



WERKSTOFFKOMPETENZ

KUPFER-3D-DRUCK BEI PROTIQ

Induktoren, Wärmetauscher und Kühlkomponenten
aus hochleitfähigem Kupfer

seit 2013
Kupfer im 3D-Druck

58 MS/m
elektrische Leitfähigkeit
(Reinkupfer, 100 % IACS)

415 W/(m·K)
Wärmeleitfähigkeit
(Reinkupfer)

4
Kupferwerkstoffe auf dem
PROTIQ Marketplace

KUPFER: IDEAL FÜR STROM UND WÄRME, ANSPRUCHSVOLL IM 3D-DRUCK

Kupfer leitet Strom und Wärme besser als fast alle anderen technischen Metalle. Damit ist es der Werkstoff für Bauteile, die Strom führen oder Wärme abführen: Induktoren, Kühlkörper, Wärmetauscher und Stromschienen. Im 3D-Druck entstehen sie direkt aus CAD-Daten und ohne Werkzeuge – auch in Geometrien, die sich konventionell kaum fertigen lassen, etwa mit integrierten Kühlkanälen.

Gleichzeitig gehört Kupfer im 3D-Druck zu den anspruchsvollsten Werkstoffen: Mit Standardparametern lässt es sich nicht zuverlässig fertigen. Gefragt ist Erfahrung in Prozessentwicklung und Werkstoffbeherrschung – und die hat PROTIQ wie kaum ein anderer: Als weltweit erster Anbieter haben wir hochleitfähiges Kupfer im Laserschmelzen verarbeitet und gehören heute zu den führenden Spezialisten für Kupfer-3D-Druck.

DREI GRÜNDE, WARUM KUPFER SCHWIERIG IST

► Reflexion

Kupfer wirft einen Großteil der eingestrahlten Laserenergie zurück. Das Pulver aufzuschmelzen ist deutlich schwieriger als etwa bei Edelstahl.

► Wärmeleitung

Die Wärme fließt schnell aus dem Schmelzbereich ab. Werkstoff, Laser, Prozessführung und Geometrie müssen genau aufeinander abgestimmt sein.

► Reinheit

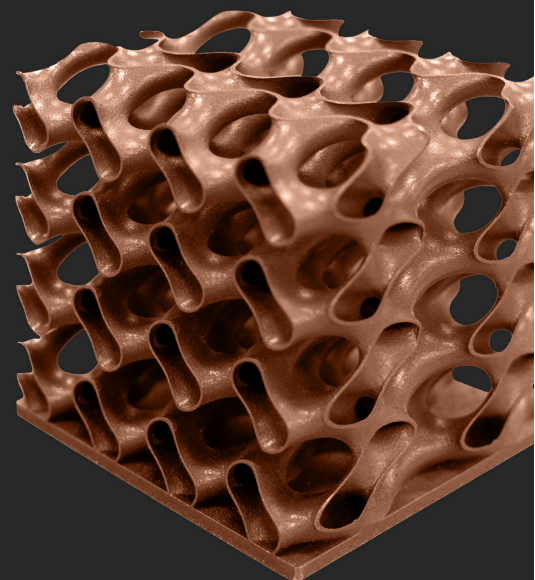
Schon geringe Verunreinigungen oder Sauerstoff mindern die Leitfähigkeit. Pulverhandling, Schutzgas und Qualitätssicherung sind entscheidend.

So fertigen wir: selektives Laserschmelzen (SLM)

Die Anlage trägt Kupferpulver Schicht für Schicht auf eine Bauplattform auf. Ein Laser schmilzt es gezielt dort auf, wo das Bauteil entsteht – direkt aus den CAD-Daten und in einem Stück.

VOM „FUNKTIONIERT NICHT“ ZUM SERIENWERKSTOFF

- 2011** „Kupfer im Laserschmelzen? Funktioniert nicht.“ – so die gängige Meinung.
- 2012** Erste Funktion unserer selbst entwickelten Laserschmelzanlage.
- 2013** Versuchsreihen mit Fraunhofer, Ende 2013 der Durchbruch: als weltweit erster Anbieter hochleitfähiges RS-Kupfer im Laserschmelzen.
- 2014** Kupferinduktoren in Serie, in Industriequalität.
- 2015** Simulationsbasierte Optimierung von Induktoren.
- 2018** Serienprozess für Reinkupfer – 100 % Kupfer.
- 2019** Als weltweit erster Anbieter Reinkupfer auf protiq.com bestellbar.
- 2022** Bestwerte bei Dichte und Leitfähigkeit – laut AM Power, „Study on Additive Manufacturing of Copper“.
- 2025** Reinkupfer low-O₂ für besonders hohe Reinheit.



WAS PROTIQ BEIM KUPFER-3D-DRUCK AUSZEICHNET

► Pionier im Kupfer-3D-Druck

Seit dem weltweit ersten Durchbruch 2013 entwickeln wir Pulverqualitäten, Scanstrategien und Prozessparameter für Kupfer ständig weiter.

► Engineering für Induktoren

Vom Induktor-Konfigurator über Sonderformen bis zur simulationsbasierten Optimierung.

► Eigene Werkstoffe und Prozesse

Reinkupfer, Reinkupfer low-O₂ und RS-Kupfer fertigen wir selbst – abgestimmt auf die jeweilige Anwendung.

► In der Praxis bewährt

In einem Kundenprojekt hielten optimierte, 3D-gedruckte Induktionsspulen 4- bis 6-mal länger.

KUPFERWERKSTOFFE IM ÜBERBLICK

Auf dem PROTIQ Marketplace stehen vier Kupferwerkstoffe zur Auswahl. Reinkupfer, Reinkupfer low-O₂ und RS-Kupfer fertigt PROTIQ in eigener Produktion.

Werkstoff	Was ihn auszeichnet	Elektr. Leitfähigkeit	Wärmeleitfähigkeit	Typische Bauteile
Reinkupfer	100 % Kupfer, höchste elektrische und thermische Leitfähigkeit	58 MS/m	415 ± 10 W/(m·K)	Induktoren, Kühlkörper, Wärmetauscher, Stromschienen
Reinkupfer low-O ₂	Besonders sauerstoffarm, für hohe Reinheit	auf Anfrage	auf Anfrage	Elektronikkühlung, Induktoren, tiefe Temperaturen
RS-Kupfer	Seit 2013 im Einsatz, bewährt bei Induktoren	51 MS/m (Rand), 32 MS/m (Kern)	265 W/(m·K)	Induktoren
CuCr1Zr	Legierung mit mehr Festigkeit und Härte	auf Anfrage	auf Anfrage	Kontaktbauteile, Elektroden

Reinkupfer

Elektrische Leitfähigkeit	58 MS/m
Wärmeleitfähigkeit	415 ± 10 W/(m·K)
Dichte	8,9 g/cm ³
Zugfestigkeit (wie gebaut)	220 ± 10 MPa
Streckgrenze Rp0,2 (wie gebaut)	140 ± 20 MPa
Bruchdehnung (wie gebaut)	50 ± 10 %

RS-Kupfer

Elektr. Leitfähigkeit (Rand / Kern)	51 / 32 MS/m
Wärmeleitfähigkeit	265 W/(m·K)
Dichte	8,7–8,9 g/cm ³
Minimale Wandstärke	0,6 mm
Mediendicht ab Wandstärke	1 mm
Dichtigkeitsprüfung	6 bar Druckluft

Kennwerte laut PROTIQ-Materialdatenblatt; Werte für Reinkupfer low-O₂ und CuCr1Zr erhalten Sie auf Anfrage. Welcher Werkstoff zu Ihrem Bauteil passt, wählen Sie im Konfigurator – oder Sie fragen uns direkt. Wir beraten Sie gern.

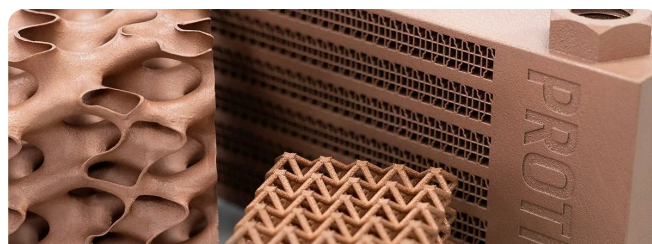
WOFÜR KUPFER AUS DEM 3D-DRUCK EINGESETZT WIRD

Überall dort, wo Strom geleitet oder Wärme abgeführt werden muss – und die Geometrie den Unterschied macht.



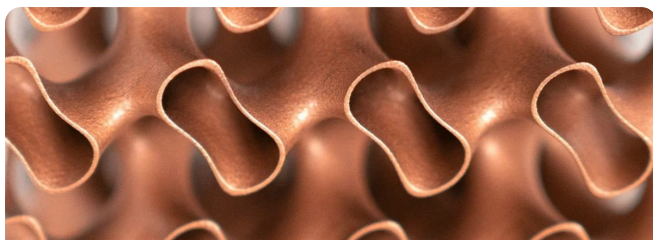
Induktoren

Hohle Kupferspulen mit integrierten Kühlkanälen für die induktive Erwärmung – exakt an das Werkstück angepasst, auch online konfigurierbar.



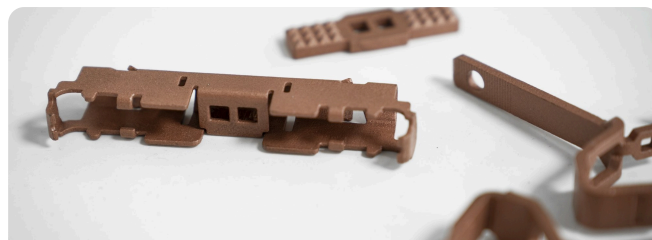
Wärmetauscher und Kühlkörper

Gekrümmte Kühlrippen, Gitter- und Gyroidstrukturen und integrierte Kanäle vergrößern die Oberfläche und verbessern den Wärmeübergang.



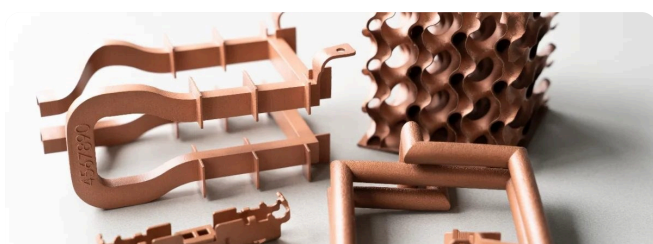
Rechenzentren und Elektronik Kühlung

Cold Plates und Kühlkomponenten mit Freiform-Kühlkanälen – von der Chipkühlung bis zur Flüssigkeitskühlung im Rechenzentrum.



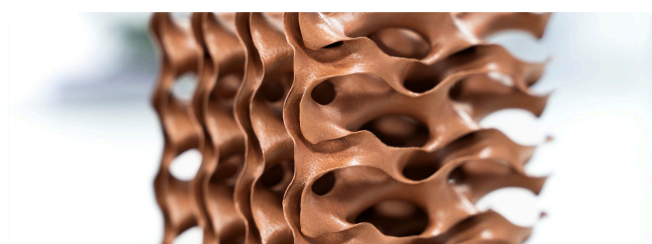
Stromschienen und Leiterstrukturen

Stromführende Bauteile, genau an den verfügbaren Bauraum angepasst – in Geometrien, die konventionell nur eingeschränkt möglich sind.



Funktionsprototypen

Kontaktbauteile, Verbindungselemente und Leiterstrukturen wie Hairpin-Windungen für Elektronik und Elektromotoren – werkzeuglos und schnell.



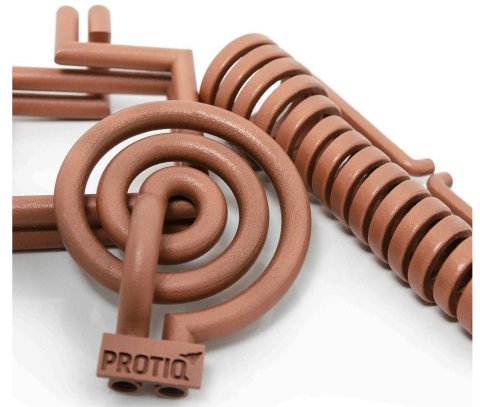
Tiefe Temperaturen

In kryogenen Anwendungen mindern schon geringe Verunreinigungen die Leitfähigkeit. Hier ist die hohe Reinheit von Reinkupfer low-O₂ gefragt.

INDUKTOREN AUS KUPFER

PROTIQ fertigt Induktoren für die induktive Erwärmung aus 100 % Kupfer im selektiven Laserschmelzen – in einem Stück, ohne Löt- oder Schweißstellen und direkt aus CAD-Daten.

Bei der induktiven Erwärmung entsteht die Wärme direkt im Werkstück – dort, wo die Spule Wirbelströme induziert. Je genauer der Induktor auf das Werkstück abgestimmt ist, desto gezielter lässt sich die Wärme steuern. Deshalb braucht jede Bauform ihren eigenen Induktor.



Randschichthärten

Hoch beanspruchte Bauteile wie Getriebekomponenten werden lokal erhitzt und abgeschreckt – für mehr Härte an der Oberfläche.

Induktionslöten

Zwei Bauteile werden präzise und homogen erwärmt und mit einem Lot stoffschlüssig verbunden.

Warmmassivumformung

Bauteile werden vor der Umformung erwärmt – mit einem präzisen Induktor nur an den benötigten Stellen.

FERTIGUNG IM VERGLEICH

	Biegen und Löten	CNC-Fräsen und Fügen	3D-Druck (SLM)
Herstellung	Händisches Biegen und Löten	Fräsen aus dem Vollen, danach Schweißen oder Löten	Direkt aus CAD-Daten, in einem Stück
Geometrie	Nur relativ einfache Formen	Komplexere Formen	An das Werkstück angepasst, auch rechteckige oder abgeflachte Profile
Kühlkanäle	–	Nur durch Fügen von Einzelteilen	Direkt integriert
Fügestellen	Lötstellen	Schweiß- oder Lötnahte als mögliche Schwachstelle	Keine
Aufwand	Sehr aufwendig, geringe Wiederholgenauigkeit	Langwierig und kostenintensiv	Ohne Werkzeuge, hohe Wiederholgenauigkeit, Lieferung in wenigen Tagen

VORTEILE UND KONSTRUKTION

- ▶ Individuelle Induktorgeometrien ohne Werkzeugkosten
- ▶ Integrierte Kühlkanäle und sehr kompakte Bauformen
- ▶ Längere Standzeit durch die fugenlose Bauweise
- ▶ Freie Querschnitte und Spulenformen, minimale Biegeradien
- ▶ Exakte Umsetzung der CAD-Daten, hohe Wiederholgenauigkeit
- ▶ Präzisere Erwärmung und kürzere Taktzeiten

INDUKTOREN RICHTIG KONSTRUIEREN

250 × 250 × 280 mm

Bauteilgröße in einem Stück; größere Induktoren in Segmenten

ab 1,0 mm

Wanddicke mit garantierter Dichtheit bis 6 bar Luftdruck

ab ca. 3 mm

Innendurchmesser, damit das Baupulver vollständig entfernt werden kann

ca. 1–2 mm

Abstand der Windungen, damit Stützstrukturen entfernbar bleiben

Jeder Querschnitt

Rund, rechteckig, abgeflacht oder frei geformt

Ohne Fügestellen

Keine Schweiß- oder Löt-nahte, auch bei komplexen Formen

Kombinieren

Induktorkopf gedruckt, Anschlussbacken konventionell – oft am wirtschaftlichsten

Früh abstimmen

Bei filigranen Formen prüfen wir Ihre Konstruktion gern vorab

Richtwerte für die Phase, in der Ihre CAD-Daten entstehen; die tatsächlich möglichen Werte hängen von der Geometrie ab. Dünnere Wände ab ca. 0,5 mm sind nach Abstimmung möglich, dann ohne Dichtheitsgarantie.

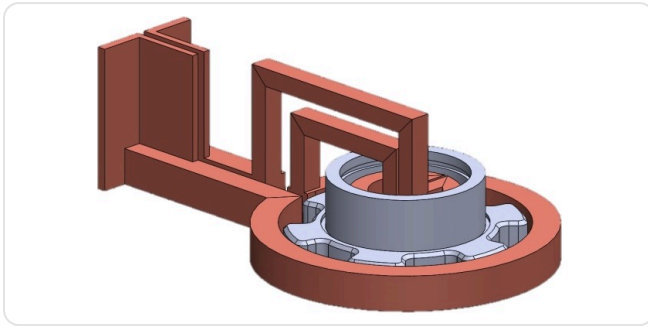


„Unternehmen profitieren bei Auslegung und Einsatz von Kupferinduktoren maßgeblich von der additiven Fertigung. Kurze Lieferzeiten, mehr Designfreiheit und eine hohe Wiederholgenauigkeit schaffen messbare Vorteile: Optimierte Spulenformen steigern die Effizienz des Erwärmungsprozesses und reduzieren Taktzeiten.“

Max Wissing, Technischer Vertrieb, PROTIQ GmbH

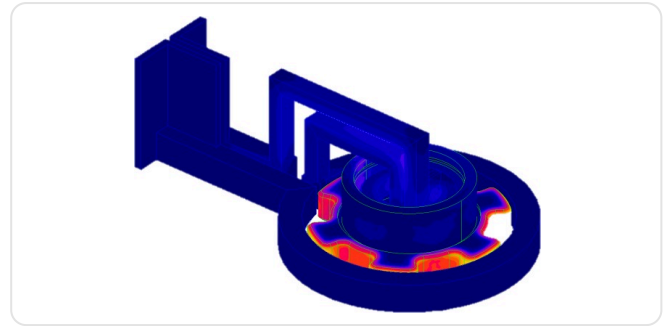
SIMULATION UND OPTIMIERUNG

Bis zur optimalen Spule werden konventionell viele Versuchsgeometrien gefertigt und in realen Erwärmungsversuchen getestet. Mit einer numerischen Simulation machen wir das Verhalten der Spule sichtbar, ermitteln eine optimierte Geometrie – und fertigen sie anschließend aus hochleitfähigem Kupfer.



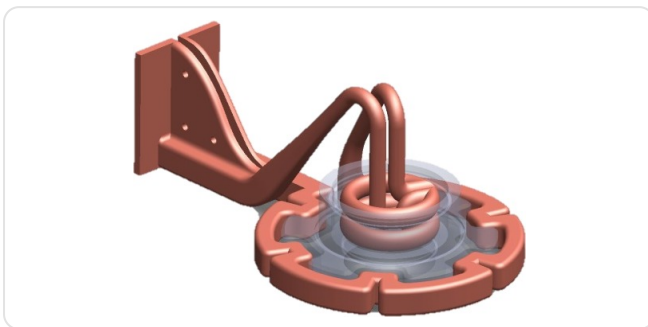
1 Ausgangslage

Gebogener und gelöteter Induktor: Die Spulenform folgt dem größten Durchmesser, das Werkstück wird ungleichmäßig erwärmt.



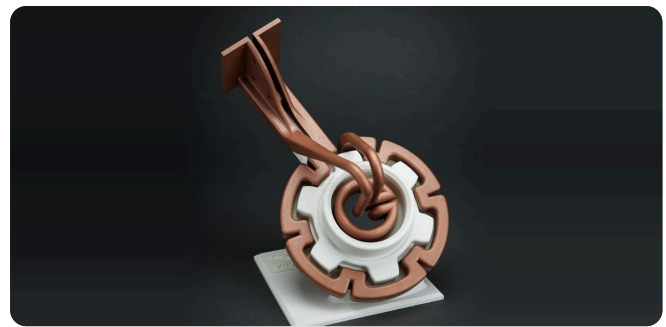
2 Simulation

Die Simulation zeigt Temperaturverteilung, Stromdichte und Magnetfeld – und wo das Bauteil zu heiß oder zu kalt wird.



3 Optimierte Geometrie

Die Spule schmiegt sich gleichmäßig an das Bauteil an – für gleichmäßige Temperaturen. Konventionell kaum herstellbar.



4 Gedruckter Induktor

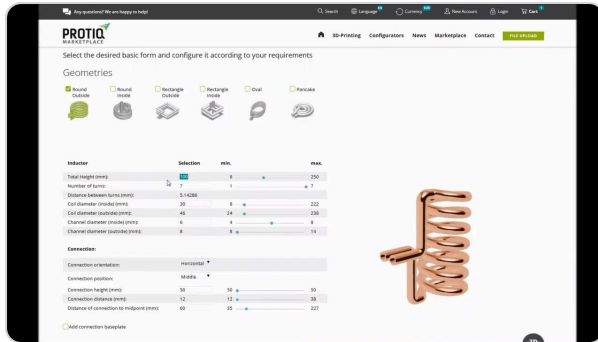
Aus Kupfer lasergeschmolzen: konstantere Bauteilqualität, weniger Ausschuss und kürzere Taktzeiten.

SO PROFITIEREN SIE

- ▶ Einblick in sonst nicht sichtbare Prozesseinflüsse
- ▶ Spulen mit idealen Eigenschaften für Ihren Prozess
- ▶ Weniger reale Versuche – das spart Zeit und Kosten
- ▶ Optimierte Spulen aus Reinkupfer in wenigen Tagen

DER INDUKTOR-KONFIGURATOR

Für einfache Spulenformen brauchen Sie kein CAD-Programm: Im kostenlosen Konfigurator passen Sie eine von sechs Grundformen nach dem Baukastenprinzip an. Der Preis wird automatisch ermittelt, und die Fertigung kann direkt nach der Bestellung beginnen.



- 1 **Grundform auswählen**
Sechs Standardformen für Innen- und Außenfeldinduktoren.
 - 2 **Induktor konfigurieren**
Höhe, Querschnitt, Durchmesser, Windungen, Spulen- und Kanalmaße.
 - 3 **Anschluss definieren**
Optional mit Halterung und individueller Grundplatte.
 - 4 **Bestellen**
Preis automatisch online, direkt in Reinkupfer oder RS-Kupfer bestellbar.
- ▶ Ohne CAD-Kenntnisse, intuitive Bedienung
 - ▶ Mehr als 20 Parameter, Preis in Echtzeit
 - ▶ Garantierte Druckbarkeit jeder Konfiguration
 - ▶ Lieferung wenige Tage nach der Bestellung

SO KOMMEN SIE ZU IHREM INDUKTOR

EINFACHE SPULENFORM

Induktor online konfigurieren

Grundform wählen, anpassen und direkt bestellen.

BESTEHENDES DESIGN

CAD-Daten hochladen

Kupferwerkstoff wählen, Angebot automatisch erhalten, online bestellen.

SONDERFORM UND OPTIMIERUNG

Projekt besprechen

Bei komplexen Geometrien oder Simulation beraten wir Sie persönlich.

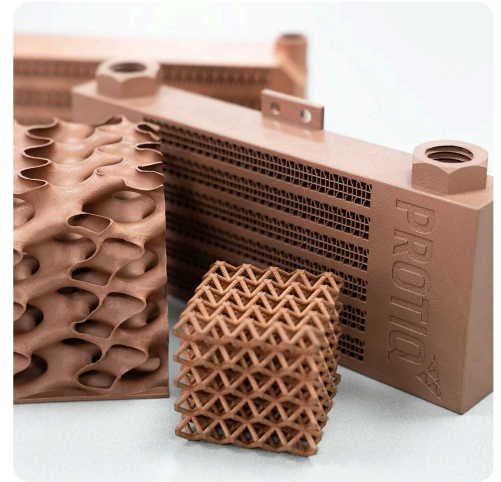
Jetzt Induktor online konfigurieren

protiq.com/induktor-konfigurator ▶

WÄRMETAUSCHER UND KÜHLKÖRPER

Im 3D-Druck entstehen Wärmetauscher und Kühlkörper mit innenliegenden Kanälen, Gyroid- und Gitterstrukturen – mehr Oberfläche für den Wärmeübergang auf weniger Bauraum.

Kanäle, Oberflächen und Wandstärken werden nach der Funktion ausgelegt statt nach den Grenzen des Werkzeugs. Weil keine Werkzeuge nötig sind, lohnt sich das schon für Prototypen, Funktionsmuster, Einzelstücke und Kleinserien.



STRUKTUREN, DIE DEN UNTERSCHIED MACHEN

► Gyroidstrukturen

Teilen den Raum in zwei getrennte, ineinander verschlungene Kanalsysteme – ideal, um zwei Medien aneinander vorbeizuführen.

► Freiform-Kanäle

Folgen der Kontur der Wärmequelle – für gleichmäßige Wärmeübertragung und geringen Druckverlust.

► Gitterstrukturen

Feine, offene Gitter vergrößern die Oberfläche bei geringem Materialeinsatz und Gewicht.

► Rippen und Kühlstifte

Dreidimensional gekrümmt oder dicht gesetzt – für besseren Wärmeübergang an Luft oder Flüssigkeit.

Kupfer oder Aluminium?

Werkstoff	Wärmeleitfähigkeit	Dichte	Geeignet für
Reinkupfer	415 ± 10 W/(m·K)	8,9 g/cm ³	Maximale Wärmeübertragung auf kleinem Raum, z. B. Cold Plates
Aluminium (AlSi10Mg)	103 ± 5 W/(m·K)	2,67 g/cm ³	Leichte Wärmetauscher, wenn Gewicht zählt

Kupfer leitet Wärme rund viermal so gut wie AlSi10Mg; Aluminium wiegt nur rund ein Drittel. Auch Medium, Korrosion und mechanische Belastung entscheiden mit. Werte laut PROTIQ-Materialdatenblatt, lasergeschmolzen.

Leistungselektronik

Rechenzentren

Industrie und Maschinenbau

Elektrische Antriebe und Batteriesysteme

Medizintechnik

RECHENZENTREN UND STROMSCHIENEN

KI und Hochleistungsrechnen lassen die Leistungsdichten steigen – die Kühlung wird zur zentralen Aufgabe. Klassische Luftkühlung stößt an Grenzen, Flüssigkeitskühlung gewinnt an Bedeutung. Kupfer aus dem 3D-Druck ermöglicht Kühlbauteile, die sich konventionell kaum fertigen lassen.



Cold Plates

Kühlkanäle werden direkt in die Platte integriert und führen das Kühlmedium gezielt an die Hotspots – bei geringem Druckverlust und damit weniger Pumpenergie.

Kühlkörper

Gitterstrukturen, komplexe Lamellen und organisch optimierte Kühlflächen vergrößern die Oberfläche – besonders wirksam mit Kupfer.

Wärmetauscher

Strömungskanäle für gleichmäßige Wärmeübertragung und geringen Druckverlust bei weniger Bauraum.

- ▶ Freiform-Kühlkanäle statt gerader Bohrungen
- ▶ Auslegung auf geringen Druckverlust
- ▶ Mehr Kühlfläche bei gleichem Bauraum
- ▶ Mehrere Funktionen in einem Bauteil

Stromschienen und Stromverteiler

GPU-Cluster und KI-Anwendungen brauchen eine zuverlässige Stromverteilung bei steigenden Leistungsdichten und wenig Bauraum. Im 3D-Druck entstehen Stromschienen, Stromverteiler und Verbindungselemente aus Reinkupfer, die genau an den verfügbaren Platz angepasst sind – sinnvoll bei komplexen Geometrien, Prototypen und Kleinserien.



IHR KUPFERPROJEKT MIT PROTIQ

Gefertigt in Blomberg, nach ISO 9001 zertifiziert – und auf Wunsch mit individueller Qualitätssicherung.

Prüfverfahren, die wir für Sie anbieten

- ▶ **Leitfähigkeit** per Wirbelstromprüfung
- ▶ **Dichtheit** per Druckprüfung mit Druckluft bis 6 bar
- ▶ **Maßhaltigkeit** per Computertomographie und Streifenlichtprojektion
- ▶ **Bauteildichte** nach dem Archimedischen Verfahren
- ▶ **Härte** nach Vickers (DIN EN ISO 6507)
- ▶ **Festigkeit** per Zugprüfung (DIN EN ISO 6892)
- ▶ **Oberflächenrauheit** per Tastschnittverfahren
- ▶ **Gefüge** per metallographischer Untersuchung

Datei hochladen

3D-Daten auf protiq.com hochladen, Kupferwerkstoff wählen, Preis sofort sehen.

Induktor konfigurieren

Einfache Spulenformen im kostenlosen Induktor-Konfigurator.

Projekt besprechen

Sonderformen, Simulation oder low-O₂:
+49 5235 34 38 00



Diese Broschüre und mehr zum Download

Informationsmaterial im **Downloadbereich**, Fachbeiträge zu Kupfer und Induktoren unter protiq.com/downloads.

PROTIQ GmbH

A Phoenix Contact Company
Flachmarktstraße 54
32825 Blomberg, Deutschland

Kontakt

Telefon +49 5235 34 38 00
service@protiq.com
www.protiq.com

Online

Datei hochladen:
protiq.com/konfigurator
Induktor-Konfigurator:
protiq.com/induktor-konfigurator