

Anwendungen für Faserlaser mittlerer Leistung

Der Rummel um die Entwicklung von Faserlasern konzentriert sich hauptsächlich auf Hochleistungsmodelle, obwohl der weitaus größte Bedarf an single-mode Faserlasern mit Leistungen bis 200 W besteht. Durch Faktoren wie eine bessere Strahlqualität, erhöhte Zuverlässigkeit, höhere Prozesssicherheit und beträchtliche Einsparungen für den Anwender, erfahren Faserlaser dieser Leistungsklasse einen Boom als Ersatz für herkömmliche Festkörperlaser, vor allem blitzlampengepumpte Systeme.

SPI Lasers aus Southampton, GB, bietet eine Palette von Faserlasern für ein breites Spektrum von Anwendungen an und hat kürzlich einen neuen, flexiblen und reich ausgestatteten 200 W Faserlaser für zahlreiche Anwendungen in der Feinstzersetzung vorgestellt.

Einleitung

Faserlaser werden vom Markt als Ersatz konventioneller Lasertechnologie immer mehr angenommen. Der Hauptgrund für diesen Trend – weg von konventioneller Lasertechnologie, hin zur Nutzung von Faserlasern – ist die insgesamt bessere Performance dieser Technologie. Die bessere Performance zeigt sich durch Aspekte wie Wartungsfreiheit, höchste Zuverlässigkeit und lange Betriebszeiten, exzellente und konstante Strahlqualität bei allen Leistungen, geringe Betriebskosten und Wartung während des Betriebs, verbesserte Ausbeute in der Produktion sowie durch Zugang zu neuen Anwendungen (enabling technology).

Vor allem in der Laserbeschriftung und in Anwendungen der Materialverarbeitung wie Mikro-Schweißen und Mikro-Schneiden sind Faserlaser beliebt. Weitere Anwendungen sind in der Druckindustrie und in der Halbleiter- und Elektronikbearbeitung zu finden sowie in der Mikro-Materialbearbeitung beim Mikro-Biegen und Rapid Prototyping (Abb. 1).

Wichtig zu betonen ist, dass viele dieser Anwendungen von Faserlasern mit Leistungen bis 200 W bedient werden können und dass diese Systeme den Löwenanteil unter den verkauften Faserlasern ausmachen [1]. Faserlaser

dieser Leistungsklasse können es in vielen Anwendungen locker mit deutlich leistungsstärkeren CO₂- und Nd:YAG-Lasern aufnehmen, und in vielen Fällen werden Faserlaser als Ersatz für diese herkömmlichen Technologien gekauft. Normalerweise ist der Anwender mit der Lasertechnik für seine Anwendung schon vertraut, sucht aber verbesserte Leistung mit geringerem Wartungsaufwand für seinen Prozess.

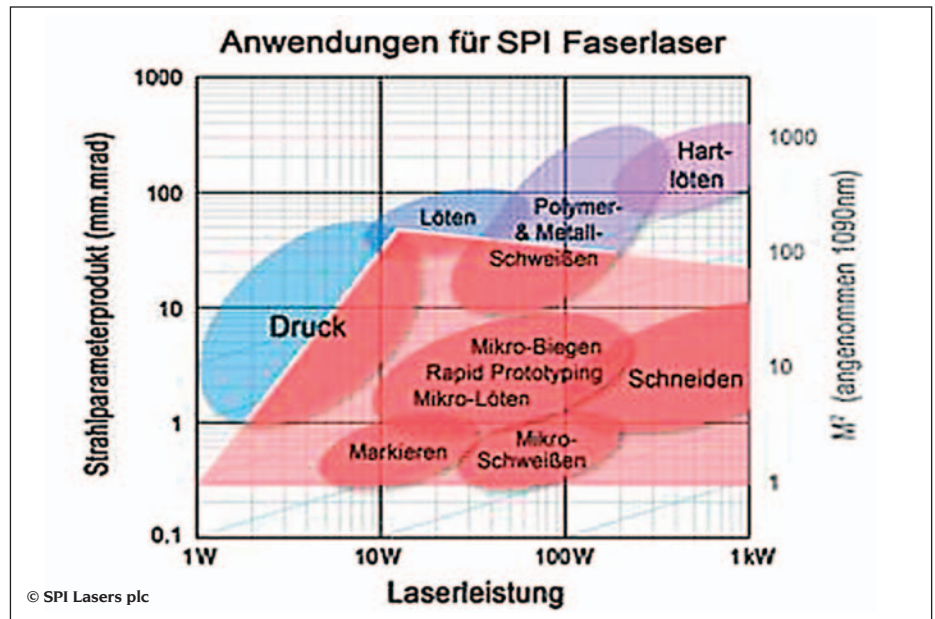
Faserlaser

Faserlaser mittlerer Leistung haben den Sprung vom Laborgerät zum Werkzeug

für echte Anwendungen schon vor einigen Jahren geschafft. Im Prinzip unterscheidet sich das Resonator-Design eines Faserlasers nur wenig von dem anderer industrieller diodengepumpter Festkörperlaser (DPSS). Das zugrunde liegende Konzept beinhaltet Einzelemittler-Pumpdioden mit hoher Leistung, die Einkopplung der Pumpleistung in das Gain-Element, einen faserbasierten Resonator mit Bragg-Gittern anstelle von Spiegeln und Kühlung für entstehende Wärme.

Die Feinheiten des Designs sind der Grund für die deutlich bessere Performance der Faserlaser im Vergleich zu anderen Lasertechnologien.

Für eine verbesserte Einkopplung der Pumpenergie in den dotierten Faserkern benutzt SPI eine hausgebaute Faseranordnung namens »GTWave™« [2]. Diese Anordnung vereinfacht die Herstellung des Lasers deutlich und garantiert zudem höchste Zuverlässigkeit. Die Verwendung von Einzelemittler-Laserdioden aus der Telekommunikationsbranche mit extrem hoher MTTF (mean time to failure)



▲ Abb. 1: Einsatzmöglichkeiten für Faserlaser mit Leistungen bis zu 1 kW



von >400.000 Stunden als Pumpquellen sichert einen hohen Level von Redundanz im Pumpzyklus und ermöglicht einen wartungsfreien Betrieb über viele Jahre. Es ist diese Art der Innovation, die Laufzeiten von Faserlasern nahe 100 % erlauben – selbst im durchgehenden Betrieb.

Faserlaser sind sowohl als Dauerstrich- (cw) als auch als gepulste Laser erhältlich. Häufig ist ein cw-Strahl mit 50 kHz amplitudenmoduliert, um so Pulslängen von Mikrosekunden bis zum cw-Betrieb einzustellen und sich der Anwendung anpassen zu können. Für das Schneiden und Schweißen wird zum Beispiel kurzzeitig mehr Energie benötigt, um den Prozess an der Oberfläche zu starten, anschließend wird unter der Oberfläche weniger Energie benötigt. Eine Folge solcher Pulse wird verwendet, um quasi-kontinuierliche Schnitte und Nähte im bearbeiteten Material zu erzeugen.

Bei Beschriftungsanwendungen hat man es meist mit Schwellenprozessen zu tun, um z. B. einen Farbumschlag im Material zu erzeugen. Daher ist hier die Pulsspitzenleistung kritischer. Normalerweise sind gütegeschaltete Systeme (Q-switch) zur Erzeugung höchster Spitzenleistungen erforderlich. SPI geht mit ihren Faserlasern jedoch einen Schritt weiter und verwendet eine MOPA-Konfiguration (Master Oscillator Power Amplifier) mit entscheidenden Vorteilen gegenüber anderen Faserlasern. Einstellbare Pulslängen zwischen 10 und 200 ns, Modulation mit bis zu 500 kHz und die Fähigkeit, Spitzenleistungen selbst bei hohen Wiederholraten zu halten, ermöglichen die höchsten verfügbaren Beschriftungsgeschwindigkeiten.

Materialbearbeitung mit Faserlasern bis zu 200 W

Materialbearbeitung umschreibt Produktionsprozesse mit Laserunterstützung – Schneiden, Schweißen (Metall und Plastik, Naht-, Heft- und Punktschweißen), Formen, Biegen, Trimming, Drucken, Sintern, Tempern (annealing), Bohren und sogar Rapid Prototyping.

Kritisch für viele dieser Anwendungen ist sowohl die Stabilität als auch die Flexibilität der bereitgestellten Laserenergie. Wie schon vorher beschrieben, benötigen die meisten Materialbearbeitungsanwendungen eine dynamische Modulation der Laserleistung für einen optimalen Prozessverlauf. Zusätzliche wichtige Anforderungen der Industrie sind geringe Abmessungen, die Eliminierung von Kalibrierungs- und Justageroutinen sowie die Anpassbarkeit an vorhandene Produktionsprozesse.

Um diesen und anderen Integrations-



▲ Abb. 2: 200 W SPI-Faserlaser

Anforderungen jedes einzelnen Kunden gerecht zu werden, bietet SPI zwei kundenorientierte Programme – Anwendungslabors, in denen potenzielle Kunden Prozessversuche ihrer spezifischen Anwendung kostenlos durchführen können, und für die Industrie eine 30-tägige Testzeit mit kostenloser Bereitstellung eines Faserlasers. In beiden Programmen steht ein Team zur technischen Unterstützung für das Erreichen optimaler Ergebnisse in möglichst kurzer Zeit zur Verfügung. Bis zu 60 Faserlaser zirkulieren beim Kunden und weitere Systeme werden von SPI-Distributoren verliehen. In diesen Testprogrammen kann sich der Kunde von den finanziellen Vorteilen der Faserlaser-Technologie überzeugen.

Kürzlich hat SPI einen neuen Hochleistungs-Faserlaser eingeführt, der bis zu 200 W liefert und damit einen größeren Teil von Anwendungen aus Abb. 1 bedienen kann. Dieser cw/modulierte Faserlaser mit umfangreichen Funktionen und führendem Konzept ist ein eindeutiger Klassensieger für alle Mikrobearbeitungs-Anwendungen für Metall, Plastik und Keramik.

Eine Stabilität der Ausgangsleistung von besser als 0,5% über 12 Stunden macht diesen Laser ideal für Schneide-Anwendungen, während der Dynamikbereich von μs bis ms Pulslängen, Pulsenergien von mJ bis Joule bei Wiederholraten bis zu 50 kHz und Pulsstabilitäten besser als 0,2% ihn auch zum idealen Werkzeug für Schweiß-Anwendungen machen. Vor allem der große Dynamikbereich mit der Möglichkeit, einzelne Pulse oder ganze Pulszüge zusammenzustellen, erlauben einen flexiblen Einsatz, der anderswo nicht erhältlich ist.

Heutzutage werden Faserlaser bei der Bearbeitung vieler Metalle und Kunststoffe eingesetzt, in industriellen Anwendungen wie der Mikrobearbei-



▲ Abb. 3: Geschweißte Mikropulpen aus Titan mit 0.3mm Durchmesser - zum Vergleich ein menschliches Haar

tung von medizinischen Stählen (medical grade stainless steels), weichen und Kohlenstoff-Stählen (mild and carbon steels), Wolfram, Molybdän, verschiedener Legierungen (Titan, Leicht- und Edelmetall-Legierungen) sowie klarer und dunkler Kunststoffe. So werden Faserlaser vielseitig eingesetzt: z. B. bei der Herstellung vieler Komponenten für Mobiltelefone, in der Automobilindustrie für Motorraum und Armaturenbrett, für Hintergrundbeleuchtungsteile und Gehäuse von Plasmabildschirmen, für medizinische Instrumente, medizinische Stents, Herzschrittmacher, biegbare Schaltungen, Druckertrommeln, für schnelle Teilerzeugung mit gesinterten Metallen und für Lebensmittelverpackungen.

In allen Fällen werden die Vorteile der Faserlaser-Technologie nicht nur im Produktionsprozess verwirklicht – höhere

Ausbeute und Bearbeitungsgeschwindigkeit führen zu erhöhter Produktivität, geringere Wartungszeiten durch höhere Zuverlässigkeit und Effizienz führen zu reduzierten Betriebskosten -, aber auch bei der Qualität der gefertigten Komponenten.

Mikro-Schweißen von Metall und Plastik

Qualitativ hochwertiges Laserschweißen setzt eine außerordentlich stabile Laserleistung voraus. Bei der Bearbeitung von Metallen wird ein cw-Strahl amplitudenmoduliert, um einen Zug von Punktschweißungen zu erzeugen, der einer kontinuierlichen Schweißnaht stark ähnelt. Materialparameter wie thermische Temperaturleitfähigkeit, Oberflächenreflektivität und Schmelzpunkt geben minimale und maximale Leistung genau vor und beeinflussen die erzielbare Schweißqualität. Den Schweißprozess zu optimieren, bedeutet die Wahl der besten Kombination aus Schweißgeschwindigkeit und Modulationsparametern für jedes Material und für jede Dicke.

Medizinische Werkzeuge und Implantate sowie Komponenten für die Elektronikindustrie bestehen häufig aus 304er Edelstahl mit Wandstärken zwischen 0,1 und 1 mm. Die Qualitätsansprüche für solche Schweißungen sind sehr hoch, obwohl der Schweißvorgang für so dünne Materialien sehr schwierig sein kann - zu viel Leistung kann zu überhöhter Eindringtiefe und damit zu Schwachpunkten und Perforation führen, zu wenig Leistung zu schwachen Schweißnähten. Faserlaser mit bis zu 200 W mittlerer Leistung erzeugen in diesen Metallen Schweißnähte mit der gewünschten Qualität, mit glatten Schweißnähten und frei von Ablagerungen und Lücken.

Obwohl der Leistungsbedarf für das Schweißen von Kunststoffen deutlich geringer ist, ermöglichen Leistungen zwischen 50 und 200 W hohe Schweißgeschwindigkeiten und damit einen schnellen Prozessverlauf. Beim Schweißen bedient man sich häufig einer Transmissionstechnik, bei der eine Kompo-

nente transparent ist, während die andere absorbiert -, der Laser erzeugt die Hitze direkt an der Verbindung der beiden und das kontrollierte Schmelzen (oder besser Anschmelzen) erzeugt die Verbindung. Die Verwendung spezieller Kunststoffe, z. B. solcher, die dunkel erscheinen, das Laserlicht aber ausreichend transmittieren, nimmt zu und verbessert diesen Prozess.

Eine neue Technik ermöglicht das Schweißen transparenter und nur schwach gefärbter Materialien. Hierbei wird eine spezielle Beschichtung zwischen den Materialien mit dem Laser bestrahlt. Eine genaue Kontrolle der Kräfte beim Einspannen sowie der Laserparameter ermöglichen die richtige Absorption in der Beschichtung, damit ein kontrolliertes Schmelzen und schließlich eine starke, transparente Schweißverbindung entsteht.

Während die Vorteile eines räumlich mono-modigen Laserstrahles für Anwendungen des Kunststoffschweißens weniger greifbar sind, ist hier die Verwendung eines wartungsfreien Lasers, der keine Kalibrierung oder Lampenwechsel erfordert, entscheidend für die Automobilindustrie. Die generellen Kostenersparnisse eines industrialisierten und einfach einzusetzenden Lasers sind bei umfangreichem Einsatz sehr beachtlich.

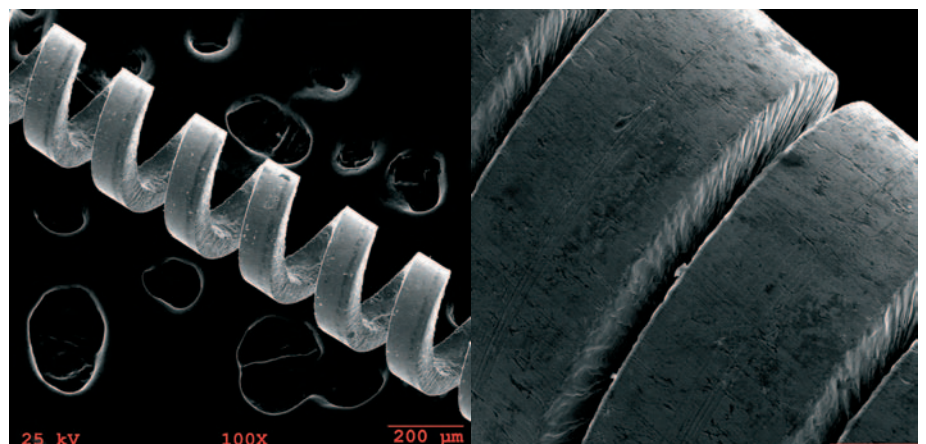
Mikro-Schneiden

Wie auch beim Laser-Schweißen, hängt die Qualität des Laser-Schneidens entscheidend von verschiedenen Parame-

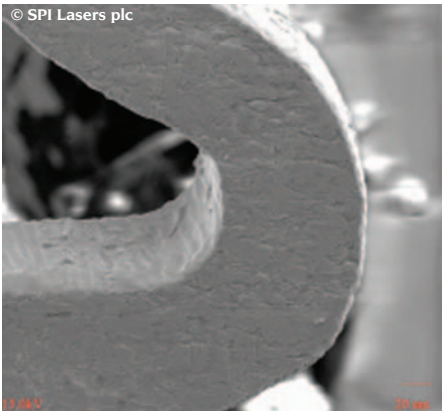
tern ab - die Tiefe des Fokus, die Leistungsstabilität, die Schneidegeschwindigkeit und die Materialparameter sind alles entscheidende Faktoren. Eine große Fokustiefe ermöglicht symmetrische und flache Schnittflächen, eine stabile Laserleistung und einen gleichmäßigen Schnitt. Eine gute Laserperformance ist auch hier wieder vor allem für dünne Materialien wichtig, da sonst Ablagerungen auf der Unterseite des Schnittes auftreten.

Für eine gegebene Materialdicke gibt es eine bestimmte Schneidegeschwindigkeit und Durchschnitteleistung mit geringster resultierender Hitzeeinwirkung. Diese geringste Hitzeeinwirkung bedeutet gleichzeitig die beste Schneidequalität, also wenig oder leicht zu entfernende Schlacke, geringste Verfärbungen und Schnittflächenrauigkeit. Außerdem gibt es für gegebene Schnittgeschwindigkeit, Materialdicke und -typ eine minimale Durchschnitteleistung für das Schneiden. Diese muss für den geringsten Arbeitszyklus (duty cycle) gefunden werden.

Obwohl SPI schon eine breite Palette an cw/modulierten Faserlasern für die erwähnten Anwendungen anbietet, erlaubt der neue 200 W Faserlaser bessere Schneidequalitäten, da die höhere Leistung größere Flexibilität beim Prozess entspricht. Ebenso wird eine anpassungsfähige Modulierbarkeit für das beste Schneideverhalten benötigt, sowohl für gerade und gekrümmte Schnitte als auch für Ecken und Knotenpunkte.



▲ Abb. 4: Eine Hypo-Röhre (hypo tube), mit einem Faserlaser geschnitten - der innere Durchmesser entspricht dem eines Haares (Mit freundlicher Genehmigung von LPL Systems)



▲ **Abb. 5: Medizinische Röhren, geschnitten mit SPI Faserlasern**

In der Medizinindustrie werden Faserlaser eingesetzt, um Stents aus dünnwandigen Röhren zu schneiden. Mit Durchmessern zwischen 0,8 und 1,2 mm und Wandstärken unter 0,2 mm werden diese Stents normalerweise aus 304er Edelstahl, aber auch aus CbCr, Nitinol und anderen exotischen Legierungen gefertigt. Vor allem diese Industrie hat von der Einführung der Faserlaser-Technologie profitiert – sowohl was geringere Kosten als auch verbesserte Produkte angeht. Solche Stents werden z.B. operativ in verengte Venen und Arterien eingebracht, um die Blutzirkulation zu verbessern. Die kleinsten dieser Stents werden für Blutgefäße im Hirn, die größten im Oberschenkel eingesetzt.

Rapid Prototyping & Rapid Manufacturing

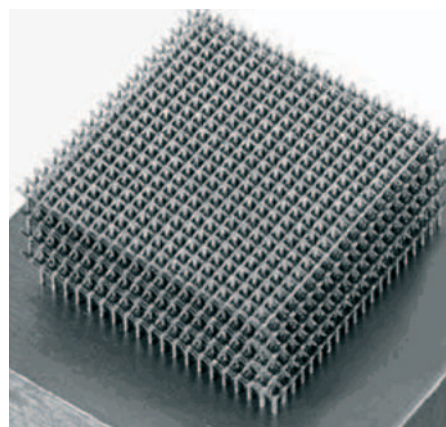
Mittlerweile wird eine ganze Reihe von Prozessen angeboten, die grob in die Kategorie Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing fallen. Diese Prozesse haben die Produktentwicklung entscheidend beschleunigt und verändern mittlerweile Herstellungsprozesse. Viele dieser Prozesse nutzen industrielle Laser als Energiequelle.

Das Lasersintern geeigneter metallischer Legierungen kann die Faserlasertechnologie gut nutzen und damit Werkzeuge und sogar voll funktionsfähige 3D-Teile herstellen. Die Funktionalität des Lasersinterns ist an einem Punkt angekommen, wo die produzierten Teile, zumindest aus Sicht der Anwendung, nicht von herkömmlich hergestellten Teilen unterscheidbar sind.

Die Strahleigenschaften und Flexibilität von Faserlasern ermöglichen diese Art der Anwendung erst durch die vielen Vorteile:

- Die Strahlintensität und kleine Spotgrößen ermöglichen die Verwendung sehr feiner Puder
- Die hohe Leistungsstabilität ermöglicht komplexe und gleichmäßige Gitterstrukturen
- Hohe Leistungen und hohe Leistungsdichten erlauben die Bearbeitung großer Strukturen
- Die gute Strahlqualität erlaubt einen großen Arbeitsabstand und auch damit große Strukturen
- Strahlintensität und Stabilität erlauben hohe Füllichten und glatte Oberflächen

Hinzu kommt, dass die große Ausfallsicherheit die nichtexistenten Probleme durch den thermischen Linseneffekt und die hohe Effizienz des Faserlasers die Gesamtausbeute von Rapid Prototyping Systemen verbessert und gleichzeitig eine höhere Qualität des gefertigten Prototypen erreicht wird.



▲ **Abb. 6: Lasersintern ermöglicht die Fertigung komplizierter Strukturen wie dieses Mikro-Wärmetauschers (Mit freundlicher Genehmigung von MCP Tooling Technologies)**

Fazit

Industrielle Faserlaser erfüllen mittlerweile die Ansprüche existierender und neuer Laseranwendungen und sind aus vielen Anwendungen nicht mehr wegzudenken. Die Kombination der praktischen Pumpquelle mit der einfachen Einkopplung der Pumpenergie und dem damit verbundenen Resonatordesign

ermöglicht die Herstellung kompakter und robuster Lasersysteme, die für die industrielle Umgebung hervorragend geeignet sind. Die hohe Leistungsstabilität und Flexibilität von Faserlasern sind maßgebend für die Verbesserung bestehender und für die Erschließung neuer Anwendungen.

Aus wirtschaftlicher Sicht sind die hohe Ausfallsicherheit, reduzierte Wartung, längere Betriebszeiten und größere Ausbeute die wichtigsten Vorteile für den Herstellungsprozess. Häufig sind Faserlaser kompatibel zu aufwändigen und teuren CNC-Laser-Schneide-Anlagen und erleichtern somit den späteren Wechsel zu dieser neueren Technologie. Die Möglichkeit, in ganz Europa, Amerika und Asien SPIs-Laser vor dem Kauf 30 Tage kostenlos zu testen, ist eine gute Gelegenheit, die Möglichkeiten dieser Technologie für jegliche Produktionsprozesse kennen zu lernen.

Der Markt für Faserlaser wird weiter wachsen, zum Beispiel mit Anwendungen in der Druckindustrie (Gravur), in weiteren Gebieten der medizinischen Industrie und im Rapid 3D Prototyping. SPI entwickelt zudem neue Faserlaser [3] mit Ausgangsleistungen im kW-Bereich, die mit den Lasern vergleichbar sind, die schon jetzt für das Schweißen in der Automobilindustrie verwendet werden.

Autoren:

Dr. Michael Duka, Sales Director

SPI Lasers, Southampton, GB

Tel.: 08171/ 91 11 67

E-Mail: michael.duka@spilasers.com

Web: www.spilasers.com

Dr. Gregory Flinn

Putting Photonics into Context

München, Deutschland

Tel.: 089/95 42 94 57

E-Mail: gregory.flinn@gmx.net

Web: www.gregoryflinn.net

Literatur:

[1] Laser Marketplace 2005, Laser Focus World, Januar 2005, S.83

[2] M.N. Zervas, et al., »Single and few-mode high power fiber lasers for industrial applications« - Conference on Advanced Laser Applications Technology, November 2004

[3] W. O'Neill, M. Sparkes, M. Varnham, et al., »High Power High Brightness Industrial Fiber Laser Technology«, Proceedings ICALEO 2004