, 803 |
| Doliwa, Heinz-Ulrich, Prof. Dr.-Ing. | Nachtrag |
| Döpp, Reinhard, Prof. Dr.-Ing. | 31, 375, 469, 473, 694, 790, 793, 794, 798, 799, 801, 804, 806, 809, 811, 812, 813, 814, 817, Nachtrag |
| Edwards, D. H. | 667, 668, 682, 814 |
| Engelhardt, Thomas, Dr. rer. nat. | 204, 222, 794 |
| Engler, Siegfried, Prof. Dr.-Ing. | 266, 801, 803, 806, 810, 812 |
| Erdelen, Hans-Günter, Ing. grad. | 817 |
| Ernst, Wolfgang, Dipl.-Ing. | X, 371, 373, 632, 638, 644, 650, 665, 792, 794, 801, 802, 804, 814 |
| Ewens, Helmut, Dipl.-Ing. (FH) | 817 |
| Fahn, Rudolf, Dr. rer. nat. | XX, 223, 594, 627, 643, 644, 645, 674, 794, 797, 801, 814 |
| Flemming, Eckart, Prof. Dr.-Ing. | 247, 790, 801, 803, 806, Nachtrag |

| | |
|-------------------------------------|---|
| Follner, Heinz, Prof. Dr. | Nachtrag |
| Frank, E. | 409, 410, 490, 625, 670, 797, 802 |
| Fuller, William, Barnard, Engr. | 22, 23, 25 |
| Gabler, Karl, Dr.-Ing. | 549, 688, 812 |
| Gabriel, Stefan | 197, 202, 795 |
| Galloway, H. J. | 367, 368, 805 |
| Gärtner-Kaufmann, Claudia, Dr.-Ing. | 342, 345, 346, 347, 795, 801 |
| Gassner, Karl, Dr. rer. nat. | 818 |
| Gerhard, Wilhelm, Dr.-Ing. | 31, 794 |
| Giese, S. R. | 154, 797 |
| Glaessner, A. | 144, 145, 148, 152 |
| Godding, R. G. | 546, 547, 677, 679, 680, 812, 816 |
| Göknur, Ömer, Dr. rer. nat. | 818 |
| Graham, Alex., L. | 661, 663, 667, 668, 677, 679, 680, 682, 810, 814 |
| Granitzki, Karl-Ernst, Dr.-Ing. | 68, 795, 813, 814 |
| Grebe, Konrad | 686 |
| Grefhorst, Cornelius, Dipl.-Ing. | 222, 795, 800, 817 |
| Green, R. A. | 151, 367, 368, 800, 802, 805, 807, 808 |
| Greenhill, J. M. | 179, 180, 810 |
| Hahn v., Nadja, Dr. | 200, 795 |
| Hanson, G. D. | 367, 368, 805 |
| Hasse, Stephan, Dr.-mont. | 178, 180, 789, 795, 799 |
| Hedberg, J. D. | 673, 674, 816 |
| Heim, Dieter, Prof. Dr. | 53, 55, 617, 789 |
| Heine, R. W., Prof. | 151, 366, 451, 452, 539, 544, 629, 633, 641, 800, 802, 805, 806, 807, 808, 810, 815 |
| Heinze, Gerald, Dr. rer. nat. | 222, 795 |

| | |
|--|--|
| Heise, Johannes | 412, 804 |
| Helber, Joachim, Dr. | X, 194, 197, 198, 199, 200, 202, 211, 213, 215, 217, 218, 222, 609, 794, 795, 815 |
| Hentz, D. A. | 367, 368, 796, 805 |
| Herget, Wilfried, Prof. Dr. rer. nat. habil. | Nachtrag |
| Herfurth, Klaus, Prof. Dr.-Ing. habil. | 488, 810 |
| Hespers, Winfried | 170, 171, 172, 174, 796 |
| Heuser, Michel, Dr. rer. nat. | 100, 796 |
| Hill, Fritz | 550, 690, 807 |
| Hock, Heinrich, Dr. ing. | 818 |
| Hofmann, Franz, Dr. | 9, 17, 18, 20, 58, 75, 76, 84, 86, 88, 89, 127, 411, 539, 543, 544, 546, 547, 553, 601, 632, 638, 641, 642, 644, 646, 647, 648, 653, 654, 655, 656, 665, 789, 791, 796, 802, 807, 810, 815 |
| Hofmann, Ulrich, Prof. Dr. rer. nat. | 107, 108, 362, 575, 578, 583, 796 |
| Hörle, Georg, Dipl.-Ing. | 692 |
| Howden, J. D. | 32, 796 |
| Javaid, A. | 475, 810 |
| Jeffes, J. H. E. | 145 |
| Jelinek, Petr, Prof. Ing., Dr. h.c. | 609, 814 |
| Jerzina, Eduard | 482, 508 |
| Jeschar, Rudolf, Prof. Dr.-Ing. | 370, 790 |
| Julien, F. P. M. A., Ing. | 482, 484, 485, 536, 537, 811 |
| Jungbluth, Hans, Prof. Dr.-Ing. | 539, 810 |
| Kalt, Hubert | 818 |
| Khanna, Shiva, Shanker, Dr.-Ing | 80, 798, 817 |
| Kerber, Hubert, DI | 639, 815, 816 |

| | |
|---|--|
| King, E. H. | 451, 452, 544, 633, 806, 807, 810, 815 |
| Kleber, Wilhelm, Prof. Dr. | 53, 227, 242, 789 |
| Klingler, Rudolf, W., Prof. Dr. | 121, 796 |
| Knacke, Ottmar, Prof. Dr.-Ing. | 145, 700, 792 |
| Knoche, Dieter | 194, 795 |
| Köhler, Bernd, Dr.-Ing. | 256, 257, 258, 793, 801, 806 |
| Koensler, Winfried, Dr. | 23, 789 |
| Kolorz, Alfred, Dr.-Ing. | 158, 161, 174, 175, 610, 792, 796, 809, 810, 813 |
| Koppe, Walter, Dr.-Ing. | 469, 802 |
| Krütznert, Fritz, Dr.-mont. | 469, 550, 690, 807, 811 |
| Kubaschewski, Oswald, Prof. Dr. Dr. h. c. mult. | 145, 700, 792 |
| Kunsch, R. | 187, 188, 797 |
| Labbè, D. | 511, 811 |
| Lampic, Milan, Dr.-Ing. | 516, 526, 798, 811, 812 |
| Land, Christian, Dipl.-Ing | 31, 794 |
| Lane, A. M. | 154, 797 |
| Lange, W. | 167, 168, 797 |
| Laplanche, Henri | 470, 811 |
| Lautzus, Werner | 90, 412, 793, 804, 817 |
| Leibfarth, Jürgen, Dipl.-Ing. (FH) | 817 |
| Levelink, Herman, Gerard, Ing. | 123, 230, 232, 233, 322, 409, 410, 449, 450, 480, 482, 484, 485, 490, 536, 537, 539, 624, 625, 657, 658, 659, 668, 669, 670, 675, 681, 692, 738, 791, 792, 797, 802, 805, 807, 811, 814, 815, Nachtrag |
| Lichtenstein, Norbert, Dr. | 197, 202, 795 |
| Litzow, K. | 23 |

| | |
|---|--|
| Löblich, Herbert, Dr.-Ing. | 267, 325, 815 |
| Löhberg, Karl, Prof. Dr. | 161, 174, 796, 809 |
| Lorenz, Volker, Dr.-Ing. | 417, 806, 807 |
| Macherauch, Eckard, Prof. Dr. rer. nat. Dr.-Ing. E. h. mult. Prof. h. c. Dr. h. c. | 545, 803 |
| Mann, Karl, Ernst, Dr. | 213, 214, 797 |
| Metz, Jochen, Dipl.-Ing. | 235, 236, 395, 396, 397, 804 |
| Mohs, Friedrich | 49, 54, 256, 257, 406 |
| Moreau, Patrice | 817 |
| Nandori, Guyla, Prof. Dr.-Ing. | 524, 535, 811 |
| Odom, I. E. | 575, 577, 579, 583, 798, 816 |
| Ohlmes, Helmut, Dipl.-Ing. (FH) | 277, 458, 460, 463, 484, 486, 508, 511, 534, 742, 801, 802, 817 |
| Orlov, G. M. | 322, 627, 628, 629, 648, 738, 807 |
| Orths, Kurt, Dr.-Ing. | 158, 159, 162, 174, 175, 178, 186, 267, 325, 516, 517, 526, 610, 792, 796, 798, 800, 801, 803, 806, 808- 813, 815, 816 |
| Pacyna, Heiko, Prof. Dr.-mont. | 469, 811 |
| Pal, J. Dr.-Ing. | 524, 811 |
| Parker, W. G. | 682, 816 |
| Parkes, W. B. | 546, 547, 677, 679, 680, 812, 816 |
| Patterson, Wilhelm, Prof. Dr.-Ing | 24, 65, 75, 78, 80, 81, 86, 87, 182, 229, 239, 240, 469, 539, 547, 549, 550, 587, 618, 649, 650, 688-690, 790, 793, 794, 798, 802, 812, 816, 817, Nachtrag |
| Peukert, K. Dr.-Ing. | 524, 811 |
| Piwonka, T. S. | 154, 797 |
| Pohl, Peter, Dipl.-Ing. | 258, 259, 344, 802 |
| Potaturina, Ekaterina, Dr.-Ing. | 512, 812 |
| Prabhu, P. P. | 818 |

| | |
|---|--|
| Praski, R. M. | 667, 668, 682, 814 |
| Prinz, Bruno, Prof. Dr.-Ing. | 473, 809, 812 |
| Prömper, Hartmut, Dipl.-Ing. | 198, 795 |
| Radlmaier, Christine | 818 |
| Radmacher, W. | 167, 168, 797 |
| Rassenfoss, J. A. | 548, 812 |
| Recknagel, Ulrich, Dipl.-Min. | 26, 29, 798 |
| Reifferscheid, Karl, J., Dr.-Ing. | 473, 809, 812 |
| Reinecke, Wolfgang, Dipl.-Ing. | 817 |
| Reynolds, N. M. | 179, 180, 810 |
| Richardson, F. D. | 145 |
| Röben, Dieter | 170, 172, 173, 174, 800 |
| Rochat, Gilbert | 818 |
| Rogers, Clive | 211, 213, 215, 217, 218, 795 |
| Rothenaicher, Gisela, Dipl.-Ing. (FH) | 818 |
| Ruhland, Norbert, Dr.-Ing. | 123, 413, 793 |
| Sahoo, M. | 475, 810 |
| Salmang, Hermann, Prof. Dr. | 57, 789 |
| Sanders, C. A. | 266-272, 539, 703, 793, 799, 802, 803, 805, 812 |
| Satmer, Franz | 653-656, 807 |
| Schäfer, Jörg, Dipl.-Kfm. | 27, 799 |
| Schäfer, Jürgen-Michael, Dipl.-Ing., Dipl.-Wirtsch.-Ing. | 27, 799 |
| Schleiffer, Peter, Ing. grad. | 818 |
| Schmid-Fetzer, Rainer, Prof. Dr.-Ing. | Nachtrag |
| Schmidt, Julius, Heinrich | 144, 219, 618, 799 |
| Scholz, A. | 165, 799 |
| Schrey, Alexander, Dr.-Ing. | 266, 799, 803 |

| | |
|--|--|
| Schröder, Alfred, Prof. Dr.-Ing. habil | 505, 545, 803, 805, 812, 813, 816 |
| Schulze, Thomas, Dipl.-Ing. | 473, 812 |
| Schumacher, J. S., Engr. | 151, 365, 366, 367, 368, 451, 452, 539, 544, 633, 677, 679, 680, 800, 802, 806, 807, 808, 810, 814, 815, 816 |
| Schürmann, Eberhard, Prof. Dr.-Ing. | 473, 812, Nachtrag |
| Sechi, Lorenzo | 818 |
| Sefer, Adnan | 794, 818 |
| Showman, R. E. | 31, 799, 808 |
| Siefer, Wilfried, Dr.-Ing. | 176, 267, 325, 796, 800, 808, 811, 813, 815, 816 |
| Smith, Robert, J. | 384, 385, 805 |
| Specht, Eckehard, Prof. Dr.-Ing. | 370, 790 |
| Stadler, Konrad | 818 |
| Stefanescu, Doru, M. Prof. Dr. | 154, 797, 813 |
| Stöhr, Otto | 222, 223, 799 |
| Stötzel, Reinhard, Dr. | 512, 812 |
| Stratmann, Christoph, Dipl.-Ing. | 194, 795 |
| Thielemann, Rudi | 412, 804 |
| Thomson, J. | 475, 810 |
| Tegge, Günther, Prof. Dr. | 121, 769, 799 |
| Theodorus, auf Samos | 1 |
| Tilch, Werner, Prof. Dr.-Ing. habil. | 247, 360, 376, 377, 535, 790, 795, 799, 800, 801, 803, 811, 815 |
| Toth, Levente, Dr.-Ing. | 535, 811 |
| Turkdogan, E. T. | 145, 700, 817 |
| Tzintos, Spyridon | 222, 795 |
| Van den Berg, Hendrik | 230, 233, 490, 625, 670, 792, 797, 802, 805, 811 |
| Van den Holst, B. J. | 449, 450, 658 |

| | |
|---------------------------------------|---|
| Vierneisel, H. | 167, 168, 797 |
| Vingas, G. J. | 546, 799, 800, 803, 805, 806, 813 |
| Wamich, Elmar | 170-174, 800 |
| Wang, C. | 150, 151, 800 |
| Weis, Wolfram, Dr.-Ing. | 516, 526, 798, 812 |
| Weiss, Rudolf, Prof. Dr. rer. nat. | 11, 17, 23, 26, 29, 593, 789, 803 |
| Winterhalter, Johannes, Dr. rer. nat. | 159, 162, 176, 795, 800, 803, 808 |
| Wojtas, Heinz-Josef, Prof. Dr.-Ing. | 267, 272, 800, 803, 805, 813 |
| Wolf, Gotthard, Prof. Dr.-Ing. | 198, 266, 795, 796, 799, 803, 805, 813, 815 |
| Wolff, Horst, Dr.-Ing | 266, 267, 803 |
| Wörmann, Horst, Dr. rer. nat. | 159, 162, 609, 800, 803 |
| Yearley, B. C. | 539, 673, 674, 800, 808, 816 |
| Zrimsek, A. H. | 546, 800, 805, 806, 813 |

Dieses Werk beschäftigt sich mit allen Aspekten der tongebundenen Formstoffe inklusive der Wechselwirkungen mit dem Guss (d. h. im Wesentlichen dem Eisen) und den ggf. auftretenden Fehlern unter Berücksichtigung der dabei herrschenden metallurgischen Verhältnisse. Das Buch basiert auf Arbeiten, die im Verlauf der vergangenen neun Jahrzehnte von Autoren aus aller Welt und den Verfassern selbst publiziert wurden.

ISBN: 978-3-8027-3170-9

361,- EUR (D)

