



WENIGER AUFWAND – MEHR KRAFT

Die Güte von Welle-Nabe-Verbindungen zählt zu den wichtigsten Sicherheitskriterien im Lenkungsbau. Durch statistische Versuchsplanung können mit einer erstaunlich kleinen Anzahl an Experimenten jene Faktoren und deren Einstellung ermittelt werden, die für die größtmögliche Belastbarkeit von kombinierten Form-/Kraftschlüssen verantwortlich sind. Dieses effiziente Instrument der Firma Aicos Technologies setzt ThyssenKrupp Presta erfolgreich ein.

Welle-Nabe-
Verbindung

Ein wesentlicher Sicherheitsfaktor in der Automobilindustrie, insbesondere im Lenkungsbau, ist die Qualität von Welle-Nabe-Verbindungen. Die Abpresskraft, die zum mutwilligen Lösen einer derartigen, aus Form- und Kraftschluss kombinierten Verbindung aufgebracht werden muss, ist dafür ein messbares Gütekriterium. Ziel ist es, die Faktoren, welche die Belastbarkeit der Verbindung beeinflussen, so einzustellen, dass die zum Lösen erforderliche Abpresskraft maximal wird.

DESIGN OF EXPERIMENTS FÜR MÖGLICHT WENIGE VERSUCHE

Das Werkzeug der Wahl für diese Aufgabe ist die statistische Versuchsplanung (Design of Experiments). So wird mit möglichst wenigen Versuchen der Einfluss verschiedener

Faktoren auf eine oder mehrere Zielgrößen ermittelt.

Im Testlabor wurden in einer Vorlaufphase einige Versuche gemacht, um mögliche, die Abpresskraft beeinflussende Faktoren zu identifizieren. Als solche stellten sich dabei der Anfahrtswinkel A , die Verbindungstiefe Y und der Wellendurchmesser R heraus.

Bereits drei Einflussfaktoren führen zu einer unübersichtlichen Versuchssituation. Der Einsatz einer entsprechenden Software ist nahezu unerlässlich, da insbesondere mit zunehmender Anzahl der Einflussfaktoren die Komplexität des Problems noch steigt. Um die optimale Faktoreinstellung für eine maximale Abpresskraft zu finden, wurde das vorliegende Problem mit dem Programm Stavax der Firma Aicos Technologies behandelt.

VERSUCHSPLANUNG MIT DER SOFTWARE STAVEX

Dieses Softwaretool lenkt den Benutzer geschickt durch die Versuchsplanungsaufgabe. Zuerst müssen die Zielgrößen inklusive deren Optimierungsrichtung eingegeben werden. Außerdem hat der Benutzer die potenziellen Einflussfaktoren mit den jeweiligen Variationsbereichen zu spezifizieren. Für den Winkel A wurde zum Beispiel der Wertebereich $A_{min} = 0^\circ$ bis $A_{max} = 10^\circ$ festgelegt.

Auf Basis dieser und möglicher zusätzlicher Eingaben, wie Wechselwirkungen zwischen Faktoren oder Einschränkungen des Faktorbereichs, schlägt das Programm eine Reihe von verschiedenen Versuchsplänen vor. Es wurde hier ein Box-Behnken-Plan für drei Faktoren mit 13 Versuchen gewählt.

Der Versuchsraum, aufgespannt durch die Wertebereiche der 3 Faktoren A, R und Y, ist durch den Quader dargestellt. Die dargestellten Punkte markieren die 13 Versuche. Nachdem diese im Testlabor durchgeführt wurden, sind die gemessenen Werte der Abpresskraft einzugeben.

Ist es nicht möglich, die von der Software vorgegebenen Versuchseinstellungen genau einzuhalten, kann zum Beispiel das tatsächliche Versuchsdesign in Excel festgehalten und anschließend in Stavex importiert werden. Ebenso kann man verfahren, wenn Ergebnisse aus ungeplanten Versuchen aus der Vergangenheit existieren. Die Software erlaubt diese als so genanntes externes Design zu importieren und auszuwerten.

Die Analyse, die auf einer quadratischen Regression beruht, ergab im vorliegenden Beispiel, dass die Abpresskraft vom Anfahrswinkel und der Tiefe der Verbindung abhängt. Dagegen beeinflusst der Wellendurchmesser die zum Lösen der Verbindung erforderliche Kraft in Abhängigkeit vom Anfahrswinkel und von der Verbindungstiefe. Bei optimaler Einstellung der Faktoren ($A = 5^\circ$, $Y = 17,9\text{mm}$ und $R = 17,46\text{mm}$) wird mit hoher Wahrscheinlichkeit eine Abpresskraft im Bereich von 12,3 bis 14,8 kN erreicht. Die Ergebnisse der Analyse werden automatisch reichhaltig kommentiert und interpretiert, sie stehen dem Benutzer in Form eines HTML-Dokuments zur Verfügung.

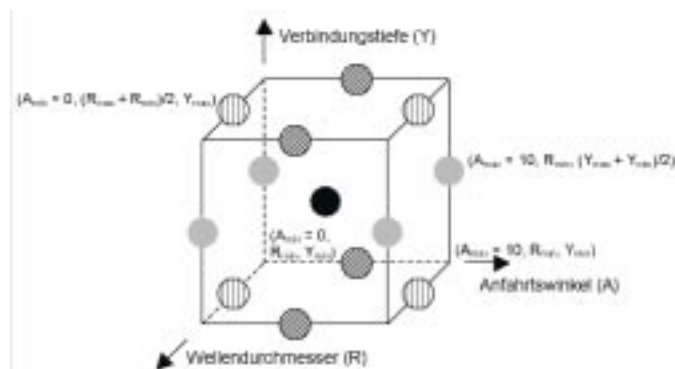
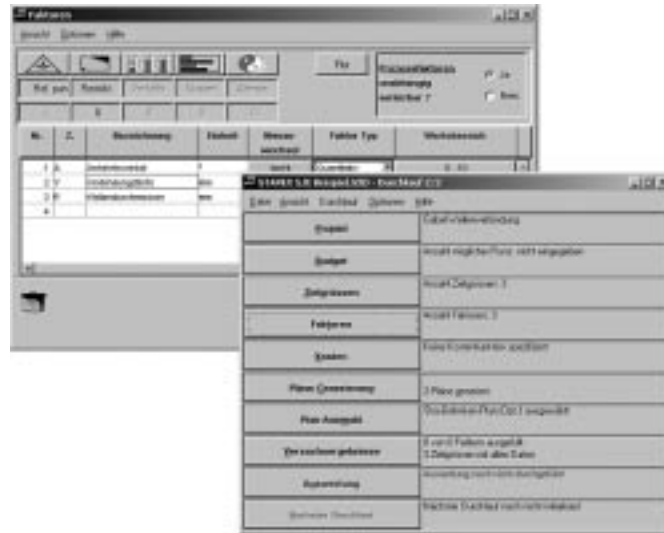
BEGLEITENDE MODELLDIAGNOSE

Begleitend werden zahlreiche Ergebnisse zur Modelldiagnose geliefert, etwa die korrigierte Anpassungsgüte, eine Analyse der Residuen (inklusive Normalverteilungstest und Quantil-Plot), Transformationsversuche der Zielgröße usw. Da laut Anpassungsgüte

über 93 % der Varianz der Zielgröße durch das Modell erklärt wurden und die Residualanalyse nicht auf die Verletzung bei der Regression getroffener Annahmen hindeutet, kann davon ausgegangen werden, dass für die errechnete optimale Faktoreinstellung tatsächlich die Abpresskraft möglichst groß wird. Die Software schlägt außerdem als Möglichkeit vor, die quadrierte Zielgröße zu modellieren, denn mit den vorliegenden Daten könnte dafür ein noch besseres Modell angepasst werden. Da das bisher angepasste Modell bereits sehr gut passt und die Anzahl der Versuche sehr gering ist, wurde jedoch vorerst vom Gebrauch dieser Möglichkeit abgesehen.

ERGEBNISSE DER VERSUCHE

Nach einigen Versuchen im Rahmen einer Vorlaufphase wurden drei Faktoren als mögliche Einflüsse auf die Abpresskraft gefunden. Mit nur zusätzlichen 13 Versuchen konnte der vorliegende, aber vorerst unbekannte Zusammenhang zwischen den Einflussgrößen und der Zielgröße modelliert werden. Um das Modell zu testen, wurde ein Bestätigungsversuch mit optimalen Faktoreinstellungen durchgeführt. Die Abpresskraft betrug 13.5 kN, was innerhalb des pro-



AUTOREN

Nikolaus Haselgruber ist Berater in Angewandter Statistik bei der Aicos Technologies AG, Basel.

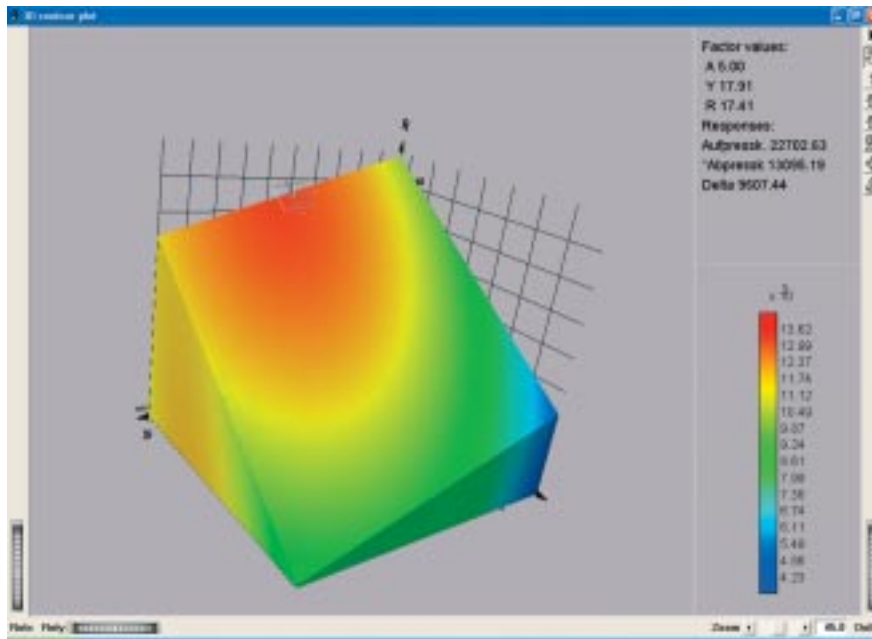
bitte neue datei

Karl Szepal war Koordination Sonderprojekte TKA Presta Labor bei der Thyssen Krupp Presta AG, Eschen.

Der übersichtliche Stavex-Hauptschirm führt den Benutzer sicher durch die Versuchsplanungsaufgabe. Im Faktor-Schirm müssen Angaben zu den möglichen Einflussfaktoren gemacht werden

Box-Behnken-Plan für drei Faktoren

Die numerischen Ergebnisse lassen sich durch eine Reihe anschaulicher Plots gut unterstützen, wie zum Beispiel dem 4D-Contour-Plot. Jedem Faktor ist eine räumliche Dimension zugeordnet, die Dimension der Zielgröße wird durch die Farbskala repräsentiert



gnostizierten Bereichs liegt und ein weitere Bestätigung des guten Resultats ist.

FAZIT

Mit Hilfe statistischer Versuchplanung bei der Entwicklung einer speziellen Welle-Nabe-Verbindung konnten mit einer sehr ge-

ringen Anzahl an Versuchen die Belastbarkeit beeinflussenden Faktoren gefunden werden. Neben weniger Versuchen und mehr Know-how werden einerseits die Produktqualität erhöht, andererseits die Kosten gesenkt und nicht zuletzt die Sicherheit der Automobile verbessert. ■