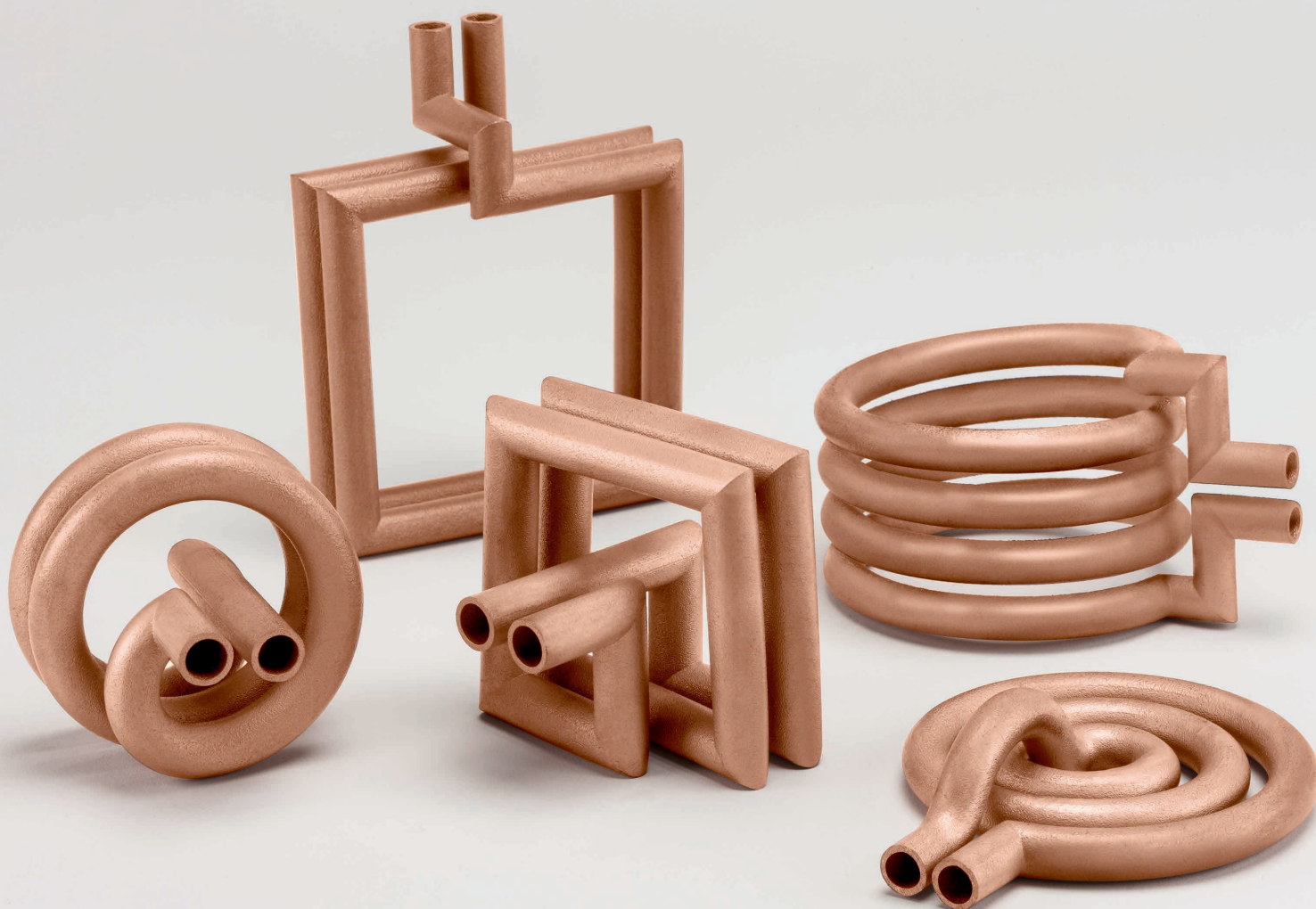


# Kupfer-Induktoren aus dem 3D-Druck

- Kürzere Zykluszeiten
- Wirtschaftliche Produktion individueller Geometrien
- Passgenaue und datengetreue Umsetzung





## Kupfer als Material für den industriellen 3D-Druck

Kupfer wurde bereits vor über 10.000 Jahren als eines der ersten Metalle vom Menschen verarbeitet. In der Industrie ist es heute ein weit verbreiteter metallischer Werkstoff. Aufgrund seiner hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit werden aus Kupfer unter anderem Induktoren für die partielle Härtung von Bauteilen hergestellt. Diese werden traditionell händisch durch Biegen und Löten in Form gebracht. Dabei ist es wichtig, dass sich der Induktor bestmöglich an das zu härtende Werkstück anschmiegt.

Im 3D-Druck werden Kupfer-Induktoren direkt aus CAD-Daten und ohne die Verwendung zusätzlicher Werkzeuge gefertigt. Es entstehen hochleitfähige und langlebige Erzeugnisse, die exakt den vorgegebenen Maßen entsprechen – eine Präzision, die auf herkömmlichem Wege kaum erreichbar ist. Dank Additive Manufacturing sind auch individuelle und komplexe Geometrien innerhalb weniger Tage realisierbar.

## Kupfer – Die Herausforderung für die additive Fertigung

PROTIQ stellt Induktoren additiv durch selektives Laserschmelzen her. Da Kupfer die Strahlung herkömmlicher Laserschmelzanlagen zu einem großen Teil reflektiert, werden häufig Legierungen mit einem vergleichsweise geringen Kupfergehalt verwendet. Die Leitfähigkeit dieser Gemische ist jedoch deutlich reduziert.

PROTIQ ist es bereits 2011 gelungen, einen einzigartigen Prozess zu entwickeln, mit dem hochleitfähiges Kupfer additiv verarbeitet werden kann. Damit sind wir einer der ersten 3D-Druck-Anbieter, der Kupfer-Induktoren in höchster Industriequalität produzieren kann.

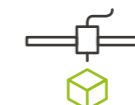
Hochleitfähiges Kupfer für den 3D-Druck					
	Anteil Reinkupfer	Dichte	Bruchdehnung	Zugfestigkeit	Elektrische Leitfähigkeit
RS-CU	99 %	8,82 g/cm <sup>3</sup>	20 ± 5 %	238 ± 15 MPa	bis zu 50 MS/m
	Anteil Reinkupfer	Dichte	Bruchdehnung	Zugfestigkeit	Elektrische Leitfähigkeit
CU	100 %	8,9 g/cm <sup>3</sup>	50 ± 10 %	220 ± 10 MPa	bis zu 58 MS/m

### So funktioniert 3D-Druck bei PROTIQ



#### Sie konfigurieren Ihr 3D-Objekt

Laden Sie eigene CAD-Dateien hoch und gestalten Sie Ihr 3D-Modell nach Ihren Anforderungen. Die Kosten werden Ihnen direkt online angezeigt.



#### Wir drucken Ihr 3D-Modell

Direkt nach dem Eingang Ihrer Bestellung geht der Produktionsauftrag voll automatisch bei PROTIQ ein.



#### Sie erhalten Ihr Produkt

Die Fertigung Ihres 3D-Objekts kann sofort nach Bestellungseingang beginnen, sodass Ihr Produkt schnellstmöglich lieferbar ist.

# Vorteile von additiv gefertigten Kupfer-Induktoren

Beim Induktionshärten werden für die Härtung unterschiedlicher Bauteilformen passgenaue Induktoren benötigt. Bislang werden diese in aufwändigen Verfahren zumeist händisch hergestellt. PROTIQ fertigt Ihre individuellen Induktoren schnell und kosteneffizient im 3D-Druck.

## ✔ Wirtschaftliche Produktion individueller Geometrien

Mit unserem Online-Konfigurator benötigen Sie nur wenige Klicks, um Induktoren nach spezifischen Vorgaben zu gestalten. Die Konfiguration erfolgt nach dem Baukastenprinzip und berücksichtigt die speziellen Anforderungen von Industriekunden. Natürlich haben Sie auch die Möglichkeit, eigene 3D-Dateien zu verwenden.

## ✔ Passgenaue und datengetreue Umsetzung

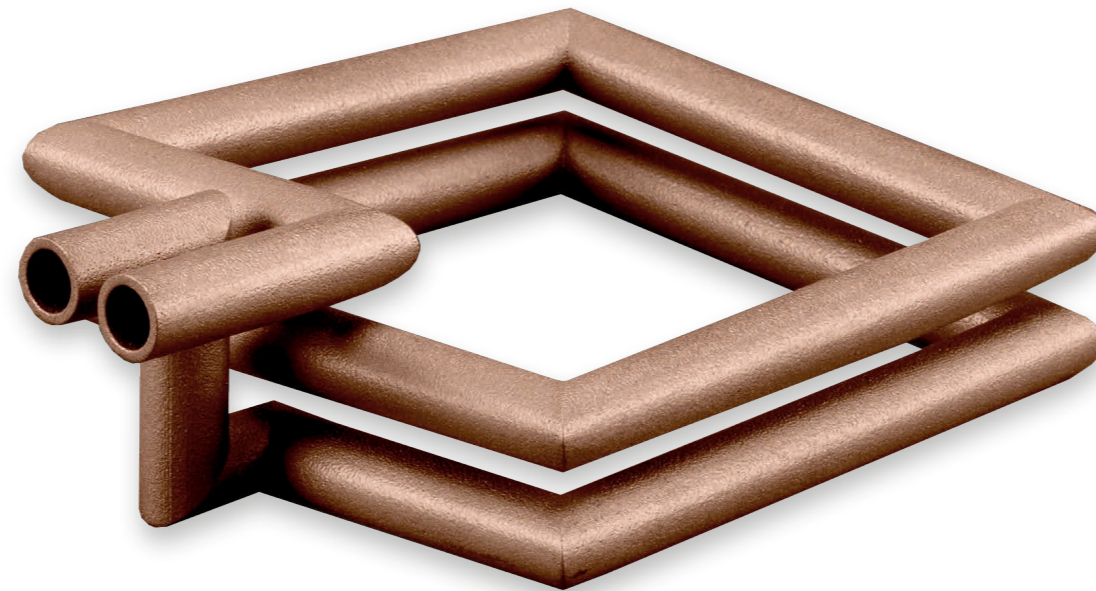
Durch den vollständig digitalen Geschäftsprozess bei PROTIQ profitieren Sie von 100% Datendurchgängigkeit sowie höchster Präzision und Zuverlässigkeit in der Herstellung.

## ✔ Längere Standzeit

Durch die gleichmäßigere Belastung bei der Erhitzung sind additiv gefertigte Induktoren länger haltbar. So können Sie die laufenden Kosten für Neuanschaffungen merklich reduzieren.

## ✔ Kurze Lieferzeiten auch bei komplexen Formen

Für die Realisierung anspruchsvoller Geometrien werden im 3D-Druck keine speziellen Werkzeuge benötigt, die im Vorhinein gekauft oder gar angefertigt werden müssten. Deshalb kann die Produktion direkt nach Eingang der Bestellung starten. Ihren einsatzbereiten Induktor erhalten Sie innerhalb weniger Werktage.



## Nachteile herkömmlich gefertigter Induktoren

- Lötstellen verursachen Störungen im Stromfluss und sorgen für hohen Energieverlust. Je komplexer die Induktorform, desto mehr Lötstellen werden benötigt.
- Die manuelle Fertigung schränkt bei der Formgebung ein. Aufwändige Geometrien können durch händisches Biegen und Löten nicht umgesetzt werden.
- Durch kleinste Formabweichungen ergeben sich für den Anwender hohe Rüstzeiten. Das Einrichten eines neuen Induktors kann mehrere Wochen dauern.
- Die Qualität ist in Handarbeit nicht eins zu eins reproduzierbar. Die Lebensdauer zweier Induktoren mit identischer Form kann daher stark schwanken.
- Die manuelle Fertigung von Induktoren ist sehr anspruchsvoll und damit zeit- und kostenintensiv.

## ✔ Reproduzierbare Qualität

Unser Qualitätsmanagementsystem ist geprüft und nach ISO 9001 zertifiziert. Standardisierte Prozesse garantieren eine gleichbleibend hohe Qualität Ihrer Kupfer-Induktoren.

## ✔ Bessere Kontrolle des Induktionsvorgangs

Durch die optimale und gleichmäßige Anpassung des Induktors an das zu härtende Werkstück gelangt die Hitze bei geringerem Energieaufwand gleichmäßiger in das Material. Die gehärteten Bauteile sind dadurch belastbarer und langlebiger.

## ✔ Kürzere Zykluszeiten

Dank der optimierten Formgebung verbessert sich die Wärmeleistung, wodurch sich die Zykluszeiten in der Werkzeugproduktion effektiv verringern lassen.

## ✔ Keine Lötstellen

Kupfer-Induktoren aus dem 3D-Druck werden »aus einem Guss« gefertigt und besitzen eine sehr gleichmäßige Oberfläche. Deshalb benötigen sie für eine vergleichbare Leistung deutlich weniger Energie, als herkömmlich gefertigte Induktoren.

# Induktionshärten in der Industrie

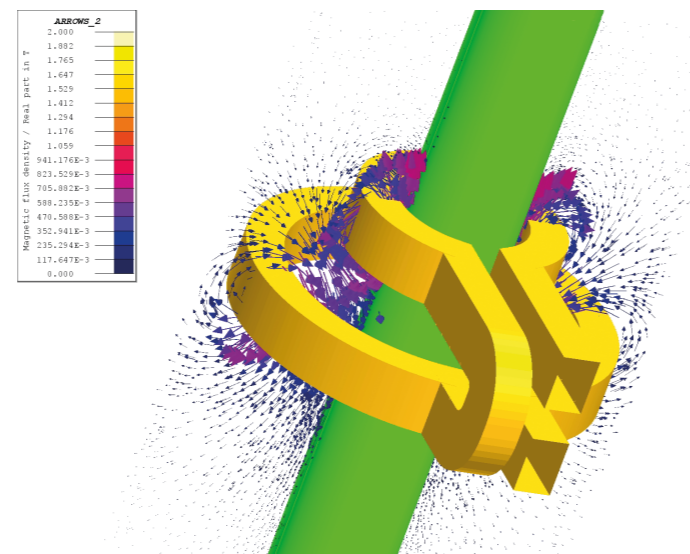
Induktionshärten ist in der metallverarbeitenden Industrie weit verbreitet. Das Verfahren eignet sich besonders für die Härtung von Bauteilen, die äußerst hohen Belastungen

ausgesetzt sind und wird beispielsweise im Werkzeugbau oder bei der Fertigung von Getrieben, Nockenwellen und Zahnrädern eingesetzt.

Durch die induktive Erhitzung entsteht im Bauteil eine außerordentliche Oberflächenhärte mit hoher Einsatzhärte tiefe (Case Hardness Depth, CHD), wodurch das Werkstück besonders widerstandsfähig wird.

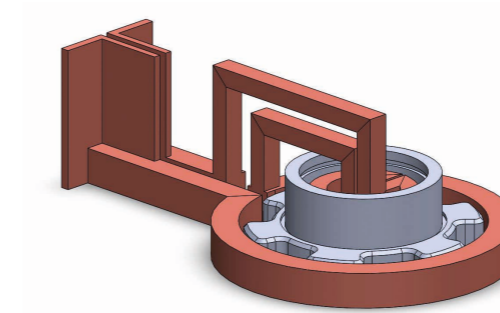
Beim Induktionshärten werden nur bestimmte Bereiche eines Bauteils gehärtet. Deshalb spricht man in dem Zusammenhang auch von partieller Härtung. Da die Wärme nur an den Stellen entsteht, wo elektromagnetische Wirbelströme in das Werkstück induziert werden, ist die passgenaue Form des Induktors ein wichtiger Qualitätsfaktor.

Bei PROTIQ haben Sie die Möglichkeit, Kupfer-Induktoren in Sonderformen für außergewöhnliche Anwendungsgebiete anfertigen zu lassen. Dank seiner großen Fachkenntnis im Bereich der simulationsbasierten Magnetfeldauslegung ist das Team von PROTIQ außerdem Ihr Ansprechpartner für die Optimierung Ihrer etablierten Induktionsprozesse. Wir ermitteln mithilfe der Magnetfeldsimulation die ideale Grundform für Ihre Induktoren. Auf diese Weise lässt sich die Effizienz induktiver Wärmeerzeugung deutlich verbessern.



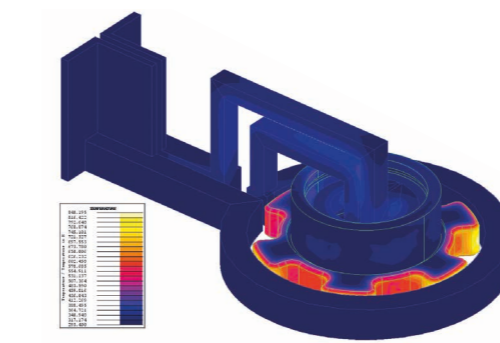
Die Simulation des Magnetfeldes zeigt, an welchen Stellen die elektromagnetische Wirkung in das Bauteil eindringt.

# Optimierte Induktoren von PROTIQ



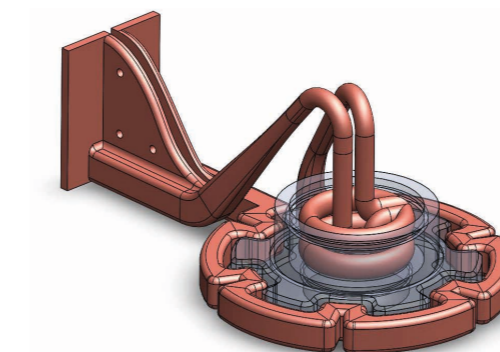
### Schritt 1:

Analyse der konventionellen Induktor-Geometrie. Die Form der Kupferrohre orientiert sich am maximalen Durchmesser des zu härtenden Werkstücks. Die kreisrunde Form des Induktors kann die Vertiefungen im Bauteil nicht erreichen.



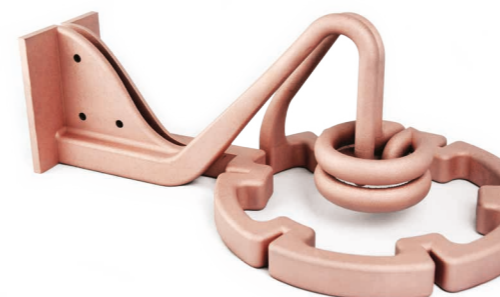
### Schritt 2:

Simulation der Wärmeverteilung während des Induktionsprozesses. Durch den variablen Luftspalt zwischen Bauteil und Induktor entstehen Unterschiede im Erwärmungsbild, die den Härteprozess negativ beeinflussen können.



### Schritt 3:

Konstruktion der optimierten Geometrie. Die Form des Kupferrohres ist der Kontur des zu härtenden Bauteils angepasst. Auf diese Weise werden in allen Bereichen der Bauteiloberfläche gleichmäßige Temperaturverhältnisse erzeugt.



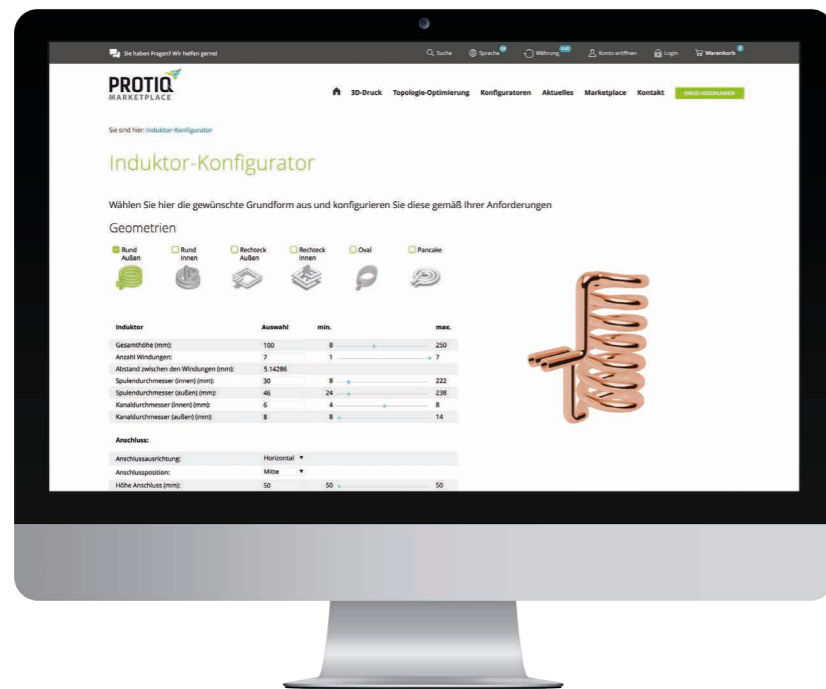
### Schritt 4:

Der finale Induktor wird im 3D-Druck durch selektives Laserschmelzen aus elektrisch hochleitfähigem Kupfer gefertigt. Durch die optimierte Geometrie lässt sich der Induktionsprozess nun noch präziser durchführen. Das Ergebnis: höhere und konstantere Bauteilqualität bei gleichzeitig verringerten Ausschusszahlen und reduzierter Taktzeit.

# Der Induktor-Konfigurator von PROTIQ

Unser Induktor-Konfigurator verkürzt in Kombination mit der werkzeuglosen Fertigung im 3D-Druck den langwierigen Herstellungsprozess für Induktoren maßgeblich. Wählen Sie aus sechs verschiedenen Grundformen Ihre optimale Basisgeometrie, die Sie nach dem Bau-

kastenprinzip mit nur wenigen Klicks anpassen können. Ihren einsatzbereiten Induktor erhalten Sie bereits wenige Tage nach dem Eingang Ihrer Bestellung, denn die Produktion im industriellen 3D-Druck kann sofort beginnen!



## Vorteile des Induktor-Konfigurators

- ✓ Individuelle Gestaltungsmöglichkeiten
- ✓ Intuitive Handhabung
- ✓ Garantierte Druckbarkeit der 3D-Modelle
- ✓ Wirtschaftlich dank Baukastenprinzip und werkzeugloser Fertigung
- ✓ Preiskalkulation in Echtzeit
- ✓ Einhaltung aller EU Datenschutzgesetze

# Kupfer-Induktoren online konfigurieren

Erstellen Sie anwendungsspezifische Induktoren in vier einfachen Schritten:



### Schritt 1: Grundform auswählen

Wählen Sie aus sechs Standardformen für Innen- und Außenfeldinduktoren die optimale Geometrie für Ihre Anforderungen.



### Schritt 2: Induktor konfigurieren

Bestimmen Sie Ihre Wunschmaße anhand von Höhe, Querschnitt und Durchmesser. Legen Sie außerdem die Anzahl der Windungen sowie die Durchmesser und Abstände von Spulen und Kanälen fest.



### Schritt 3: Anschlusselement definieren

Optional können Sie jeden Induktor mit einer Halterung versehen. Bestimmen Sie dazu die Maße der Grundplatte ganz individuell.



### Schritt 4: Bestellvorgang abschließen

Der Preis Ihrer Induktor-Konfiguration wird für Sie automatisch online ermittelt. Wählen Sie eine der zahlreichen bequemen Online-Zahlungsarten und nutzen Sie unseren weltweiten Lieferservice.

▶ Testen Sie unseren Konfigurator: [www.protiq.com/induktor-konfigurator](http://www.protiq.com/induktor-konfigurator)

## Qualitätssichernde Prüfverfahren

In der Industrie ist Qualität nach höchsten Standards gefordert. Damit Sie sich stets auf die Güte Ihrer Kupfer-Induktoren verlassen können, bieten wir Ihnen

den Service der individuellen Qualitätssicherung an. Gern ermitteln wir vor dem Start und während der additiven Serienfertigung für Sie:

- ✔ Bauteildichte (undurchlässige Sintermetallwerkstoffe und Hartmetalle) mithilfe des Archimedischen Verfahrens in Anlehnung an die DIN EN ISO 3369
- ✔ Bauteilhärte mithilfe des Verfahrens nach Vickers auf Grundlage der DIN EN ISO 6507 und des Verfahrens nach Shore auf Grundlage der DIN EN ISO 868
- ✔ Statische Festigkeitskennwerte mithilfe des Verfahrens der Zugprüfung auf Grundlage der DIN EN ISO 6892 und der DIN EN ISO 527
- ✔ Oberflächenrauheit mithilfe des Tastschnittverfahrens auf Grundlage der DIN EN ISO 4287
- ✔ Maßhaltigkeit mithilfe der Computer Tomographie und der Streifenlichtprojektion
- ✔ Gefügestruktur und Schlißbilder mithilfe der metallographischen Untersuchung
- ✔ Druckprüfung mit Druckluft bis zu 6 Bar
- ✔ Leitfähigkeit mithilfe der Wirbelstromprüfung



## Ihr Kontakt zu PROTIQ

PROTIQ ist Ihr kompetenter Partner für den professionellen 3D-Druck. Auf Basis unserer langjährigen Erfahrung mit Kunden aus der Industrie haben wir den gesamten Bestellprozess auf unserer Plattform digitalisiert und für die Bedürfnisse von Unternehmen optimiert.

Trotzdem ist uns der persönliche Kontakt zu unseren Kunden sehr wichtig. Egal, ob Sie eine Frage zu Ihrem Produkt, unseren Fertigungsverfahren oder der Funktionsweise unserer Online-Konfiguratoren haben – wir beraten Sie gerne bei Ihrem Projekt.

Kontaktieren Sie uns:

**Ihr PROTIQ-Team**

Telefon: +49 (0) 5235 3-43800

service@protiq.com



Präzise. Schnell. Zuverlässig.

[www.protiq.com](http://www.protiq.com)



**PROTIQ GmbH**

A Phoenix Contact Company  
Flachsmarktstraße 54  
32825 Blomberg

Tel.: +49 (0) 5235 3-43800  
Fax: +49 (0) 5235 3-441154  
E-Mail: [service@protiq.com](mailto:service@protiq.com)

Geschäftsführer: Dr. Ralf Gärtner