

# Kupfer-Induktoren aus dem 3D-Druck

Maximale Effektivität für jeden Anwendungsfall

- Kurze Produktionszeiten
- Wirtschaftliche Produktion individueller Geometrien
- Passgenaue und datengetreue Umsetzung





# Kupfer als Material für den industriellen 3D-Druck

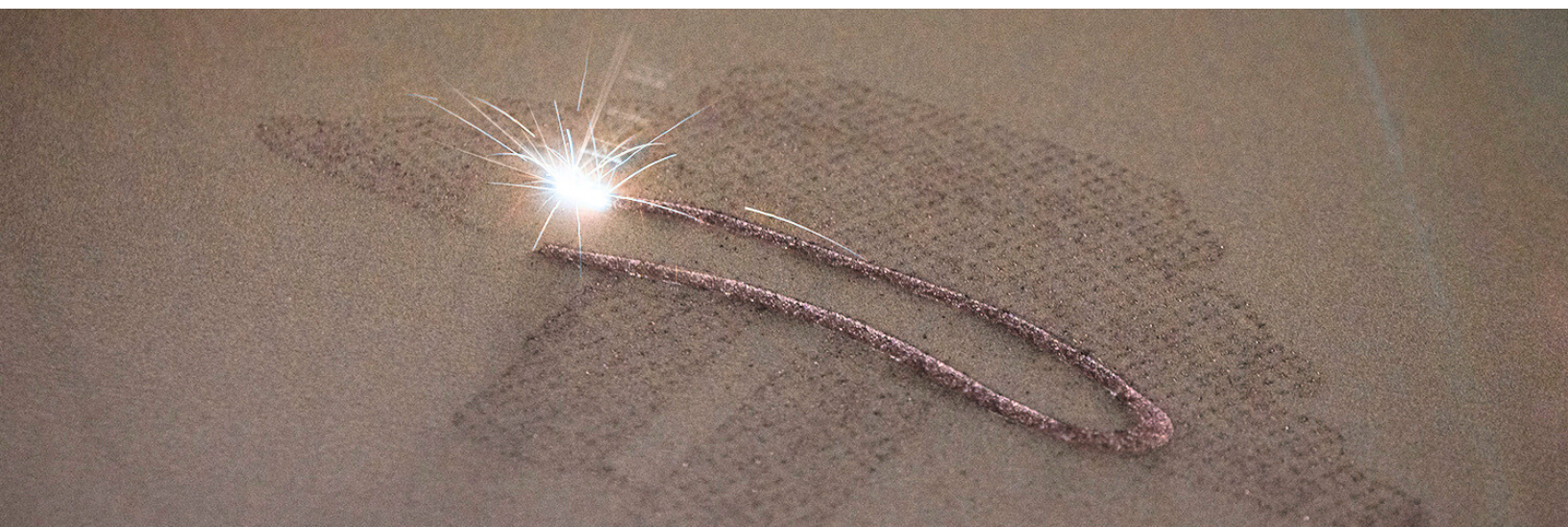
Kupfer wurde bereits vor über 10.000 Jahren als eines der ersten Metalle vom Menschen verarbeitet. In der Industrie ist es heute ein weit verbreiteter metallischer Werkstoff. Aufgrund seiner hervorragenden elektrischen Leitfähigkeit werden aus Kupfer unter anderem Induktoren für die partielle Härtung 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, eine 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 waren wir einer der ersten 3D-Druck-Anbieter, der Kupfer-Induktoren in höchster Industriequalität produzieren konnte.



# 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**

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.
- ✓ 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.
- ✓ 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.
- ✓ 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.
- ✓ Passgenaue und datengetreue Umsetzung**

Durch die vollständig digitalen Geschäftsprozesse auf dem PROTIQ Marketplace profitieren Sie von 100 % Datendurchgängigkeit sowie höchster Präzision und Zuverlässigkeit in der Herstellung.
- ✓ 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.
- ✓ Reproduzierbare Qualität**

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

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



## Hochleitfähiges Kupfer für den 3D-Druck

	Reinkupferanteil	Dichte	Bruchdehnung	Zugfestigkeit	Elektrische Leitfähigkeit
<b>RS-CU</b>	99%	8,8 g/cm <sup>3</sup>	20 ± 5 %	220 ± 30 MPa	bis zu 50 MS/m
<b>CU</b>	100%	8,9 g/cm <sup>3</sup>	50 ± 10 %	220 ± 10 MPa	bis zu 57 MS/m

## Nachteile herkömmlich gefertigter Induktoren

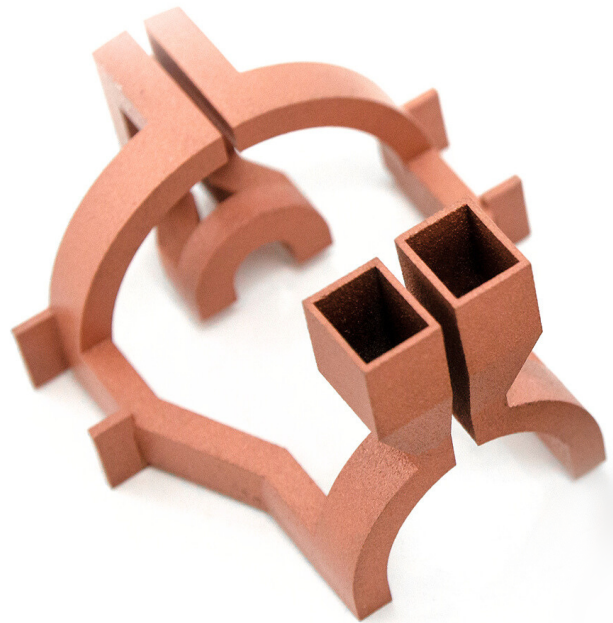
1. Lötstellen verursachen Störungen im Stromfluss und sorgen für hohen Energieverlust. Je komplexer die Induktorform, desto mehr Lötstellen werden benötigt.

2. Die Qualität ist in Handarbeit nicht eins zu eins reproduzierbar. Die Lebensdauer zweier Induktoren mit identischer Form kann daher stark schwanken.

3. Die manuelle Fertigung schränkt bei der Formgebung ein. Aufwändige Geometrien können durch händisches Biegen und Löten nicht umgesetzt werden.

4. Die manuelle Fertigung von Induktoren ist sehr anspruchsvoll und damit zeit- und kostenintensiv.

5. Durch kleinste Formabweichungen ergeben sich für den Anwender hohe Rüstzeiten. Das Einrichten eines neuen Induktors kann mehrere Wochen dauern.



## So funktioniert 3D-Druck auf dem PROTIQ Marketplace

### ✓ Erstellung Ihrer 3D-Datei

Erstellen Sie Ihr individuelles 3D-Objekt selbst, nutzen Sie unseren Engineering Service oder einen unserer kostenlosen 3D-Konfiguratoren.

### ✓ Sie konfigurieren Ihr 3D-Objekt

Laden Sie eigene CAD-Dateien hoch und konfigurieren 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 einem der über 40 Anbieter des PROTIQ Marketplace ein.

### ✓ Sie erhalten Ihr Produkt

Die Fertigung Ihres 3D-Objekts kann sofort nach Eingang der Bestellung beginnen, sodass Ihr Produkt schnellstmöglich lieferfertig ist.



# Induktionshärten in der Industrie

Induktionshärten hat sich als unverzichtbares Verfahren in der metallverarbeitenden Industrie etabliert. Dank seiner Präzision und Schnelligkeit ist es die Methode der Wahl für die Härtung von Bauteilen, die äußerst hohen Belastungen ausgesetzt sind. Diese Technologie findet breite Anwendung in verschiedenen Bereichen, darunter Werkzeugbau, Fertigung von Getrieben, Nockenwellen und Zahnrädern.

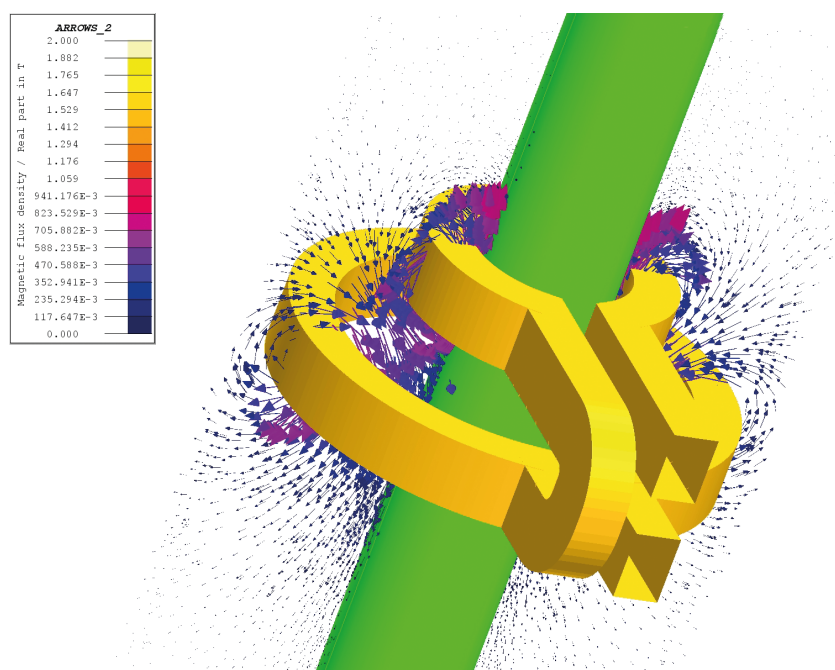
Darüber hinaus bietet Induktionshärten eine Reihe von Vorteilen gegenüber herkömmlichen Härtungsverfahren. Es ermöglicht eine zielgenaue Wärmebehandlung und minimiert so das Risiko von Verformungen und Rissen im Material. Dadurch ergibt sich eine erhöhte Lebensdauer der behandelten Bauteile, was zu einer verbesserten Kosteneffizienz führt. Kurze Zykluszeiten und die Möglichkeit der Integration in automatisierte Fertigungsprozesse machen es zu einer besonders wirtschaftlichen Option für moderne Produktionsstätten.

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.

Auf dem PROTIQ Marketplace 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 können zum Beispiel mithilfe der Magnetfeldsimulation die ideale Grundform für Ihre Induktoren ermitteln. Auf diese Weise lässt sich die Effizienz induktiver Wärmeerzeugung deutlich verbessern.



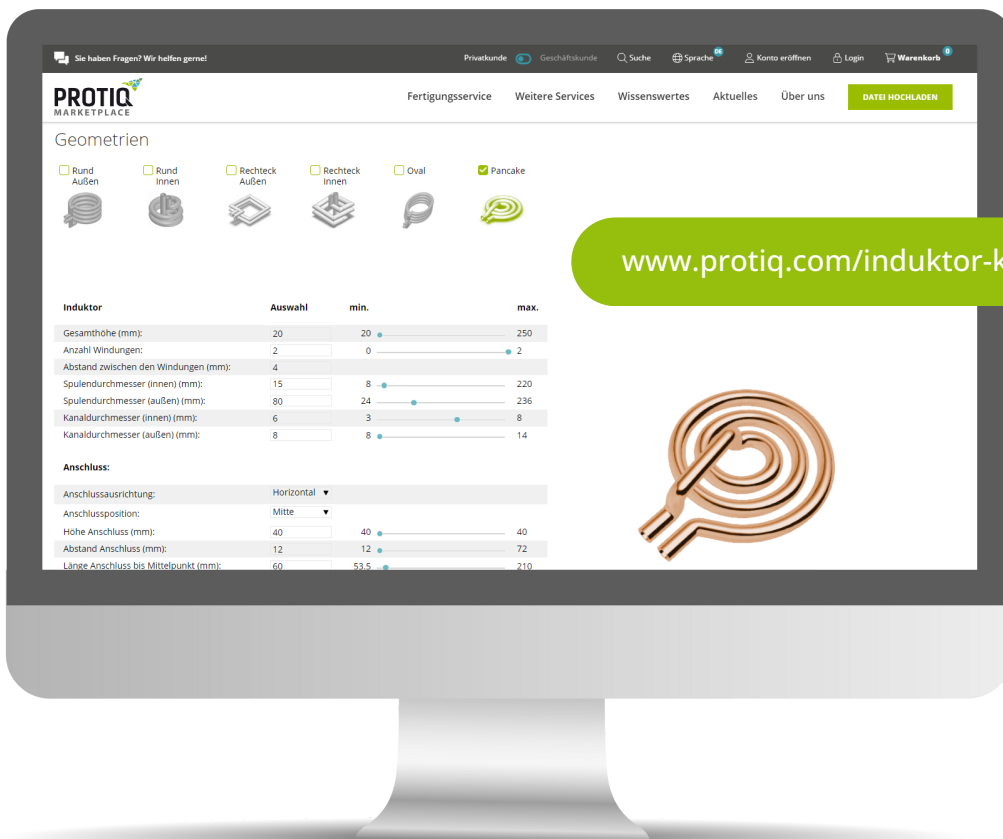
Die Simulation des Magnetfeldes zeigt, an welchen Stellen die elektromagnetische Wirkung in das Bauteil eindringt.

# 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 Baukastenprinzip 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. Diese unmittelbare Verfügbarkeit beschleunigt nicht nur Ihre Time-to-Market, sondern ermöglicht auch eine höhere Flexibilität in der Produktentwicklung. Darüber hinaus setzen wir auf höchste Qualitätsstandards, um sicherzustellen, dass Ihr Induktor den spezifischen Anforderungen Ihrer Anwendungen gerecht wird.

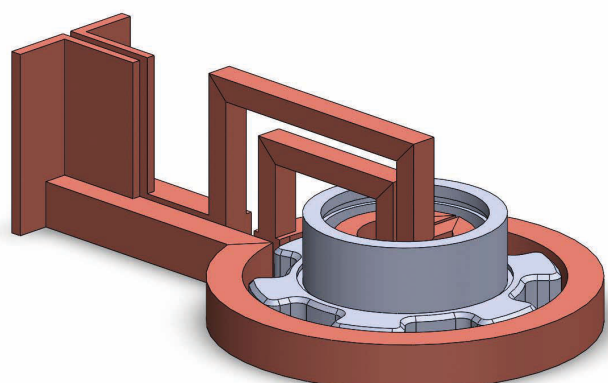
## Vorteile des Induktor-Konfigurators

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



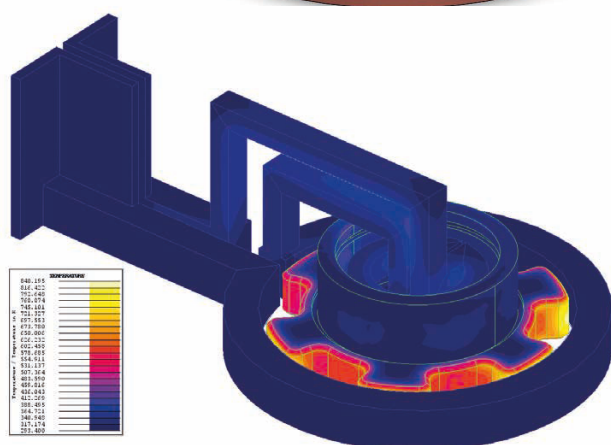


# Optimierung von Induktoren



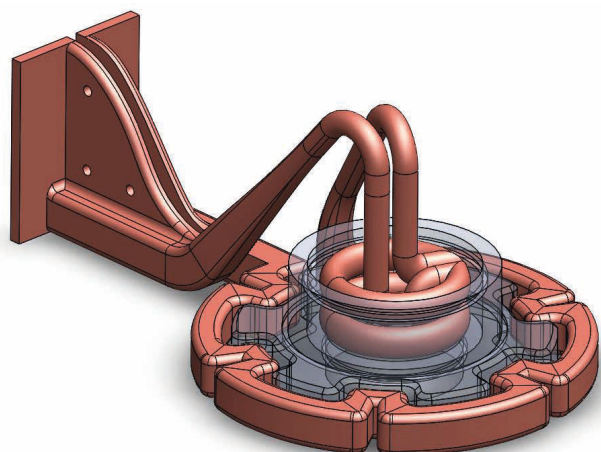
## Schritt 1

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.



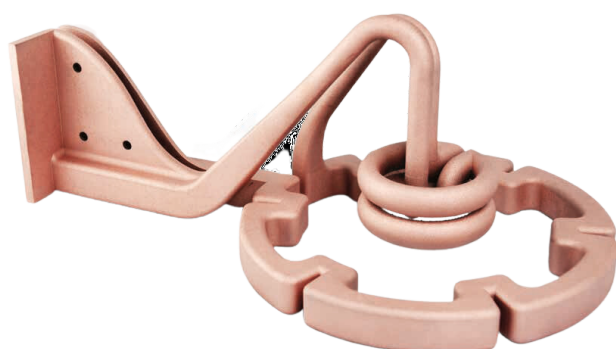
## Schritt 2

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 Kupferrohrs 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.



**PROTIQ GmbH**

*A Phoenix Contact Company*  
Flachmarktstraße 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

**[WWW.PROTIQ.COM](http://WWW.PROTIQ.COM)**