

ÄTZTECHNIK IN DER METALLBEARBEITUNG:  
KOMPROMISSLOSE PRÄZISION

# Die Grenzen der traditionellen Bearbeitungsverfahren überwinden



Precision Micro

# Neue Lösung für ein alltägliches Problem

In vielen Branchen – z.B. in der Automobilindustrie, der Luftfahrttechnik, der Elektronikproduktion und in der Medizintechnik – werden komplexe Präzisionskomponenten aus Metall benötigt, und zwar in sehr hohen Stückzahlen.

Die gängigsten Verfahren zur Produktion dieser Komponenten sind Stanzen (Umformen) und Laserschneiden (Abtragen). Die Verfahren sind bewährt und effizient. Sie stellen den Konstrukteur und auch die Fertigungstechnik aber vor Herausforderungen und Grenzen in drei Bereichen:

- **Thermische und mechanische Belastbarkeit**
- **Entgraten**
- **Werkstoffeigenschaften**

Hinzu kommt das Problem verschiedener Prozesshürden auf dem Weg von der Forschung & Entwicklung bis zur Produktion.

Kurz: Die Anwendungsmöglichkeiten beider Techniken sind begrenzt.

Das vorliegende Whitepaper beschreibt diese Grenzen und zeigt,

wie sie durch ein etwas weniger bekanntes Fertigungsverfahren

– das chemische Ätzen oder Metallätzen – überwunden

werden können.

## **Thermische und mechanische Belastung des Werkstücks**

In der Metallbearbeitung begrenzt die Belastbarkeit des zu fertigenden Bauteils häufig die Effizienz oder Einsatzmöglichkeit des Verfahrens. Bei der Produktion von Präzisionskomponenten aus Blech gibt es hauptsächlich zwei Arten der Belastbarkeit, die hier limitierend wirken: die thermische Beanspruchung (beim Laserschneiden) und die mechanische Beanspruchung der Schneidkante durch das Werkzeug (beim Stanzen).

### **Thermische Belastung**

Bei Bearbeitungsverfahren ist Wärme immer ein Nebenprodukt. Beim Laserschneiden von Blechen entsteht besonders viel Wärme. Der Laser als Wärmequelle bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit entlang der Schnittkante. Das kann zu hohen thermischen Spannungen führen, die das Bauteil vielleicht nur im Mikrometerbereich verformen. Aber da es sich um Präzisionsbauteile handelt, können dadurch schon die vorgeschriebenen Toleranzen überschritten werden.

Wissenschaftliche Studien und Versuchsreihen haben dazu geführt, dass man die thermische Beanspruchung und die daraus resultierenden Maßabweichungen recht gut modellieren und vorhersagen kann. Aber die Belastung selbst lässt sich beim Laserschneiden nicht verringern oder gar beseitigen.

### **Mechanische Belastung durch das Schneidwerkzeug**

Die eben beschriebenen Einschränkungen durch die thermische Belastung veranlassen Ingenieure häufig, das Stanzen oder auch das Wasserstrahlschneiden als Alternative zu nutzen. Hier wird in der Tat geringere thermische Belastung eingetragen. Aber an ihre Stelle tritt die hohe mechanische Belastung der Schneidkante durch das Schneidwerkzeug. Die physikalische Beanspruchung durch den Metall-Metall-Kontakt bei hoher Kraft und Geschwindigkeit kann sich nachteilig auf die Ebenheit des Bauteils auswirken und letztlich auch wieder die Qualität der Komponenten beeinträchtigen. Das kann man zwar durch Nachbearbeitungsverfahren (Richten) kompensieren, aber das bringt zusätzlichen Zeit- und Kostenaufwand mit sich.

## Ziel: Over-Engineering vermeiden

Die Verfahrensbeschreibungen zeigen: Ingenieure sind sehr einfallsreich, wenn es darum geht, Unzulänglichkeiten von Bearbeitungsverfahren auszugleichen. Dieser Einfallsreichtum ist aber letztlich nur dann sinnvoll eingesetzt, wenn es keine (einfacheren) Alternativverfahren gibt, und die gibt es hier. Chemisches Ätzen beseitigt das Problem der Wärmeübertragung beim Laserschneiden und auch die physikalische Belastung mechanischer Verfahren.

Somit entfällt das Risiko der Verformung oder der fehlenden Maßhaltigkeit und die daraus resultierenden Qualitätsprobleme verringert werden. Auch unter anderen Aspekten bietet das Verfahren deutliche Vorteile – zum Beispiel im Hinblick auf das Entgraten.

## **Erzeugen einer perfekten Oberfläche – im Mikrometerbereich**

Sowohl mit Laserschneiden als auch mit Stanzen lassen sich Bauteile hoch präzise bearbeiten. Aber durch Wärmeentwicklung und mechanische Einwirkungen kommt es unweigerlich zur Gratbildung.

### **Die Auswirkungen von Gratbildung und Entgraten**

Auf die klassischen Bearbeitungsverfahren wie Fräsen, Drehen und Schleifen folgt oft zwingend das Entgraten. Denn die Gratbildung kann die Abmessungen und die Funktion von Präzisionskomponenten beeinträchtigen. Das gilt auch für den kleinsten Grat.

Deshalb muss auch nach dem Laserschneiden und dem Stanzen entgratet werden – in der Regel durch mechanische (Trowalisieren) oder elektrochemische Mittel, je nach Werkstoff, Bauteil und Einsatzzweck. Auch dieses Verfahren kann einen erheblichen Anteil der gesamten Herstellungskosten ausmachen. Deshalb sind die Hersteller bestrebt, auf das Entgraten zu verzichten.

## **Bearbeiten ohne zu entgraten – mit Ätzverfahren**

Beim chemischen Ätzen entstehen keine thermischen und mechanischen Spitzenbelastungen – und auch keine Grate, die aufwändig entfernt werden müssen. Denn beim Ätzen wird weder Kraft noch Wärme eingesetzt. Deshalb gibt es auch kein Risiko, dass Spannungen oder Verformungen entstehen und somit auch keine Möglichkeit, Grate zu erzeugen. Das heißt: Man kann ohne Nachbearbeitungsverfahren auskommen.

Das gilt selbst für höchst präzise Bauteile, an die besondere Anforderungen gestellt werden – wie zum Beispiel Federelemente in Satelliten oder Komponenten in sicherheitskritischen ABS-Systemen, in Kraftstoffeinspritzsystemen oder korrosionsbeständigen Mikrofiltern. Ihre Spezifikationen und Toleranzen werden zu 100% eingehalten – ohne Nacharbeit.



## **Angepasst an die Eigenschaftsprofile unterschiedlicher Metalle**

In der Entwicklungsphase jedes Projekts ist es absolut unerlässlich, die zu verwendenden Werkstoffe mit ihren physikalischen Eigenschaften und Grenzen zu kennen.

### **Die Herausforderung: Das Spektrum ist breit**

Innerhalb der industriell genutzten Metallwerkstoffe – von Stahl über Edelstahl, Aluminium und Titan bis zu Speziallegierung – gibt es eine sehr große Bandbreite an Eigenschaften wie Härte und Elastizität. Der Bearbeitungsprozess muss diese Eigenschaften selbstverständlich berücksichtigen. Sonst werden die Bauteile nicht die relevanten Qualitäts- und Leistungsstandards erfüllen.

Rostfreier Stahl wird dank seiner Korrosionsfestigkeit in vielen Anwendungsbereichen eingesetzt wird. Aluminium kommt zum Einsatz, wenn Leichtbau gefragt ist – zum Beispiel in der Luft- und Raumfahrt sowie für Wärmetauscheranwendungen. Es ist aber schwerer zu bearbeiten, weil die Legierungen beim Stanzen zur Kaltverfestigung neigen. Und beim Laserschweißen bereiten die

hohen Wärmereflexionseigenschaften Probleme.

Am anderen Ende der (Härte-)Skala wird vielfach Titan verwendet, insbesondere bei medizinischen Anwendungen – von Schädel- und Zahnimplantaten bis zu Batteriekollektorgittern von Herzschrittmachern. Hier stellt die Formgebung komplexer und hochpräziser Komponenten eine Herausforderung dar, denn Titan weist das höchste Festigkeits-Dichte-Verhältnis aller metallischen Elemente auf. Deswegen und aufgrund seiner geringen Wärmeleitfähigkeit und chemischen Reaktivität ist es außerordentlich schwierig, diesen Werkstoff ohne potenzielle Schäden an Werkzeugen und Ausrüstung in Form zu bringen.

Dies sind nur Beispiele für die Beschränkungen, die bei der Bearbeitung von Werkstoffen zu beachten sind. Sie zeigen schon die Grenzen der traditionellen Bearbeitungstechniken auf und legen den Schluss nahe, dass andere Verfahren wünschenswert sind.

## Das Unmögliche möglich machen

Damit kommt das chemische oder fotochemische Ätzen ins Spiel.

Das Verfahren: Auf ein Blech wird mit einer CAD-Datei eine Fotolackmaske gedruckt und selektiv mit chemischen Ätzmitteln beaufschlagt. Das ist eine schonende, hoch genaue und reproduzierbare Art und Weise, komplexe Metallbauteile herzustellen.

Während die konventionelle (Blech-)Bearbeitung, d.h. Laserschneiden und Stanzen, bei vielen Werkstoffen und Produkten auf erhebliche Schwierigkeiten stößt, lassen sich auch in diesen Fällen mit dem Ätzen zumeist die gewünschten Bauteile herstellen, und das wirtschaftlich und effizient, mit komplexen Designs und engen Toleranzen.

Auch die Oberflächenqualität ist in diesen Fällen besser – ein entscheidender Faktor bei Präzisionskomponenten z.B. für die Medizintechnik, der sowohl für Aluminium als auch für Titan gilt.

## **Reduzierung von Vorlaufzeiten, Kosten und Komplexität – ohne Kompromisse**

Abgesehen von den technischen Fragestellungen spielen immer auch der Kostenfaktor und die Prozesssicherheit eine wichtige Rolle.

Wie behauptet sich hier das Ätzen gegenüber den Wettbewerbsverfahren Stanzen und Laserschneiden?

### **Ungewissheiten vermeiden**

Der größte Faktor, der die Qualität der Supply Chain beeinflusst, ist die Ungewissheit. Je komplexer der Prozess, desto größer.

Das gilt auch bei ausgeklügelter, datengetriebener Logistik. Auch unter diesem Aspekt bietet das Ätzen Vorteile. Denn der Anwender kann auf zusätzliche Prozesse wie Entgraten verzichten und er muss nicht mit den unvorhergesehenen Folgen von Materialspannungen oder mangelnder Maßhaltigkeit rechnen. Er kommt also schneller zum Ziel, mit einem schlankeren Prozess und geringeren Unsicherheiten.

## Kosten versus Komplexität

In der traditionellen Blechbearbeitung ist Komplexität oft ein anderer Begriff für Kosten. Die Verwendung von Nicht-Standard-Materialien, -Dicken und -Güteklassen sowie zusätzliche Werkzeug- und Prozessanforderungen erhöhen die Komplexität und treiben die Kosten. Auch das trifft beim Ätzen nicht zu. Denn das Verfahren bietet eine nahezu unbegrenzte geometrische Anpassungsfähigkeit und Komplexität. Und es arbeitet mit Präzisionstoleranzen, Genauigkeiten und einer Wiederholbarkeit, die es selbst für die extremsten Anwendungen geeignet machen. Und diese Komplexität erreicht man ohne den Aufwand und die Kosten für zusätzliche Werkzeuge oder Prozesse. Das heißt: Im Prozess wird Komplexität reduziert, und damit werden Kosten gesenkt.

## **Chemische gegen konventionelle Blechbearbeitung: Ein Vergleich**

Laserschneiden und Stanzen sind die beiden am häufigsten verwendeten Bearbeitungsverfahren bei der Produktion von Präzisionsteilen aus Metall. Es gibt aber noch andere Optionen wie Wasserstrahlschneiden und Galvanoformung. Alle haben ihre Berechtigung. Wie schneidet das Ätzen ab im Hinblick auf Flexibilität, Anwendungsmöglichkeiten und Performance? Der folgende Leitfaden gibt einen Überblick.



	ÄTZEN	LASER-SCHNEIDEN	STANZEN	DRAHT-ERO-DIEREN	WASSER-STRAHL-SCHNEIDEN	ELEKTROFORMEN
Abtastung	Niedrige Kosten	Niedrige Kosten	Hohe Kosten	Niedrige Kosten	Niedrige Kosten	Mittlere Kosten
Metalle	Fast alle Metalle	Fast alle Metalle	Fast alle Metalle	Leitfähige Metalle	Fast alle Metalle	Nickel und Kupfer
Härte	Keine Einschränkungen	Keine Einschränkungen	Schwierigkeiten mit weichen, harten oder spröden Metallen	Härte ist ein Faktor	Härte ist ein Faktor	Üblicherweise 200-670 HV
Spannungen	Keine Spannungen	Thermische Spannungen an der Schnittkante	Spannungen an der Schnittkante	Verformung, Verhärtung und strukturelle Veränderungen sind möglich	Begrenzte Spannungen an der Schnittkante	Geringe Spannungen
Grate	Keine Grate	Feine Grate	Teilweise Grate	Feine Grate	Feine Grate	Keine Grate
Werkzeugherstellung und Designänderungen	Schnell, einfach und kosteneffizient	Schnell, einfach und kosteneffizient	Kosten- und zeitaufwendig	Schnell, einfach und kosteneffizient	Schnell, einfach und kosteneffizient	Schnell, einfach und kosteneffizient
Übliche Vorlaufzeiten	Sieben Tage	Sieben Tage	Sechs Wochen bis sechs Monate	Sieben Tage	Sieben Tage	Sieben Tage
Toleranzen in % der Metalldicke	±10%	±5%	±10%	±10%	±15%	±5%
Können die Teile für einfaches Zählen und einfache Handhabung in Form von Blechen geliefert werden?	Ja	Ja	Schwierig	Ja	Ja	Ja

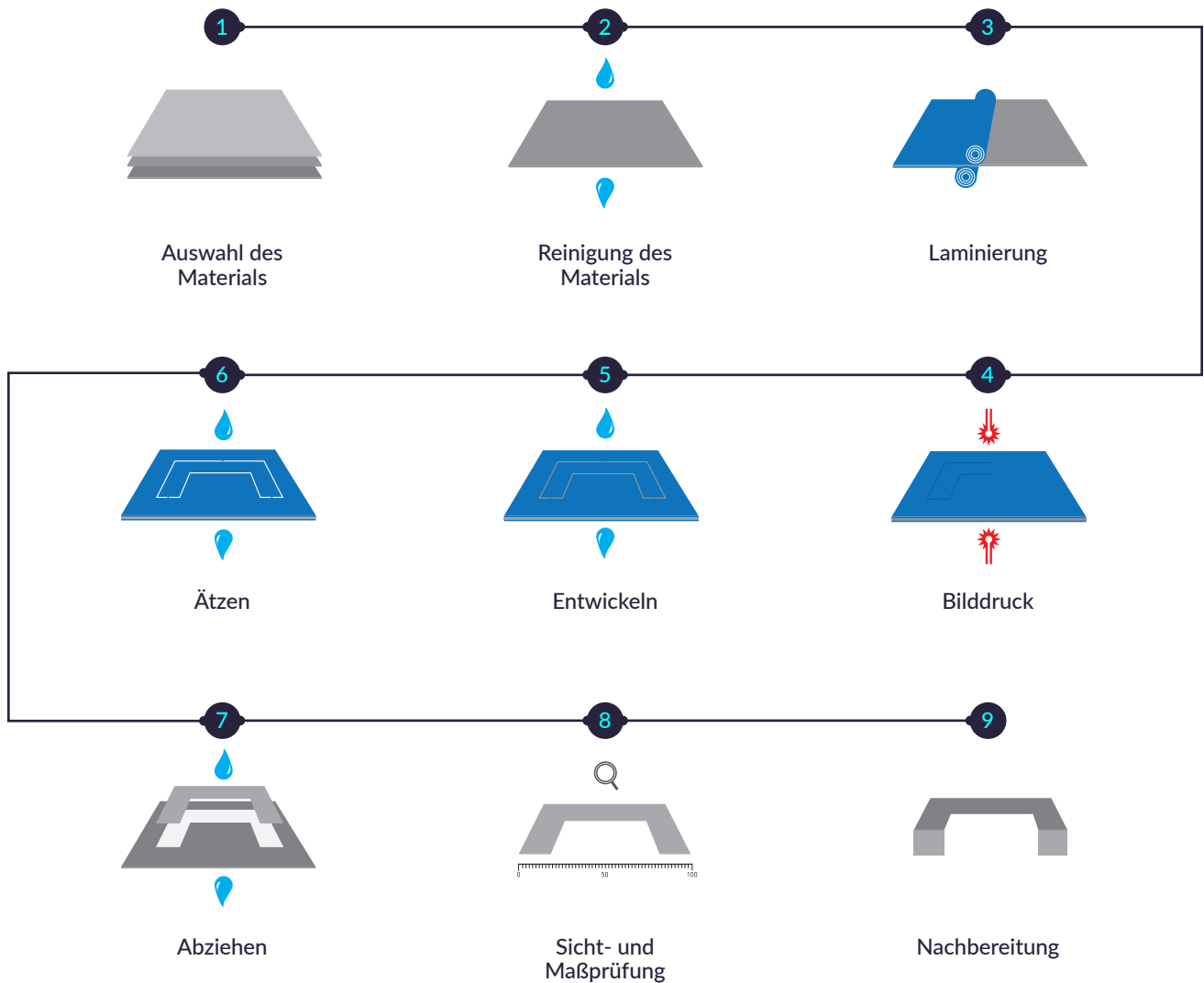
## **Nicht nur eine Alternative – aus kommerzieller und technischer Sicht**

Das fotochemische Ätzen – oft abgekürzt als chemischem Ätzen oder Fotoätzen – ist ein abtragender Bearbeitungsprozess für Bleche, bei dem sichere und nachhaltige chemische Ätzmittel verwendet werden. Ziel ist es, hochpräzise Komponenten mit komplexer Formgebung zu erzeugen. Das Verfahren eignet sich für fast jedes Metall und ist eine ebenso präzise wie kostengünstige Methode zur Herstellung kompliziert geformter Teile für eine Vielzahl von Anwendungen.

### **Wie funktioniert es?**

Beim chemischen Ätzverfahren wird ein Photoresist auf das Blech aufgetragen, bevor das gewünschte Komponentendesign durch UV-Belichtung gedruckt wird. Die nicht bedruckten Photoresistbereiche werden dann entfernt. Dadurch wird das Metall belichtet und weggeätzt. Auf diese Weise kann fast jedes Metall bearbeitet werden – Tausende von Grundmaterialien und Legierungen, in Stärken von nur 0,010 mm und auf Blechen von bis zu 1500 mm Länge. Durch einen neunstufigen Prozess können diese Bleche in jede Art von Präzisionsbauteil umgewandelt werden.





Das Verfahren stellt sicher, dass die gewünschten Parameter im Hinblick auf Genauigkeit und Toleranzen eingehalten werden – exakter als bei den konventionellen Verfahren wie Laserschneiden und Stanzen. Gleichzeitig erlaubt es auch die gewünschten dreidimensionalen Eigenschaften, die bei Spezialkomponenten wie bipolare Brennstoffzellen und Wärmetauscherplatten erforderlich sind.

## Warum Ätzen?

In diesem Whitepaper haben wir einige Einschränkungen der konventionellen Verfahren der Laserschneiden und Stanzen untersucht und welche Probleme dadurch verursacht werden können. Wir haben auch aufgezeigt, dass diese Einschränkungen nicht gelten:

- **Thermische und mechanische Beanspruchung:**

Treten nicht auf.

- **Entgratung:** Weil keine mechanischen Kräfte ausgeübt werden und keine harten Schneiden zum Einsatz kommen, ist Gratbildung an den Kanten völlig ausgeschlossen.

- **Werkstoffauswahl:** Ist nahezu unbegrenzt. Das Verfahren kann über das gesamte Spektrum von Härte, Dichte und Festigkeit eingesetzt werden und arbeitet dabei prozesssicher.

Über diese Vorteile hinaus bietet das Ätzen ein hervorragendes Preis-Leistungs-Verhältnis. Zum Beispiel können besondere Merkmale und Bauteileigenschaften ohne zusätzliche Kosten hinzugefügt werden, da keine zusätzlichen Arbeitsschritte dafür nötig sind. Auch das Einrichten und Umrüsten ist kostengünstig. Während bei der Blechbearbeitung Komplexität Kosten bedeutet, können mit Ätzen und den zugehörigen digitalen Werkzeugen hoch funktionale und komplexe Präzisionsbauteile mit flexiblen Geometrien erzeugt werden – ohne die sonst damit verbundenen Kosten.

Außerdem bietet das Ätzen einen wirtschaftlicheren Prototyping-Ansatz, bei dem die Ingenieure – im Gegensatz zu anderen Bearbeitungsmethoden – einfach pro Blech bezahlen. So können Komponenten mit unterschiedlichen Geometrien und nahezu unbegrenzter Komplexität mit einem einzigen Werkzeug bearbeitet werden. So entstehen viele Teiletypen und -varianten in einem Produktionsdurchlauf – schnell, einfach und intelligent.

Schließlich – und ganz wichtig – ist das Ätzen ein schnelles Verfahren. Es verkürzt Entwicklungs- und Vorlaufzeiten, weil man z.B. keine komplexen Werkzeuge bauen muss. Das beseitigt Unsicherheiten in der Lieferkette: Die Werkzeugbereitstellung braucht nur Stunden.

Aus all diesen Gründen setzen immer mehr Konstrukteure aus ganz unterschiedlichen Branchen auf das Ätzen als Alternative zu konventionellen Blechbearbeitungsverfahren. Und Precision Micro arbeitet kontinuierlich daran, die Einsatzmöglichkeiten dieses faszinierenden Verfahrens zu erweitern.

## **Bahnbrechende neue Möglichkeiten – beim Ätzen und beim Produktdesign**

Seit über 50 Jahren ist Precision Micro einer der weltweit führenden Spezialisten für fotochemisches Ätzen. Jedes Jahr produzieren wir mehr als 60 Millionen präzisionsgeätzte Komponenten für Kunden in über 30 Ländern weltweit.

Von hochspezialisierten Hochleistungslegierungen für die Luft- und Raumfahrt und die Automobilindustrie bis hin zu medizinischen Titankomponenten in lebensrettenden Geräten wird jedes Teil entsprechend der Spezifikation spannungs- und gratfrei konstruiert und gefertigt.

Das beruht auf den Vorteilen dieses besonderen Verfahrens, aber auch auf der Verbindung von Kreativität, Kompetenz und Vorstellungskraft mit einem wissenschaftlichen Fokus. Das Ziel: immer sicherere, zuverlässigere, bequemere und effizientere Komponenten liefern, die ein besseres Heute für alle ermöglichen.

## **Bewährte Fähigkeiten, unübertroffenes Know-how**

Als einziges Unternehmen der Branche, das nach ISO 9001, ISO 14001, IATF 16949, ISO 13485 und AS 9100 akkreditiert ist, setzt Precision Micro den Standard für Qualität, Genauigkeit, Wiederholbarkeit und kontinuierliche Verbesserung – insbesondere bei der Arbeit mit schwer zu bearbeitenden Metallen und proprietären Superlegierungen.

Als zuverlässiger Partner mit weltweiter Präsenz und ständigen Investitionen in wertschöpfende Technologien verfügen wir über Europas größte Kapazitäten zur Ätzbearbeitung von Blechen: eine 4100 m<sup>2</sup> große Anlage, die mit über 2.000 vorrätigen Materialvarianten arbeitet. Damit verkürzen wir die Vorlauf- und Lieferzeiten unserer Kunden und liefern ihnen langlebige, hochintegrierte und präzise Komponenten nach exakten individuellen Spezifikationen.

**Erfahren Sie mehr über photochemisches Ätzen – und wie es Ihre Projekt verändern kann – unter**

**PRECISIONMICRO.DE**



**Precision Micro**  
11 Vantage Way  
Erdington  
Birmingham  
B24 9GZ  
United Kingdom

[info@precisionmicro.de](mailto:info@precisionmicro.de)  
[sales@precisionmicro.com](mailto:sales@precisionmicro.com)

[www.precisionmicro.de](http://www.precisionmicro.de)