SIMULATION IN DER SPORTGERÄTEINDUSTRIE

Advantage durch Composites

Talent ist ein wichtiger Aspekt, aber im modernen Tennis spielt auch das Equipment eine entscheidende Rolle. Weiterentwickelt hat sich in den letzten Jahren insbesondere der Schläger. Aus Holz wurde Graphit, aus Graphit neuartige Composites. Aktuell sind die Hersteller von Tennisschlägern im Vorteil, die auch die FEM-Simulation der neuen Materialien sicher beherrschen. VON JACQUELINE DASTL UND SYLLVETT TSIALOS

Es gibt heute nahezu keinen technischen Bereich mehr, in dem nicht ausgiebig mit numerischer Simulation gearbeitet wird. Wegen immer strengerer Anforderungen an die Produkthaftung und Sicherheit sind computergestützte Berechnungen in manchen Branchen sogar Pflicht.

Aber nicht nur in den großen Branchen – bei Autobauern und Flugzeugherstellern – hat die Simulationstechnologie auf breiter Front Einzug gehalten, auch agile Unternehmen aus dem Mittelstand profitieren. Eine dieser Firmen ist der in Wien beheimatete Ingenieursdienstleister CAE Simulation & Solutions. Das scheinbar simple Produkt, das der Dienstleister berechnet und optimiert hat, ist ein Tennisschläger.

Täglich Brot bei CAE Simulation & Solutions sind zumeist Simulationsprojekte im Bereich des Maschinenbaus oder in angrenzenden Disziplinen. Umso spannender war das Projekt um den Tennisschläger, zeigte es doch die Möglichkeiten von Simulation im Bereich der Sportartikel.

Ziel war die Entwicklung eines möglichst realitätsnahen FE-Modells eines Tennis-Rackets. Im Fokus der Optimierung standen eine verbesserte Steifigkeit und ein geringeres Gewicht.

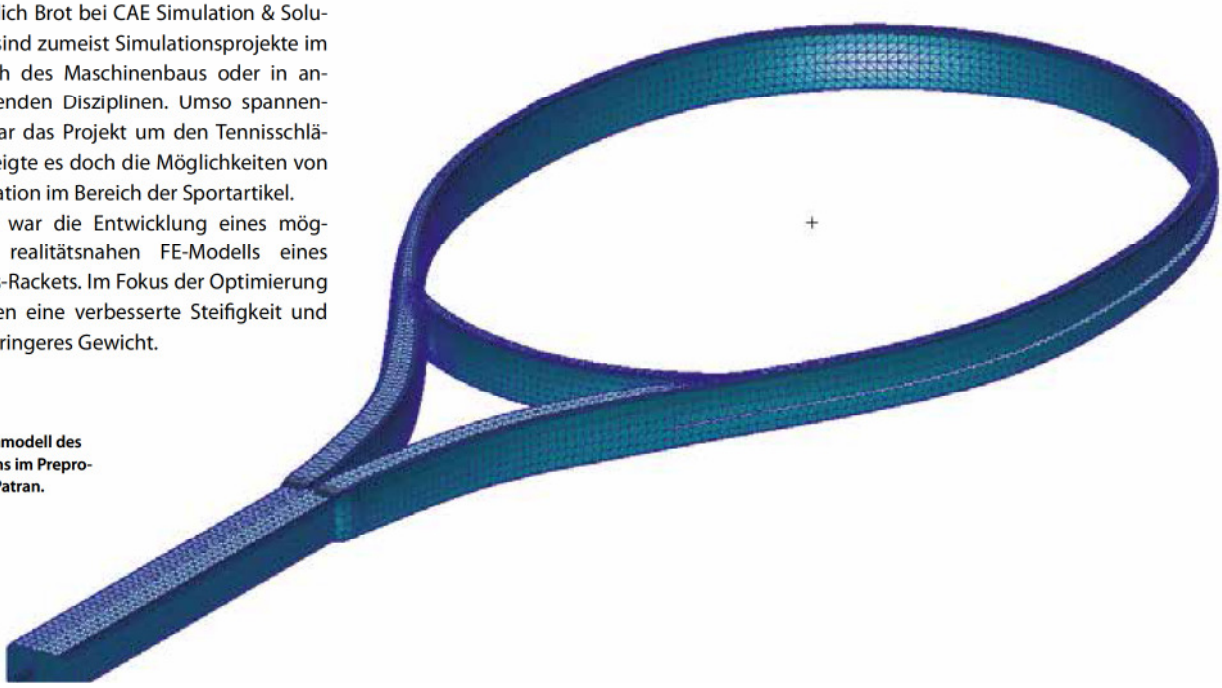
Schlägerwahl in der Praxis

Vor einigen Jahren war die Schlägerwahl im Tennis noch relativ einfach. Dagegen gibt es heute eine Vielzahl unterschiedlicher Varianten und Modelle, unter denen der ambitionierte Spieler wählen kann. Wichtig sind vor allem optimales Handling und eine effiziente Umsetzung der Schlagkraft. Jeder Tennisschläger besitzt verschiedene technische Parameter, die die Handhabung, den Spielkomfort und die Schlagpräzision, also letztendlich das gesamte Spielerlebnis beeinflussen.

Eines der wichtigsten Kriterien bei der Auswahl eines Schlägers ist das Gewicht. Für Anfänger eignen sich leichte Schläger. Die sind einfacher zu beherrschen, allerdings ist die Treffgenauigkeit nicht besonders hoch. Erfahrene Spieler bevorzugen schwerere Schläger, da diese mehr „Power" haben. Zweites wichtiges Kriterium bei der Wahl eines Schlägers ist die Steifigkeit des Rahmens. Die Flexibilität des Rahmens beeinflusst stark die Flugrichtung des Balles. Bei einem steifen Tennisschläger empfindet der Spieler den Ball genauer und der Schläger vibriert weniger.

Aufbau eines Schlägers

Der Aufbau eines Tennisschlägers ist einfach: Rahmen und Schlagfläche. Bei genauerer Betrachtung zeigen sich jedoch viele technische Raffinessen. Der Rahmen beispielsweise hat entscheidenden Einfluss auf die Spieleigenschaften. Dabei sind Rahmenstärke und Rahmenhärte re-



Schalenmodell des Rahmens im Preprozessor Patran.

levant. Ein harter, starker, hoher Rahmen überträgt mehr kinetische Energie auf den Ball, während weichere Rahmen den Arm schonen, aber im Gegenzug durch ihre höhere Flexibilität weniger Kraft erzeugen.

Die Schlagfläche ist mit durch den Rahmen gezogenen Saiten bespannt. Im Profisport werden meist besonders elastische, aber empfindliche Naturdarmsaiten eingesetzt. Im Amateurbereich kommen oft Kunstsaiten zum Einsatz. Diese Saiten sind in der Regel aus Polyester- und Nylonfasern, lange haltbar und günstig in der Herstellung. Auch die Bespannung wirkt sich auf die Spieleigenschaften des Schlägers aus. Die Bespannungshärte wird individuell variiert und lässt im Spielbetrieb nach. Eine höhere Besaitungshärte steigert die Ballkontrolle, verringert allerdings die Power. Dadurch ist beim Schlag mehr Kraft erforderlich.

Umgekehrt erhöht eine geringe Bespannungshärte die Power (man spricht vom Trampolineffekt) und sorgt für eine höhere Haltbarkeit, im Gegenzug verringert sich jedoch die Kontrolle.

Modellierung und Material

Ausgehend von der Geometrie eines Tennisschlägers erstellten die Ingenieure bei CAE Simulation & Solutions im Preprozessor Patran ein Schalenmodell des Rahmens (Bild 1) und integrierten die Bespannung in Form von Beam-Elementen, sprich: Balkenelementen. Bei dünnen Balkenelementen ist per Definition eine Abmessung – die Länge – viel größer als die beiden anderen Abmessungen – Tiefe und Breite. So wie es bei den Saiten des Schlägers der Fall ist. Eine Alternative wäre die Verwendung von Volumenelementen gewesen. Damit hätten die Ingenieure diese jedoch in der Länge sehr klein machen müssen und so eine hohe Anzahl an Elementen benötigt. Damit hätten sie die Rechenzeit extrem in die Höhe getrieben. Aus diesem Grund sind Balken in diesem Fall die besser geeigneten Elemente.

Bis in die 80er Jahre wurde der Rahmen von Tennisschlägern noch aus Holz gefertigt. Daraufhin folgten Experimente mit Metalllegierungen. Heute besteht der Rahmen zumeist aus Faserverbundwerkstoffen, sogenannten Composites. High-Tech-Materialien wie Carbon- oder Aramid-Fasern werden mit Kunst- und Keramikstoffen vermischt. Ziel der Materialmixturen ist ein optimales Gewicht bei gleichzeitig optimaler Festigkeit.

Im konkreten Fall dient ein fünflagiges Composite aus kohlefaserverstärktem Kunststoff als Rahmenmaterial in der Simulation.

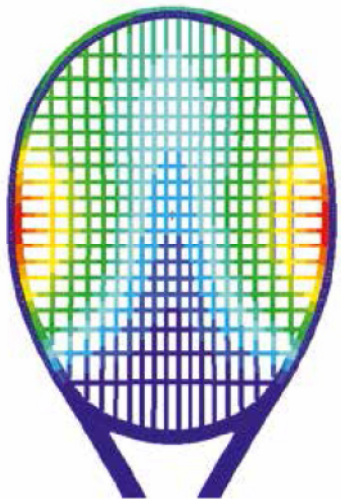
Berechnung und Analyse

Für die Analyse nutzte der Ingenieurdienstleister MSC Nastran. Der FE-Solver ist universell einsetzbar und kann Berechnungen von linear-elastisch bis nichtlinear durchführen. Zu den Anwendungsgebieten gehören unter anderem statische, dynamische und lineare Probleme, Wärmeausbreitung, Design-Optimierung, Akustik und Noise Vibration Harshness (NVH).

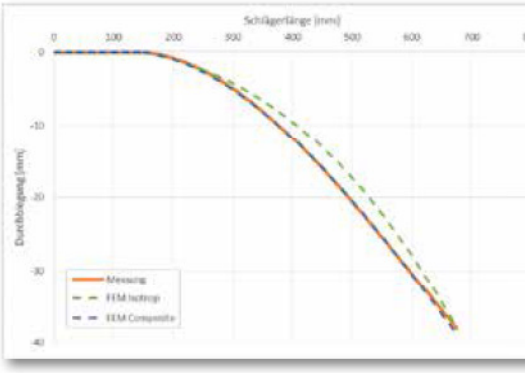
Der Schläger wurde zur Nachrechnung der Rahmensteifigkeit am Griff fest fixiert und an der Spitze mit einer Kraft senkrecht zum Schlägerkopf belastet.

Die Berechnung mit Nastran hat gezeigt, dass durch den Einsatz von Composite-Materialien die Biegelinie der Messung sehr gut erreicht werden kann. Im Gegensatz dazu zeigte die häufig verwendete Annäherung durch ‚isotropes Material' eine deutliche Abweichung (Bild 2).

Oft werden faserverstärkte Kunststoffe der Einfachheit halber mit isotropen Eigenschaften berechnet wie üblicherweise Metall. In der Realität besitzen Composites jedoch richtungsabhängige Eigenschaften, sogenannte anisotrope Eigenschaften. Die Steifigkeit kann stark in verschiedene Richtungen des Bauteils variieren. Werden die anisotropen Eigenschaften beim Design beachtet, zeigen die Simulationen in der Regel viel realistischere Ergebnisse (Bild 3).



Visualisierung eines Simulationsergebnisses.
Bilder: MSC und CAE Simulation & Solutions



Vergleich der Simulation mit einer Messung am realen Schläger. Die Berücksichtigung der Faserrichtungen verbessert die Simulation.

Die Vorspannung der Saiten konnte durch thermische Längenänderung realisiert werden. Mit dem FE-Modell des Tennisschlägers wurde neben der Biegelinie der Einfluss der Saitenvorspannung auf Rahmen und Saite berechnet.

Die Simulation ergab eine merkliche Verformung des Schlägerrahmens aufgrund der Vorspannkraft der Saiten. Die größten Verschiebungen traten dabei in Querrichtung auf, genau in den Bereichen der geringsten Rahmensteifigkeit (geringste Krümmung).

Fazit

CAE Simulation & Solutions konnte zeigen, dass durch den Einsatz von FE-Methoden – verbunden mit dem entsprechenden Faserverbundmaterial – ein realitätstreues Modell eines Tennisschlägers aufgebaut werden kann. Dies ermöglicht die Identifizierung der eigenschaftsrelevanten Parameter des Schlägers, die individuelle und schnelle Anpassung dieser Einflussparameter und die Darstellung der Auswirkungen.

Durch den Einsatz der Simulation im Tennissport können – im Gegensatz zum Prototypenbau – die Auswirkungen veränderter Parameter des Materials oder der Vorspannung einfach und schnell sichtbar gemacht werden. Rechnergestützte Entwicklungsmethoden sind somit ein nützliches Instrument zur Optimierung der Leistungsmerkmale. Zeit und Kosten beim Design- und Produktionsprozess neuer Tennisschläger lassen sich damit drastisch senken. JBI |

Jacqueline Dastl arbeitet bei CAE Simulation & Solutions Maschinenbau Ingenieurdienstleistungen in Wien.
Syllvett Tsialos ist PR-Managerin bei MSC Software in München.