

# ADI – ein moderner Werkstoff mit vielfältigem Potenzial

**Heute eingesetzte Konstruktionswerkstoffe müssen hohen Anforderungen gerecht werden. Neben guten mechanischen Eigenschaften, Reproduzierbarkeit, Umwelt- und Recyclingfreundlichkeit spielen die Kosten eine entscheidende Rolle.**

*Les matériaux de construction utilisés aujourd'hui doivent satisfaire à de hautes exigences. En plus de bonnes caractéristiques mécaniques, de la reproductibilité, du respect de l'environnement et du recyclage, les coûts jouent un rôle décisif.*

Viele dieser Forderungen werden von den bisher bekannten und eingesetzten Gusseisensorten mit Kugelgraphit (EN 1563) erfüllt. Ungünstig wirkt sich bei den höher festen Werkstoffsorten der rapide Abfall der Bruchdehnung aus. Hier setzt das bainitische Gusseisen (EN 1564) oder ADI an, indem es die Werkstoffpalette von Gusseisen mit Kugelgraphit um einen attraktiven Konstruktionswerkstoff mit hoher Festigkeit und gleichzeitig guter Bruchdehnung ergänzt (Grafik 1). ADI ist mittlerweile ein weit verbreiteter Werkstoff, der in den USA schon seit den 70er Jahren eingesetzt wird. Heute produzieren die USA mit Kanada jährlich 120 000 t ADI-Gusserzeugnisse. In Europa liegt die jährliche ADI-Produktion hingegen nur bei ca. 20 000 t.

### ADI bietet folgende Leistungsvorteile

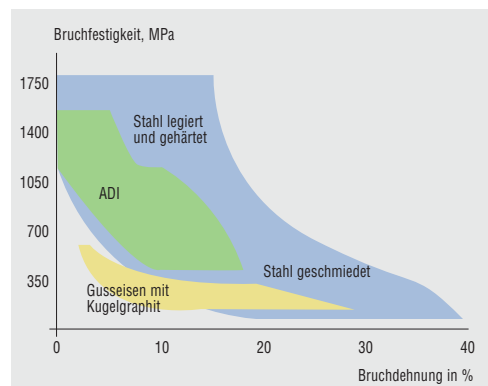
- Die Festigkeit von ADI ist mit derjenigen von Stahl vergleichbar: Beinahe 80 % aller gegossenen und geschmiedeten Stahlteile könnten durch entsprechende Qualitäten aus duktilem Gusseisen oder ADI ersetzt werden.
- Gewichtseinsparung: Aufgrund des niedrigeren spezifischen Gewichts ( $\rho_{ADI} = 7,1 \text{ kg/dm}^3$ ) sind ADI-Konstruktionen in jedem Fall 10 % leichter als Stahlkonstruktionen.
- Leichter als Aluminium: ADI hat eine dreimal so hohe Festigkeit wie vergleichbares (gegossenes oder geschmiedetes) Aluminium, wiegt aber nur 2,6 Mal so viel (Grafik 2).
- Dynamische Eigenschaften: Die dynamischen Eigenschaften von ADI übertreffen

die von geschmiedetem, gegossenem oder mikrolegiertem Stahl. Im Vergleich zum EN-GJS-600-3 erträgt ADI höhere Dehnungen und toleriert höhere Spannungsschwankungen, was insbesondere bei sicherheitsrelevanten Teilen wichtig ist (kerbarme Geometrie vorausgesetzt).

- Bessere Geräuschdämpfung: Der Graphit im ADI-Gefüge verbessert die Dämpfungseigenschaften, so dass die Teile leiser und ruhiger arbeiten.
- Überlegene Verschleisseigenschaften: Die Abriebfestigkeit von ADI übertrifft diejenige von herkömmlich bearbeitetem Stahl (Grafik 3). Dies gilt auch dann, wenn seine Härte geringer als die von Stahl ist. Diese Besonderheit ergibt sich deshalb, weil der Restaustenit im ADI bei einer mechanischen Belastung durch Kaltumformung verfestigt oder sogar in spannungsinduzierten Martensit umwandelt.

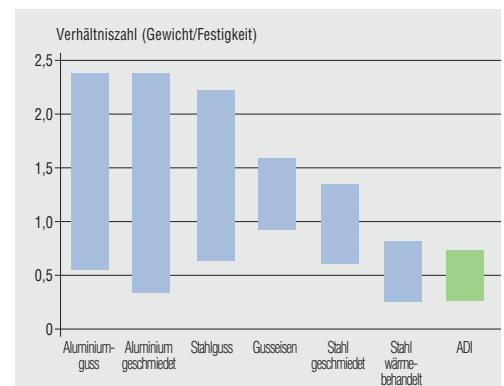
### ADI bietet folgende Kostenvorteile

- 1 kg ADI ist günstiger als 1 kg Aluminium oder 1 kg Stahl.
- ADI ist leicht vergießbar.
- Niedrige Bearbeitungskosten: ADI lässt sich massgenau giessen und benötigt deshalb wenig Bearbeitungszugabe.
- Niedrige Wärmebehandlungskosten: Eine Zwischenstufenumwandlung kostet im allgemeinen weniger als eine Oberflächenaufkohlung oder induktive Härtung.
- Niedriger Energieverbrauch: Ein typisches ADI-Gussstück benötigt für seine Herstellung 50 % weniger Energie als ein Stahl-



Grafik 1: Vergleich der mechanischen Eigenschaften von ADI mit anderen Eisenwerkstoffen.

*Graphique 1: Comparaison des caractéristiques mécaniques de l'ADI avec d'autres matériaux ferreux.*



Grafik 2: Relatives Gewicht bezogen auf die Festigkeit für verschiedene Konstruktionswerkstoffe.

*Graphique 2: Poids relatif rapporté à la résistance pour divers matériaux de construction.*

|             | Qualität         | Zugfestigkeit MPa | Streckgrenze MPa | Dehnung % | Härte HB |
|-------------|------------------|-------------------|------------------|-----------|----------|
| EN 1564     | EN-GJS-800       | > 800             | > 500            | 8         | 260/320  |
|             | EN-GJS-1000      | > 1000            | > 700            | 5         | 300/360  |
|             | EN-GJS-1200      | > 1200            | > 850            | 2         | 340/440  |
|             | EN-GJS-1400      | > 1400            | > 1100           | 1         | 380/480  |
|             | Qualität (Grade) | Zugfestigkeit MPa | Streckgrenze MPa | Dehnung % | Härte HB |
| ASTM 897-90 | 1                | 850               | 550              | 10        | 269/321  |
|             | 2                | 1050              | 700              | 7         | 302/363  |
|             | 3                | 1200              | 850              | 4         | 341/444  |
|             | 4                | 1400              | 1100             | 1         | 388/477  |
|             | 5                | 1600              | 1300             | –         | 444/555  |

Tabelle 1: Vergleich der europäischen und amerikanischen Norm für ADI-Gusswerkstoffe.  
 Tableau 1: Comparaison des normes européennes et américaines pour les fontes ADI.

gussstück und 80% weniger Energie als ein Stahlschmiedestück.  
 – Wenn man die relativen Kosten pro Einheit Streckgrenze vergleicht, so ist ADI im Allgemeinen die günstigste Werkstoffvariante (Grafik 4).

**Was bedeutet die Bezeichnung ADI**

Bei ADI handelt es sich um ein wärmebehandeltes Gusseisen mit Kugelgraphit. Die ausgezeichneten Werkstoffeigenschaften beruhen auf der Gefügeausbildung, die durch eine Zwischenstufenvergütung (Wärmebehandlung) erreicht wird. Dadurch besitzt ADI, je nach Sorte, höchste Festigkeiten, Duktilität, Dauerfestigkeit und Verschleissbeständigkeit (Abrasiveverschleiss). In der europäischen Norm (EN 1564, Juni 1997) sind vier und in den USA fünf bainitische Gusseisensorten (ASTM A897-90) beschrieben (Tabelle 1). Der Werkstoff wird dort abgekürzt als ADI (Austempered Ductile Iron) bezeichnet. Trotz unterschiedlicher Sorteneinteilung und Bezeich-

nung ist die Herstellung bzw. die chemische Zusammensetzung, die Wärmebehandlung und die Gefügeausbildung identisch. In der europäischen Norm wird der Begriff bainitisches Gusseisen verwendet, was nicht ganz korrekt ist. Das Grundgefüge besteht aus einem feinkörnigen Gemisch von stabilisiertem Austenit und nadeligem Ferrit (Bild 1). Dieses Gefüge wird in der Literatur auch als Ausferrit (Austenit plus Ferrit) bezeichnet. Der Bainit bei Stählen hingegen besteht aus nadeligem Ferrit und Karbiden, welche beim bainitischen Gusseisen nicht erwünscht sind.

**Wie wird ADI hergestellt**

Das charakteristische Gefüge, welches die Eigenschaften von ADI ausmacht, wird über eine spezielle Wärmebehandlung des Ausgangsmaterials (meist EN GJS-600-3) erzielt. Sie besteht aus drei Phasen:  
 – Aufheizen des Werkstoffs in den Austenittemperaturbereich (840–940°C) und Halten,

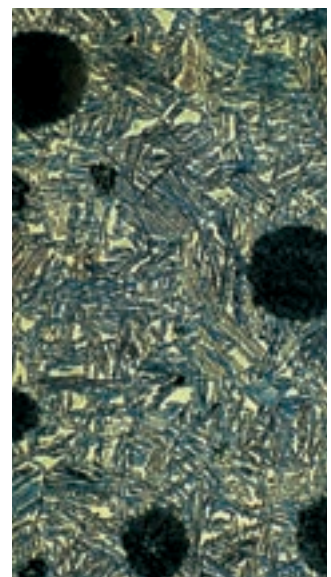
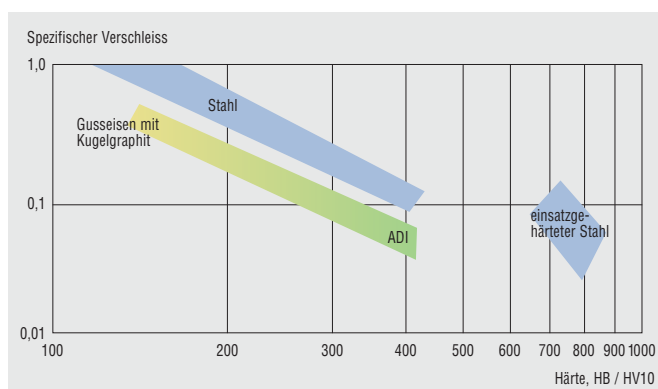
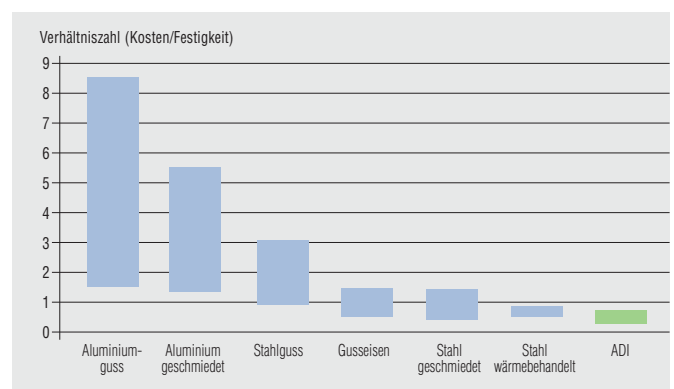


Bild 1: Typisches ADI-Gefüge mit Graphitkugeln, Austenit und nadeligem Ferrit.  
 Figure 1: Structure typique de l'ADI avec sphérules de graphite, austénite et ferrite en aiguilles.



Grafik 3: Abhängigkeit des spezifischen Verschleisses von der Härte für verschiedene Werkstoffe.  
 Graphique 3: Dépendance de l'usure spécifique en fonction de la dureté pour divers matériaux.



Grafik 4: Relative Kosten bezogen auf die Festigkeit für verschiedene metallische Konstruktionswerkstoffe.  
 Graphique 4: Coûts relatifs rapportés à la résistance pour divers matériaux de construction.

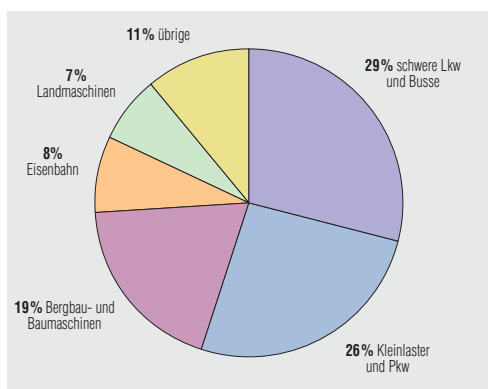
- schnelles Abkühlen auf die Umwandlungstemperatur (250–400 °C) zur Bildung von Ausferrit,
- isothermes Halten im Salzbad und anschliessendes Abkühlen bis auf Raumtemperatur.

Durch das Halten auf der Austenitisierungstemperatur wird im Gefüge ein homogener Kohlenstoffgehalt eingestellt. Die Haltezeit wird durch die Anzahl Graphitkugeln, die chemische Zusammensetzung und die Bauteilgeometrie beeinflusst. Das Abschrecken der Gussteile muss so rasch erfolgen, dass Gefügeumwandlungen vor dem Erreichen der Ausferrit-Temperatur (Zwischenstufentemperatur) nicht möglich sind. Durch das isotherme Halten entsteht aus dem Austenit das feinkörnige Gefüge aus stabilisiertem Austenit und nadeligem Ferrit (Bild 1).

Um bei zunehmender Wanddicke der Bauteile eine gleich bleibende Härte zu gewährleisten, müssen die Gehalte einiger Elemente (z.B. Cu, Ni und Mo) angepasst werden. Somit übt die chemische Zusammensetzung nicht nur auf die Reproduzierbarkeit der Wärmebehandlung, sondern auch auf die erreichbaren mechanischen Eigenschaften einen enormen Einfluss aus.

### Wo wird ADI eingesetzt

Die in den USA im Vergleich zu Europa wesentlich höhere Produktion und Verbreitung von ADI beruht zu einem grossen Teil auf den in den Grafiken 2 und 4 dargestellten Preisverhältnissen. Die dargestellten Preisunterschiede schaffen einen hohen Anreiz



Grafik 5: Einsatz von ADI bzw. die Verteilung der Marktanteile in den USA.

Graphique 5: Emploi de l'ADI, respectivement répartition des parts de marché aux USA.

zur Substitution von Stahlteilen durch ADI. Bis heute ist der Fahrzeugantrieb klassischer Bereich für den Einsatz von ADI-Gussteilen. Grafik 5 zeigt, in welchen Segmenten ADI überall eingesetzt wird. Es handelt sich dabei neben diversen Befestigungs- und Steuerelementen sowie Zahnradern vor allem um Verschleisssteile.

Für die Zukunft wird ein wachsender Bedarf für hochfeste dünnwandige Gussteile mit Wanddicken von 3 mm in der Automobilindustrie und für sehr grosse Gussteile, z.B. Zahnkränze für Rohrmühlen, Förderkübel oder Baggerschaufeln in Bergbaubetrieben, erwartet.

### Bearbeitung von ADI

Nebst seinen besonderen Eigenschaften bezüglich Festigkeit und Zähigkeit weist der Werkstoff ADI eine hohe Verschleissbeständigkeit und die Neigung zur Verfestigung auf. Dadurch wird das Spanwerkzeug bzw. die Schneidkante durch mechanische Reibvorgänge und eine hohe thermische Belastung stark beansprucht. Trotz dieser Problematik kann ADI – die richtige Wahl der Schneidstoffe, Beschichtungen, Werkzeuggeometrien und Schnittparameter (Drehzahl und Vorschub) vorausgesetzt – bearbeitet werden. Müssen jedoch grosse Materialmengen abgetragen werden, ist zu überlegen, ob bereits vor der Wärmebehandlung eine Grobbearbeitung erfolgen soll.

### Zusammenfassung und Ausblick

ADI eröffnet der Giessereibranche neue Produkte und neue Märkte. Besonders in einer Zeit, wo Ressourcen immer knapper bzw. teurer werden, sind Werkstoffe gefragt, welche höhere Anforderungen bei gleichem oder tieferem Gewicht erfüllen. Hier hat eine Gieserei-gruppe wie die von Roll casting die Chance, kostengünstige Alternativen zu den klassischen Schmiede- oder Walzprodukten anzubieten – ohne Abstriche bezüglich Festigkeit oder Zähigkeit machen zu müssen.

Kontaktieren Sie unseren ADI-Fachmann Dr. Anton Rechsteiner (+41 (0)41 269 34 08) für Fragen rund um diesen vielfältigen Werkstoff.

Von Ulrich Wittwer  
und Dr. Anton Rechsteiner

### Literatur

- K. Herfurth: «Austenitisch-ferritisches Gusseisen mit Kugelgraphit, Teil 2», Giesserei-Praxis 4/2003
- P. Hübner: «Fortschritt der Bruch- und Schädigungsmechanik», DVM Bericht 235, 2003
- J. R. Keough: «Markets for Ductile Iron and ADI», 1997
- F. Klocke, C. Klöpffer: «Bearbeitung von ADI-Gusseisen», Giesserei 90, 12/2003
- B. V. Kovacs: «Gefüge und Bezeichnungen von bainitischem Gusseisen mit Kugelgraphit (ADI)», Giesserei-Praxis 1+2/1996
- A. Rimmer: «ADI solution aid vehicle design», Foundry Trade Journal, 3/2004
- K. Röhrig: «Fehlermöglichkeiten bei der Erzeugung von ADI», Giesserei-Praxis 4/2001
- K. Röhrig: «ADI – Eigenschaften, Bauteilentwicklung und Anwendungen», Giesserei-Praxis 8/2002
- D. Schock: «Bainitisches Gusseisen mit Kugelgraphit – Ein Werkstoff mit grossem Eigenschaftspotential», konstruieren+giessen 25, 4/2000