

STRÖMUNGSTECHNISCHE OPTIMIERUNG VON BEARBEITUNGSPROZESSEN UND ANLAGEN

DIE AUFGABE

In der Lasermaterialbearbeitung werden Gase in vielen Aufgabenbereichen eingesetzt. Als Schutzgase dienen sie der Abschirmung der Prozesszone von der umgebenden Atmosphäre. Als Prozessgase erfüllen sie wesentliche Aufgaben für die technische Realisierbarkeit eines Bearbeitungsprozesses, wie z. B. den Materialaustrieb beim Laserstrahlschneiden. Zusätzlich erfolgt ein vielfältiger Einsatz als Sekundärgas zum Schutz der eingesetzten Bearbeitungsoptiken und zur Reinhaltung der Raumluft in Bearbeitungskabinen. Letzterer Aspekt ist nicht nur unter arbeitsschutzrechtlichen Kriterien von Bedeutung, sondern kann auch maßgeblich die Prozessstabilität und die Bearbeitungsqualität beeinflussen.

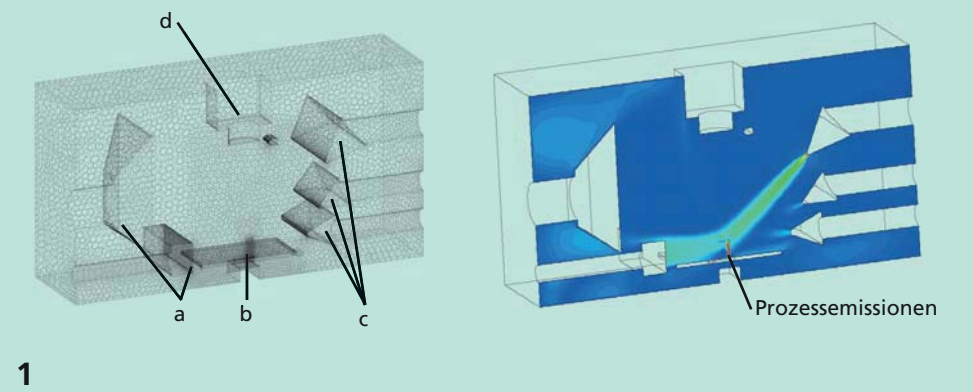
Den vorgenannten Anwendungsbeispielen ist gemein, dass Gasströmungen für einen gegebenen Einsatzzweck dimensioniert und möglichst optimiert werden müssen. Hierbei steht nicht nur die angestrebte Funktion sondern häufig auch der Gasverbrauch als kostenrelevante Größe im Fokus des Interesses. Die technische Auslegung der Anlagen und die Analyse und Optimierung der sich ergebenden Strömungen werden jedoch erschwert durch deren Komplexität und durch die eingeschränkten Möglichkeiten der Visualisierung und Messung direkt im Bearbeitungsprozess. Hier sind alternative Lösungen gefragt.

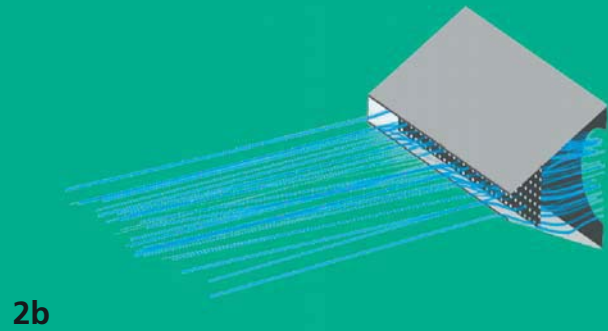
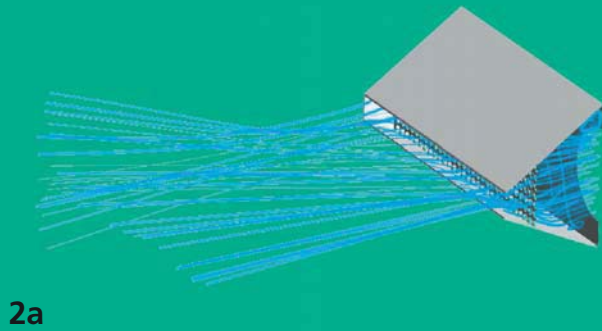
UNSERE LÖSUNG

Eine Möglichkeit ist die Simulation der Strömungsverhältnisse mit problemangepassten numerischen Modellen unter Nutzung leistungsfähiger kommerzieller CFD-Software an. Aufgrund der hinreichend genauen Beschreibung des Zustandsverhaltens von Gasen können hierbei in der Regel eine hohe Vorhersagegenauigkeit sowie eine gute Übereinstimmung mit experimentellen Ergebnissen erwartet und erreicht werden.

Beispielgebend zeigt Abbildung 1 das CFD-Modell einer Demonstrationsanlage zum Remote-Laserstrahlschweißen. Damit wird am Fraunhofer IWS Dresden die Wirkung unterschiedlicher raumluftechnischer Komponenten auf die Ausbreitung und Verteilung der induzierten Prozessemissionen untersucht. Um die effiziente Durchführung umfangreicher Sensitivitätsanalysen und Parameterstudien im Rahmen von Methoden der statistischen Versuchsplanung zu ermöglichen, wurde auf die Parametrisierbarkeit von Geometrie- und Netz-erstellung sowie die automatische Steuerung des gesamten Simulationsprozesses Wert gelegt.

Modell einer Remote-Laserbearbeitungskammer mit problemangepasster Vernetzung:
(a) Abluftkomponenten, (b) Prozesszone, (c) Zuluftkomponenten, (d) Remote-Laserbearbeitungskopf

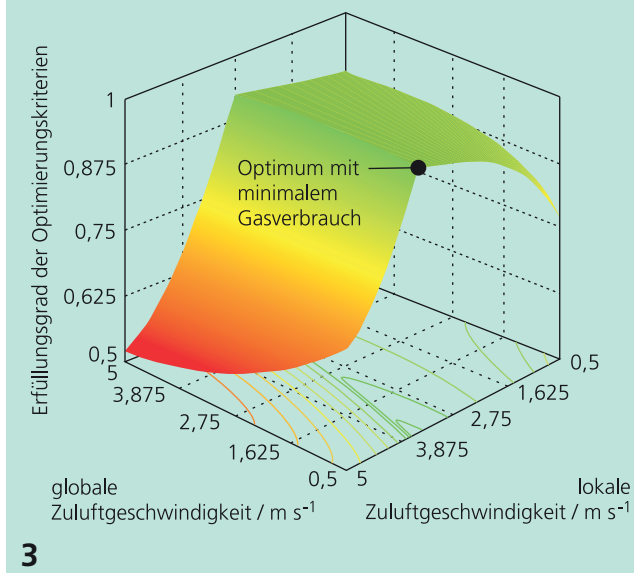




ERGEBNISSE

Die Modellierung der im Prozess auftretenden Gase erfolgt über ein Mehrkomponentenmodell. Hierbei wird die Zuluft als Luft bei Umgebungsbedingungen (Atmosphärendruck, Raumtemperatur) modelliert, während die Prozessemissionen als Eisendampf bei Verdampfungstemperatur in das Berechnungsgebiet eingeführt werden. In dem in Abbildung 1 dargestellten Anwendungsfall werden der Transport der Spezies durch die Bearbeitungskabine sowie Wärmetransportvorgänge berücksichtigt. Nicht modelliert werden Phasenübergänge, Partikelbildungsmechanismen und chemische Reaktionen. Als Zielgröße zur qualitativen Bewertung unterschiedlicher Parameterkonstellationen wird die räumliche Ausdehnung der Prozessemissionen im Strahlengang des Lasers berechnet und ausgewertet (Abb. 1, rechts).

Erfüllungsgrad der Optimierungskriterien in Abhängigkeit von der Strömungsgeschwindigkeit der Zuluftkomponenten



Von besonderer Bedeutung für die Vorhersagegenauigkeit solcher globalen Raumlufthmodelle ist eine detaillierte strömungstechnische Analyse der verwendeten Komponenten (Abb. 2). Die Ergebnisse dienen einerseits der Evaluierung der Baugruppen als Eingangsgröße für die Kabinensimulation und andererseits der individuellen Optimierung der Komponenten. Mit dem beispielhaft vorgestellten Simulationsmodell wurden auf der Grundlage von Methoden der statistischen Versuchsplanung umfangreiche numerische Versuchsreihen realisiert.

In einem ersten Schritt wurden zahlreiche geometrische und strömungstechnische Faktoren bezüglich ihrer Wirkung auf das Systemverhalten untersucht und die Haupteinflussgrößen identifiziert. Im weiteren Verlauf erfolgte eine statistisch signifikante Formulierung des Systemverhaltens durch ein komplexes nichtlineares Regressionsmodell. Anhand dessen wurde eine Optimierung bezüglich der Prozessparameter durchgeführt (Abb. 3). Unter Annahme einer im Bearbeitungsvorgang akzeptierbaren Ausdehnung der Prozessemissionen konnte hierbei ein deutliches Potenzial zur Reduzierung des Gasverbrauchs im Vergleich zu bestehenden Anlagenkonzepten festgestellt werden.

2 Zuluftdüse mit integriertem Lochblech; Lochdurchmesser (a) 8 mm, (b) 4 mm

KONTAKT

Dipl.-Math. Madlen Borkmann

+49 351 83391-3720

madlen.borkmann@iws.fraunhofer.de

