



Wie läuft's?

Computertomographische Untersuchung von Laufschuh- und Spikesohlen

Simon Horn, Dr. Romina Krieg

ABSTRACT

Im Rahmen dieser Use-Case-Studie wurden drei Laufschuhe und zwei Leichtathletik-Spikes mittels Micro-Röntgen-Computertomographie untersucht. Ziel war die zerstörungsfreie Sichtbarmachung unterschiedlicher Sohlenkonzepte moderner Sportschuhe. Die CT-Aufnahmen ermöglichten die Analyse von Schaumstrukturen, Verstärkungselementen, Materialübergängen und Fügeverbindungen. Dabei wurden sowohl komplexe Konstruktionen mit Carbonplatten, Energyrods und Air-Elementen als auch minimalistische Ansätze mit stark reduzierten Sohlenaufbauten betrachtet. Die Ergebnisse zeigen die große Bandbreite konstruktiver Lösungen zur Optimierung von Dämpfung, Stabilität und Energierückgabe und verdeutlichen das Potenzial der industriellen Computertomographie für die Untersuchung komplexer Materialverbunde und Produktstrukturen.



© Adobe Stock

ZWISCHEN LEISTUNGSGEWINN

UND GESUNDHEITSRISIKO

Das Leichtathletikjahr 2026 ist geprägt von zahlreichen nationalen und internationalen Wettkämpfen. Neben sportlichen Höchstleistungen rückte dabei auch das Equipment der Athletinnen und Athleten verstärkt in den Fokus der Öffentlichkeit.

Besondere Aufmerksamkeit erhielten moderne Hochleistungs-Laufschuhe mit Carbon-Technologien. Nachdem beim London-Marathon im April 2026 der Weltrekord der Männer gleich mehrfach unterboten wurde und erstmals zwei Läufer in einem offiziellen Rennen die Zwei-Stunden-Marke durchbrachen, wurde intensiv über den Einfluss moderner Carbon- Schuhe auf die Leistungsfähigkeit diskutiert. Auch der neue Weltrekord über die Meile durch Josh Kerr im Juli 2026 lenkte die Aufmerksamkeit auf individuell angepasste Schuhkonzepte. Gleichzeitig sorgte die Klage der US-Sprinterin Abby Steiner gegen ihren Ausrüster Puma und das Mercedes-Formel-1-Team für Diskussionen über mögliche gesundheitliche Auswirkungen moderner Carbon-Technologien.

Die öffentliche Wahrnehmung moderner Sportschuhe bewegt sich damit zwischen den Polen Leistungssteigerung und Gesundheitsrisiko. Dies nahm die FGW zum Anlass, verschiedene Lauf- und Leichtathletikschuhe hinsichtlich ihres inneren Aufbaus und der verwendeten Technologien näher zu untersuchen.

UNTERSUCHUNGSZIEL

Ziel dieser Studie ist es, unterschiedliche Konstruktionsansätze moderner Lauf- und Wettkampfschuhe sichtbar zu machen. Die Auswahl der Modelle erfolgte auf Basis verschiedener Sohlenkonzepte und stellt weder eine Bewertung einzelner Produkte noch eine Stellungnahme zum Einsatz von Carbon-Elementen dar.

Für die zerstörungsfreie Analyse wurde das Micro-Röntgen-CT-System TESCAN UniTOM® XL eingesetzt. Die Aufnahmen erfolgten bei einer Röhrenspannung von 60 kV und Voxelgrößen zwischen 40 und 80 µm.

UNTERSUCHTE SCHUHMODELLE

Für die Untersuchungen stellten Athletinnen und Athleten der Leichtathletik-Abteilung der SG Monheim verschiedene im Trainings- und Wettkampfbetrieb genutzte Schuhe zur Verfügung. Analysiert wurden die Laufschuhe adidas Adizero Boston 10, Altra Experience Flow und Vibram® FiveFingers V-Run sowie die Spikes Puma evoSPEED Star 9 und Nike Air Zoom Victory.

ADIDAS ADIZERO BOSTON 10

Beim Adidas Adizero Boston 10 (Abbildung 1) handelt es sich um einen Schuh mit integrierten Energy-rods, um ein reaktives Laufen mit Energierück-gewinnung zu ermöglichen. Die Sohle soll aus zwei Schäumen bestehen: Lighstrike EVA und Lighstrike PRO. In die Schäume eingebettet sind die glasfaserverstärkten Kunststoffstäbe, Energyrods genannt, die entlang der Mittelfußknochen orientiert sind und so eine Energierück-führung ermöglichen.

Eine Carbonplatte im Fersenbereich soll den Fuß stabilisieren. Die Außensohle besteht aus Continental™-Gummi, welches einen sehr guten Grip und eine hohe Abriebfestigkeit für lange Nutzbarkeit versprechen soll. Damit baut die Sohle zwischen 34 mm im Zehen- und 44 mm im Fersenbereich auf.



Abb.1: Sohlenaussparung mit drei der insgesamt fünf Energyrods des Adidas Adizero Boston 10

Im Falle des Adidas kann man den zweilagigen Sohlenaufbau mit den beiden Schäumen bereits von außen sehen, da sich die Schäume optisch und farblich unterscheiden. In die Sohle ist eine Aussparung eingearbeitet, in der drei blaue Stäbe, drei der insgesamt fünf Energyrods, zu sehen sind.

Im Fokus der zerstörungsfreien Bildgebung lag beim Adizero Boston 10 die Sichtbarmachung der Energyrods und deren Orientierung sowie Fixierung in der Sohle sowie die Unterscheidung der beiden Schäume. Entsprechend wurden verschiedene Schnitte durch den Schuh gelegt (Abb. 2).

In Abbildung 2 a) ist eine übliche Röntgen-CT-Aufnahme des Schuhs in Grau-Stufen dargestellt, mit helleren Bereichen für Bereiche mit höherer Dichte und dunkleren Bereichen für Bereiche mit geringerer Dichte.

Es fällt auf, dass der obere Bereich der Mittelsohle

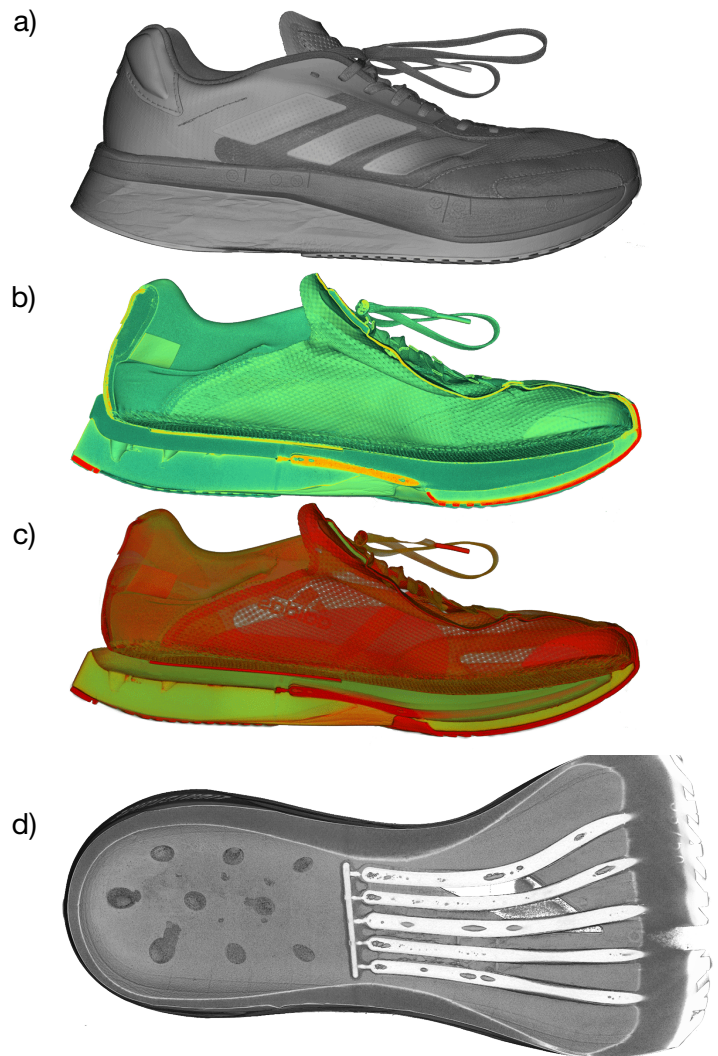


Abb.2: Verschiedene Röntgen-CT-Darstellungen des Adidas Adizero Boston 10, a) Außenansicht, b) Falschfarbendarstellung eines Schnitts durch die Längsachse des Schuhs, c) zusätzlich mit rechnerisch entferntem Lighstrike Pro-Schaum, d) Schnitt parallel zur Sohle

dunkler dargestellt wird als der untere Mittelsohlenbereich. Der Lighstrike Pro-Schaum scheint damit eine geringere Dichte aufzuweisen als der Lighstrike EVA-Schaum. In Abbildung 2 b) und c) sind Schnitte durch den Schuh entlang der Fußachse dargestellt.

Bei beiden Abbildungen handelt es sich um Falschfarbendarstellungen, um die einzelnen Elemente in der Sohle und die jeweiligen Dichten besser differenzieren zu können. Bereiche mit geringer Dichte sind Dunkelgrün über Gelb und Orange zu Bereichen mit hoher Dichte in Rot dargestellt.

In Abbildung 2 b) sind mehrere Bereiche in der Mittelsohle auffällig. Zwischen Innensohle und Mittelsohle befindet sich im Fersenbereich eine Platte in gelber Farbe (höhere Dichte als die Schäume). Dabei handelt es sich um die Carbon-Platte, welche für die Stabilität in diesem Bereich vorgesehen ist.

Im Mittelfußbereich in Orange (höhere Dichte als die Carbon-Platte) ist ein Teilbereich eines Energyrods zu erkennen. In diesem sind einige grüne Bereiche mit geringerer Dichte identifizierbar. Dies ist ein Zeichen dafür, dass dieser Energyrod nicht vollständig massiv, sondern lokal hohl ist und Fehlstellen aufweist.

Im Fersenbereich des Lightstrike EVA-Schaums sind ausgehend von der Grenzfläche zum Lightstrike Pro-Schaum Löcher im Material zu erkennen. Diese müssen bereits während des Produktionsprozesses entstanden sein, weil diese Löcher auch im Fersenbereich in Abbildung 2 d) zu erkennen sind. Diese Löcher sind zu regelmäßig gesetzt, als dass es sich bei den Löchern um Produktionsfehler handelt. Es dürfte sich um Einspritzkanäle für den Schaum in die Form handeln.

Beide EVA-Schäume zeigen eine dünne Schicht an der Oberfläche mit höherer Dichte als im Kern. Diese höhere Materialdichte ist dem Expansionsprozess geschuldet, in dessen Rahmen sich im Kern mehr Poren bilden als unter der Oberfläche. Auf der Unterseite der Mittelsohle ist die Außensohle als dünne rote Linien (Material mit hoher Dichte) erkennbar. Dabei handelt es sich um die Continental™-Gummisohle. Die Gummisohle besitzt die höchste Materialdichte im gesamten Schuh.

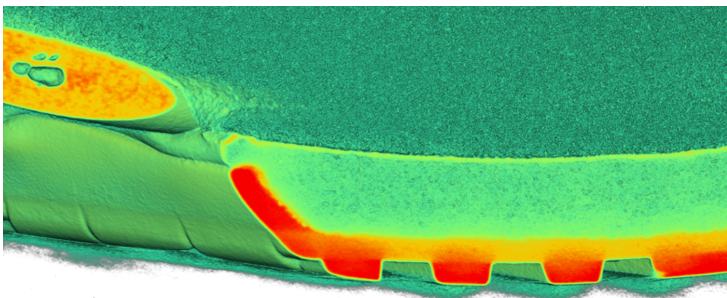


Abb.3: Ein vergrößerter Ausschnitt des Sohlenbereichs in Falschfarben-Darstellung, links in Orange ein Energyrod mit Fehlstellen (in Grün)

Im Kontaktbereich der Außen- und Mittelsohle wurde anscheinend durch das Fügeverfahren der Mittelschaum modifiziert. Dies zeigt sich durch einen Dichteanstieg in den Kontaktbereichen und ist in Abbildung 3 durch den grün-gelben Streifen oberhalb der rot-orangefarben-dargestellten Außensohle deutlicher zu erkennen.

In Abbildung 3 ist auch noch einmal der Unterschied in der Porigkeit der beiden Schäume erkennbar. Darüber hinaus sind mehrere Fehlstellen in einem Energyrod ersichtlich. Diese Fehlstellen weisen eine deutlich geringere Dichte als der Energyrod selbst auf, entsprechend handelt es sich um mit Luft gefüllte Poren.

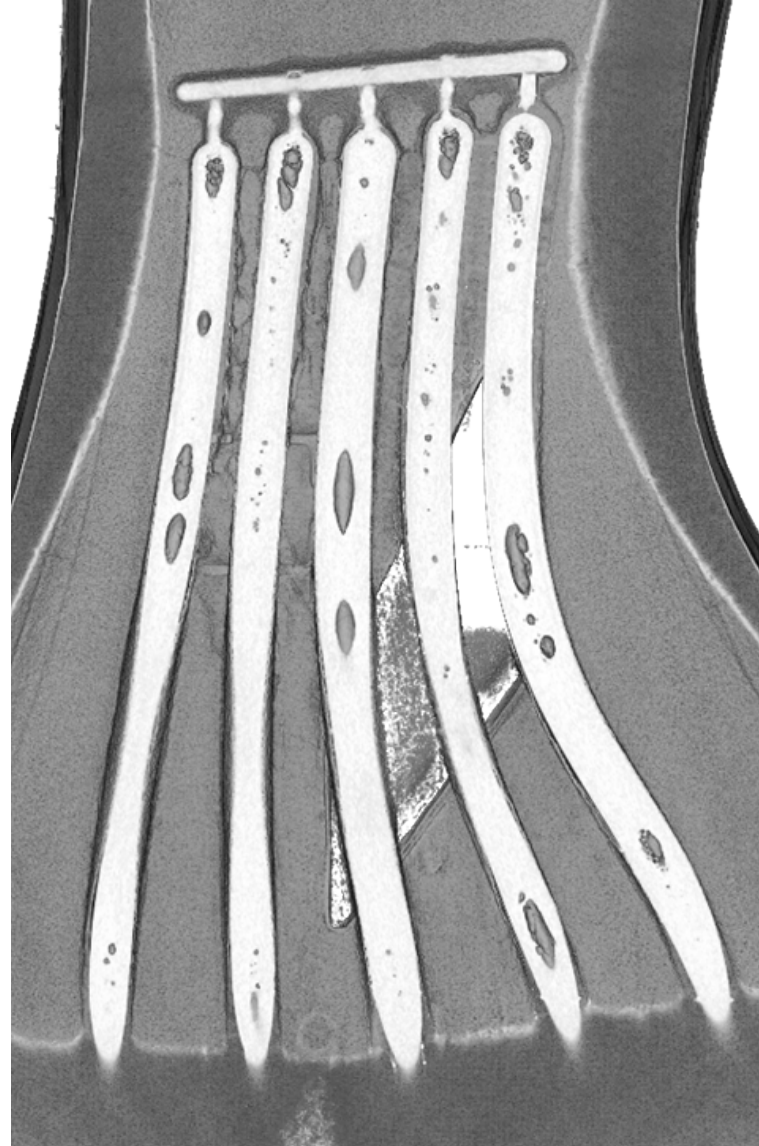


Abb.4: Eine vergrößerte Aufnahme der im Schaum eingebetteten Energyrods

In der vergrößerten Aufnahme (Abbildung 3) ist auch noch gut zu erkennen, dass das Material der Energyrods keine homogene Dichteverteilung besitzt. Dies zeigt sich daran, dass der Energyrod in der Falschfarbendarstellung eine rot-orangefarbene Marmorierung aufweist.

Für die Darstellung in Abbildung 2 c) wurde die Farb-Dichte-Skala aufgeweitet, um weitere Elemente sichtbar zu machen. Material mit der Dichte des Lightstrike Pro-Schaums wurde rechnerisch aus dem Schuhmodell entfernt. So werden die Elemente, die in dem Schaum eingebettet sind und durch diesen verdeckt sind, sichtbar gemacht. Zu erkennen ist der in z-Richtung gebogene Verlauf des in Rot dargestellten Energyrods.

In Abbildung 2 d) ist ein Schnitt durch die Mittelsohle in Höhe der Energyrods parallel zur Außensohle von der Außensohle schauend dargestellt. In dem Schnittbild sind die fertigungsbedingten Einspritzlöcher im Schaum, die fünf Energyrods entlang der gedachten Mittelfußknochen sowie deren Befestigung zu erkennen.

Die Energyrods sind mittels dünner Hälse an einem querverlaufenden Steg befestigt und so im Schaum gegen Verrutschen gesichert. Gut zu erkennen ist, dass die Energyrods nicht nur entlang der z-Achse sondern auch in der x-y-Ebene gebogen sind. In Abbildung 4 ist ein vergrößerter Ausschnitt von Abbildung 2 d) dargestellt.

Alle Energyrods weisen Fehlstellen in Form von Hohlräumen im Inneren auf. Da mit dem Schuh bereits nicht zu vernachlässigende Kilometer zurückgelegt wurden, ohne dass einer der Energyrods, trotz der auffällig hohen Anzahl an Fehlstellen, gebrochen ist, ist davon auszugehen, dass die Fehlstellen seitens des Schuhherstellers im Rahmen der Schuhentwicklung und Auslegung akzeptiert wurden. In dem Fall kann also nicht zwangsläufig von einem Mangel gesprochen werden.

Es ist gut zu erkennen, dass der Schaum in den schmalen Bereichen zwischen den Energyrods nicht gleichmäßig expandierte und sich in den Bereichen nun zerkräuselt darstellt. Um den querverlaufenden Steg kam der Schaum während der Expansion nicht zum Anliegen, ein saumartiger Hohlraum um den Quersteg und die Hälse ist deutlich erkennbar.

Beim weißen Kasten hinter den Energyrods handelt es sich um die Aussparung im Lightstrike EVA-Schaum und der Laufsohle, welche als Designelement und Sichtfenster auf drei der Energyrods fungiert.

ALTA EXPERIENCE FLOW

Beim Altra Experience Flow ist der Ansatz seitens der Schuhentwickler anders gewählt. Die Mittelsohle ist einteilig und soll vollständig aus einem compression molded EVA-Schaum bestehen. Dieser Schaum soll ein energieeffizientes Laufen bei gleichzeitig fester Dämpfung ermöglichen. Durch die festere Dämpfung ist die Mittelsohle allerdings nicht so reaktiv wie bei anderen Laufschuhen. Für Läufer, die einen spürbaren Druckpunkt bei Bodenkontakt und damit Feedback vom Boden bevorzugen, ist dieses Merkmal allerdings ein Pluspunkt beim Laufgefühl. Die Sohlenhöhe beträgt 28 mm im Zehen- und 32 mm im Fersenbereich und ist damit deutlich schlanker als der Adidas Adizero Boston 10. Die Innenseiten eines Altra Experience Flow-Paars sind in Abbildung 5 dargestellt.

In Abbildung 6 sind drei Schnitte entlang der Fußachse durch den Altra Expierience Flow dargestellt. Die Schnittachsen sind so gelegt, dass sie leicht variieren mit in Abbildung 6 a) über b) nach c) aus



Abb.5: Der Altra Experience Flow, a) linker Schuh mit Sicht auf die Innenseite, b) Röntgen-CT-Aufnahme des rechten Schuhs mit Sicht auf die Innenseite

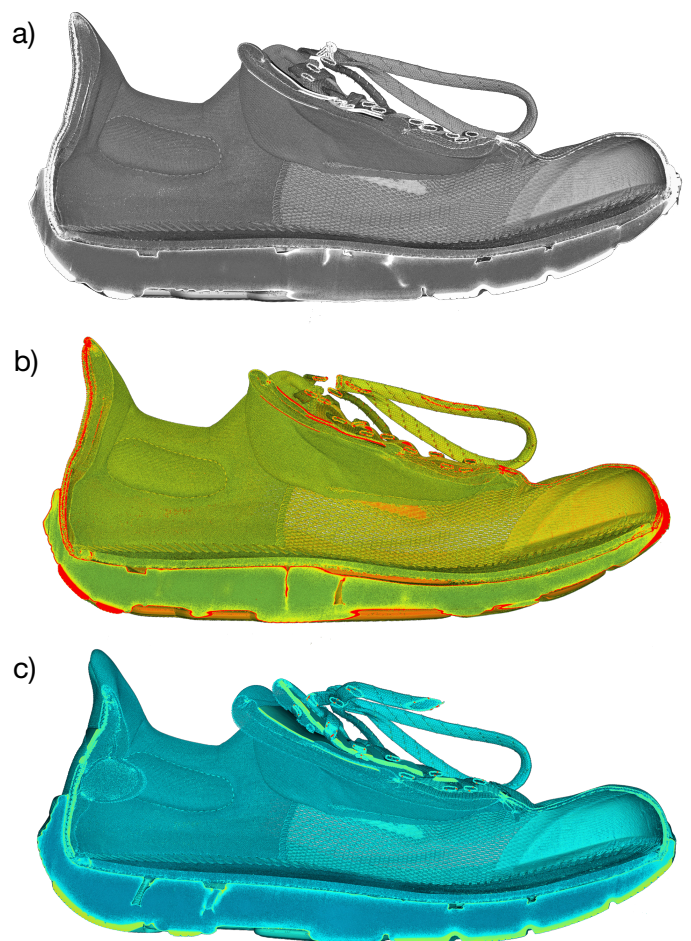


Abb. 6: Röntgen-Darstellungen, a) Schnitt entlang der Fußlängsachse etwa mittig, b) Falschfarbendarstellung eines Schnitts entlang der Fußlängsachse gegenüber der Schnittachse in a) aus dem Bild heraus leicht versetzt, c) Falschfarbendarstellung eines Schnitts die Längsachse des Schuhs gegenüber der Schnittachse in b) aus dem Bild heraus leicht versetzt

dem Bild heraus. Es fällt auf, dass die Innen- und Mittelsohle eine sehr ähnliche Materialdichte besitzen. In der Mittelsohle sind einige als Fehlstellen erscheinende (rissartige, von oben nach unten verlaufende) Merkmale zu erkennen, die in a) und b) im Mittelfußbereich lokalisiert sind. In c) sind die Fehlstellen im Fersenbereich lokalisiert.

Bei diesen als Fehlstelle erscheinenden Merkmalen müsste es sich um Anspritzkanäle für den Schaum in die Form handeln. Dass die Merkmale wie Risse erscheinen, liegt an der Lage der Schnittebenen. In Abbildung 6 a) und b) liegen die Anspritzkanäle direkt hinter der Schnittebene, so dass die Kanäle äußerst knapp angeschnitten werden. Durch Kanteneffekte erscheinen die angeschnittenen Kanäle als Risse. In Abbildung 6 c) liegt die Schnittebene hingegen so, dass mittig durch zwei Kanäle geschnitten wird und so die Kanäle offengelegt werden.

Wie auch bei den Schäumen des Adidas-Schuhs liegt im Kern der Mittelsohle eine geringere Dichte vor als unter der Oberfläche. Dies korreliert mit der beobachteten Porengrößenverteilung in der Mittelsohle. Dies ist ebenfalls durch einen Dichteanstieg in den Kontaktbereichen zwischen Mittelsohle und Außensohle zu erkennen. Die nicht gleichmäßige Porengröße in der Mittelsohle kann Abbildung 7 entnommen werden.

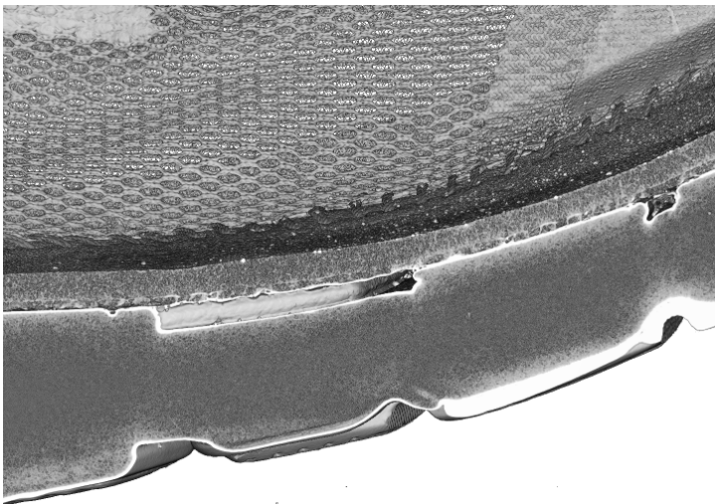


Abb. 7: Porenverteilung in der Mittelsohle mit Auffälligkeit zwischen Innen- und Mittelsohle

Die Außensohle ist in Abbildung 6 c) in Gelb dargestellt. Wie beim adidas Adizero Boston 10 ist die Außensohle das Material mit der höchsten Dichte im Schuh.

Im Fersenbereich sind die Fersenpolster zur Stabilisierung der Ferse im Schuh zu erkennen. Man kann die Struktur der Kissenfüllung erkennen, entsprechend ist es naheliegend anzunehmen, dass diese Kissen mit einem sehr großporigen Schaum gefüllt sind. Dies lässt sich besonders gut aus Abbildung 6 c) entnehmen.

In einigen Schnitten wurde im Bereich zwischen Vor- und Mittelfuß zwischen Innen- und Mittelsohle eine Auffälligkeit identifiziert, die wie eine fehlerhafte Verklebung zwischen Innen- und Mittelsohle erscheint. In Abbildung 6 b) ist diese Auffälligkeit als dünn-zulaufender orangefarbener Bereich zu erkennen. In Abbildung 7 ist die Abweichung ebenfalls ersichtlich, dort als

hell-graues Volumen. Um dieser Auffälligkeit auf den Grund zu gehen, wurden weitere Schnittebenen durch den Schuh gelegt. Die Schnittebenen wurden in diesem Fall senkrecht zur Fußachse gelegt. Ein ausgewählter Schnitt lässt sich Abbildung 8 entnehmen.

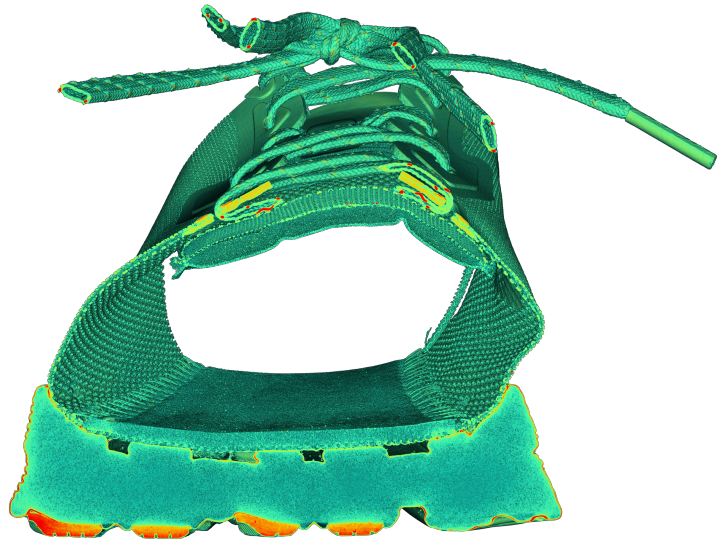


Abb. 8: Falschfarbendarstellung eines Querschnitts durch den Altra Experience Flow im vorderen Fußbereich

Es fällt auf, dass die vermeintliche Abweichung keine fehlerhafte Verklebung und auch kein Fehler im Produktionsablauf ist. Das, was als vermeintliche Abweichung identifiziert wurde, ist kein Mangel sondern eine Profilierung der Mittelsohle auf der Oberseite. Diese Profilierung spiegelt die Profilierung auf der Seite der Außensohle wider. Über den Sinn dieser Profilierung kann nur spekuliert werden, aber es ist davon auszugehen, dass die Sohle dadurch flexibler in verschiedene Richtung verformt werden kann und so den verschiedenen Belastungsrichtungen (Druck, Biegung, Torsion) beim Laufen besser folgen kann.

Darüber hinaus fällt auf, dass die Mittelsohle in der Schnittaufnahme deutlich dünner ist, als es die Betrachtung von außen (siehe Abbildung 5) vermuten lässt. Die Sohle ist also außen am Schuh hochgezogen, wodurch die Mittelsohle deutlich dicker erscheint, als sie tatsächlich ist.

VIBRAM® FIVE FINGERS V-RUN

Der Vibram® FiveFingers V-Run ist ein absoluter Minimalschuh mit dünner Sohle und einzelnen Taschen für die Zehen (Abbildung 9). Die Zielsetzung dieses Schuhs ist die Erzielung eines realen Feedbacks bei Bodenkontakt. Laut Herstellerangaben besteht die Sohle lediglich aus einer 2 mm dicken EVA-Innensohle und einer dämpfenden 4 mm EVA-Mittelsohle. Der Grip wird durch eine 2,5 mm dicke Vibram®-Gummisohle

gewährleistet. Die Dämpfung bei diesem Schuh wird also nicht von einer dicken Mittelsohle, sondern vom Fuß selbst übernommen. Dies erfordert allerdings einen angepassten Laufstil, um die Dämpfung durch den Fuß zu ermöglichen.



Abb.9: Der Vibram FiveFingers V-Run

Die Zielsetzung der zerstörungsfreien Bildgebung im Rahmen der Analyse des Vibram® FiveFingers V Run ist die Darstellung der dünnen Mittelsohle im Vergleich zu den anderen beiden Laufschuhen.

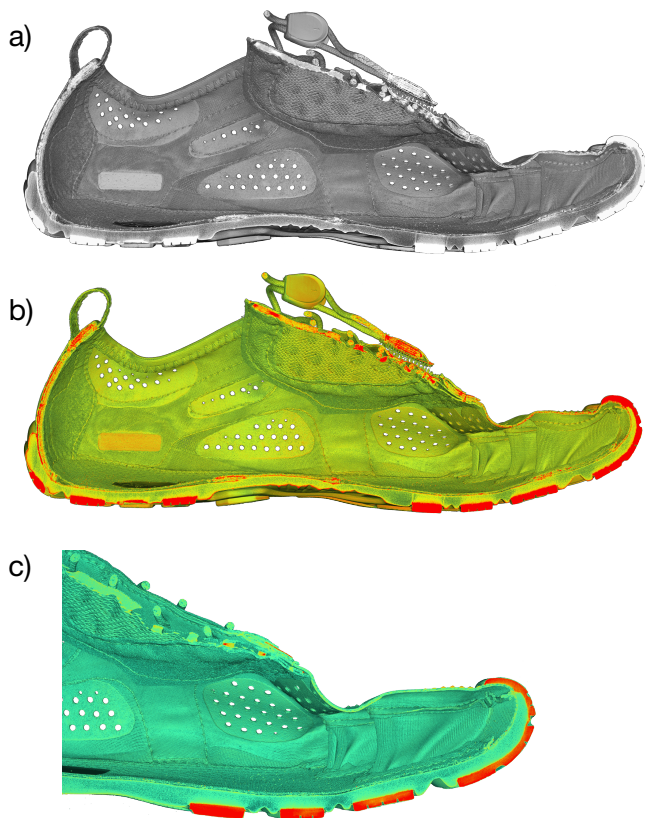


Abb.10: Schnitte durch den Vibram® FiveFingers V-Run entlang der Fußachse, a) Aufnahme in Graustufen, b) Falschfarbendarstellung zur Differenzierung der Materialdichte, c) Falschfarbendarstellung des Vorfußbereichs

In Abbildung 10 sind mehrere Schnitte durch den Vibram® FiveFinger V-Run dargestellt. Bei den Abbildungen a) und b) handelt es sich um dieselbe Schnittebene, wobei Abbildung b) durch die Falschfarbendarstellung die Differenzierung der Materialien anhand der Materialdichten erleichtert. Es fallen mehrere Dinge auf: Die angeblich vorhandene 2 mm dicke EVA- Innensohle scheint nicht vorhanden zu sein.

Es ist nur das Futter zu erkennen. Die 4,5 mm starke Mittelsohle ist durchgängig und ohne Fehlstellen ausgebildet. Durch die beiden Falschfarbendarstellungen wird deutlich, dass auch bei diesem Schuh in der Mittelsohle im Rahmen der Schaumexpansion im Kern mehr Poren gebildet wurden als am Rand.

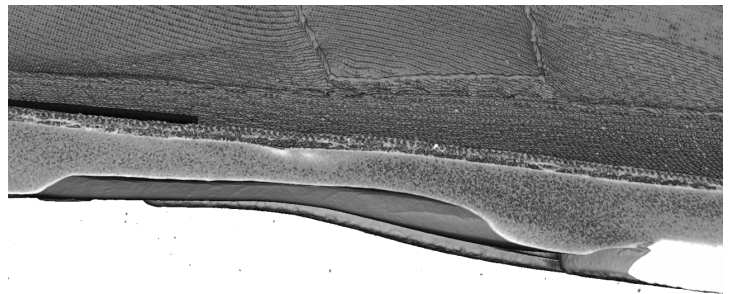


Abb.11: Ausschnitt aus der Mittelsohle, rechts unten in weiß ist die Außensohle mit der höchsten Dichte zu erkennen

Der Gradient in der Verteilung der Porengröße mit großen Poren im Kern und kleinen Poren bis hin zu kompaktem Material an der Oberfläche der Mittelsohle wird in der vergrößerten Darstellung in Abbildung 11 besonders deutlich.

Wie bei den beiden vorhergehenden Schuhen wurde anscheinend im Kontaktbereich der Außen- und Mittelsohle durch das Fügeverfahren der Mittelsohlenschaum modifiziert. Dies ist ebenfalls durch einen Dichteanstieg in den Kontaktbereichen zu erkennen. Auch bei diesem Schuh besitzt die Laufsohle aus Vibram®-Gummi die höchste Dichte im Schuh.

PUMA evoSPEED STAR 9

Der PUMA evoSPEED Star 9 (Abbildung 12) ist ein Allround-Spike. Mit diesem Modell soll der Athlet alle Lauf- und Sprungdisziplinen abdecken können. Entsprechend omnifunktional muss die Sohle aufgebaut sein und verschiedene gegensätzliche Ansätze bedienen.



Abb.12: Der PUMA evoSPEED Star 9

Für Sprint- und Sprungdisziplinen darf die Sohle nicht zu dämpfend sein, gleichzeitig muss die Dämpfung hoch genug sein, dass auch längere Laufdistanzen mit dem Schuh möglich sind.

Die Sohle besitzt einen vergleichsweise einfachen Aufbau, mit einer durchgehenden EVA-Mittelsohle für reaktionsfähige Dämpfung und Komfort, einer Multi-Event-Platte mit sechs austauschbaren Spikes im Vorfußbereich für die Traktion und Antrieb auf der Tartan-Laufbahn sowie einer abriebfesten Gummisohle im Mittelfuß und an der Ferse für die Strapazierfähigkeit.

Der Fokus bei dem PUMA evoSPEED Star 9 liegt auf der Sichtbarmachung der Grenzfläche zwischen der EVA-Mittelsohle und der Außensohle aus Gummi sowie dem Übergang zwischen Multi-Event-Platte und Gummisohle.

Die Metallgewinde in der Multi-Event-Platte zur Aufnahme der Spikenägel stellen aufgrund der deutlich höheren Dichte gegenüber dem umgebenden Kunststoff der Multi-Event-Platte ein Problem in der Bildgebung dar und resultieren in Artefakten, die sich nicht vollständig unterdrücken lassen.

Diese sind in den Aufnahmen in Form von hellen Streifen deutlich zu erkennen. Diese Artefakte strahlen in das, das dichtere Material umgebende Material aus und sind nicht mit Material-Inhomogenitäten zu verwechseln.

Abbildung 13 ist eine beispielhafte Darstellung der eben beschriebenen Artefakte wie sie in Aufnahmen des PUMA evoSPEED Star 9 auftreten.

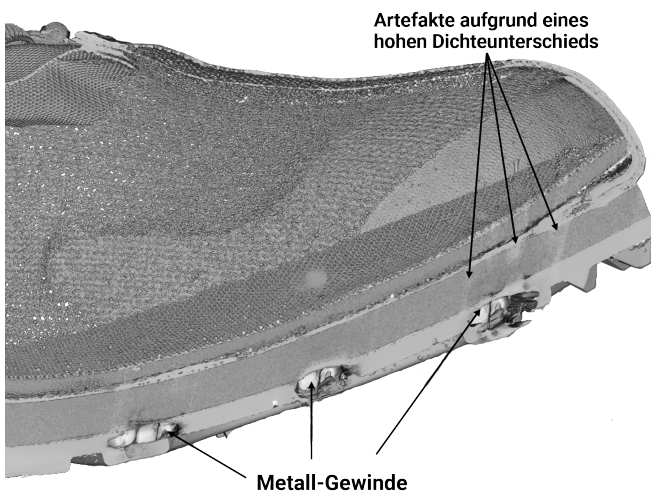


Abb.13: Schnitt im Vorfußbereich zur Sichtbarmachung der Metall-Gewinde in der Multi-Event-Platte. Kennzeichnend sind beispielhaft einige Artefakte, die aus dem hohen Dichteunterschied zwischen dem Kunststoff der Multi-Event-Platte sowie dem Schaum der Mittelsohle und den Metall-Gewinden resultieren

In der Falschfarben-Schnittaufnahme in Abbildung 14 ist deutlich zu erkennen, dass bei dem Spike keine Innensohle verbaut ist. Das Innenfutter ist direkt auf die Mittelsohle geklebt. Über dem Futter liegt nur eine lose verklebte Einlegesohle.

Dies ist daran erkennbar, dass sich in Abbildung 14 zwischen Einlegesohle und Innenfutter ein dunklerer Spalt und damit Material mit deutlich geringerer Dichte (Luft) befindet. Es fällt auf, dass die Gummisohle und die Multi-Event-Platte scheinbar die gleiche oder eine sehr ähnliche Dichte aufweisen. Die EVA-Mittelsohle erscheint in den Aufnahmen des Spikes eine andere Porigkeit zu besitzen als die EVA-Mittelsohlen der reinen Laufschuhe.



Abb.14: Schnittaufnahmen entlang der Fußachse durch den Puma evoSPEED Star 9, Mittelfuß und Fersenbereich in Falschfarbendarstellung zur einfacheren Differenzierung einzelner Komponenten auf Basis der Dichten

Eine Darstellung der EVA-Mittelsohle sowie des Übergangs zwischen Multi-Event-Platte und Gummisohle kann in höherer Vergrößerung Abbildung 15 entnommen werden.

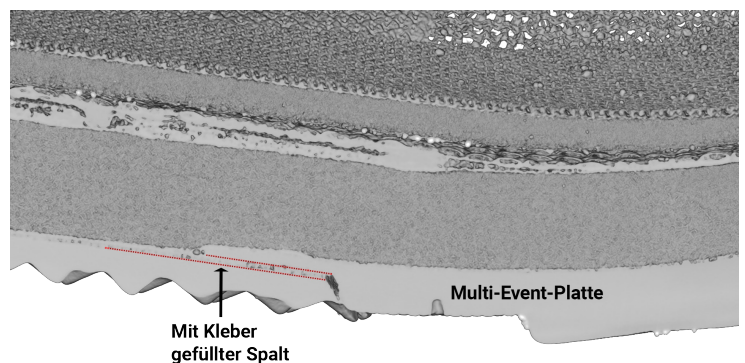


Abb.15: Schnitt durch den Übergangsbereich zwischen Multi-Event-Platte und Gummisohle, punktiert markiert ist der mit Kleber gefüllte Spalt zwischen Gummisohle und Multi-Event-Platte

Auch in dieser Aufnahme stellt es sich so dar, dass die Dichte des Multi-Event-Plattenmaterials und der Gummisohle eine gleichwertige Dichte aufweisen. Die Multi-Event-Platte wird im Übergangsbereich von der Gummisohle überlappt. Dazu ist die Multi-Event-Platte stufenförmig ausgebildet, wobei in diesem Bereich die Plattendicke auf maximal ein Drittel der Plattendicke im offenliegenden Bereich reduziert ist. Die Gummisohle und die Multi-Event-Platte sind verklebt.

Die Klebefuge zwischen den beiden Komponenten ist in Abbildung 15 mittels gepunkteter Linien markiert.

Des Weiteren kann der Aufnahme entnommen werden, dass die Gummisohle mit einer vergleichsweise dicken Kleberschicht mit der Mittelsohle verklebt ist. Zwischen der Multi-Event-Platte und der Mittelsohle ist bei gleicher Vergrößerung keine Kleberschicht erkennbar. Die Fügeverbindung zwischen diesen beiden Elementen ist also gänzlich anders geartet.

NIKE AIR ZOOM VICTORY

Der Nike Air Zoom Victory wurde für die Mittel- und Langstreckendistanzen zwischen 800 m und längstens 5.000 m entwickelt. Der Sohlenaufbau soll speziell auf Dämpfung und maximalen Vortrieb optimiert worden sein. Im Fersenbereich befindet sich der Nike ZoomX-Schaumstoff, der als reaktionsfreudig und leicht beschrieben wird und für optimale Energieaufnahme bei gleichzeitigem Aufprallschutz beim Laufen sorgen soll.



Abb.16: Der Nike Air Zoom Victory

Im Fersenbereich befindet sich anders als bei den bereits betrachteten Laufschuhen und dem Spike von Puma keine zusätzliche Außensohle, lediglich zwei sehr schmale, dünne und flexible Einsätze im Schaum. Dies liegt daran, dass diese Spikes für einen reinen Vorfuß-Lauf konzipiert sind und der Schaum im Fersenbereich lediglich minimalen Kontakt mit dem Untergrund haben soll.

Zwei Zoom Air-Elemente im Vorfußbereich sorgen für eine effiziente Energierückgabe. Dabei handelt es sich um ein Dämpfungssystem, in welchem dehnbare Fasern innerhalb eines Luftkissens miteinander verbunden eingebracht sind, dieses soll besonders reaktiv und schnell dämpfend sein. Wird die Luft in diesem Kissen komprimiert, werden die Fasern deformiert, wodurch Stöße absorbiert werden.

Bei Entlastung fungieren die Fasern wie eine Feder und nehmen ihre ursprüngliche Form an, was in einer unmittelbaren Reaktivität resultiert

und Energie in den Bewegungsablauf zurückgegeben wird. Zudem soll eine Carbonfaserplatte bei jedem Auftritt für weitere Dynamik sorgen. Im Zehenbereich befindet sich die Spike-Platte mit sechs austauschbaren Spikes.

Beim Nike Air Zoom Victory liegt der Fokus auf der Sichtbarmachung der Carbonfaserplatte und der Polymer-Fasern in den Zoom Air-Elementen. Wie beim Puma stellen die Metallgewinde in der Spike-Platte zur Aufnahme der Spikenägel aufgrund der viel höheren Dichte ein Problem in der Bildgebung dar und resultieren in Artefakten, die sich nicht vollständig unterdrücken lassen. In Abbildung 17 a) sind im Kissen zwei Schatten erkennbar, die auf die dortigen Metallgewinde zurückzuführen sind. Es handelt sich in diesem Bereich also nicht um einen Dichte- bzw. Materialunterschied.

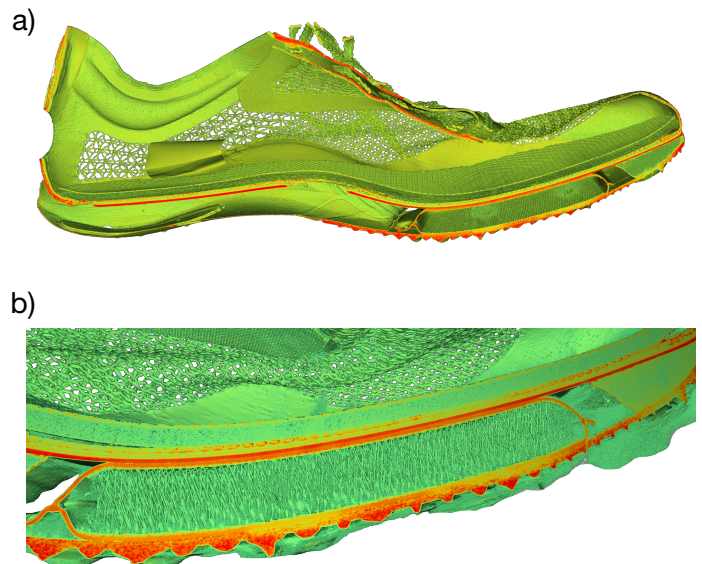


Abb.17: Schnittabbildungen in Falschfarben-Darstellung des Nike Air Zoom Victory, a) Überblick, b) Vorfußbereich derart aufgelöst, dass die Polymerfasern im Air-Element sichtbar sind

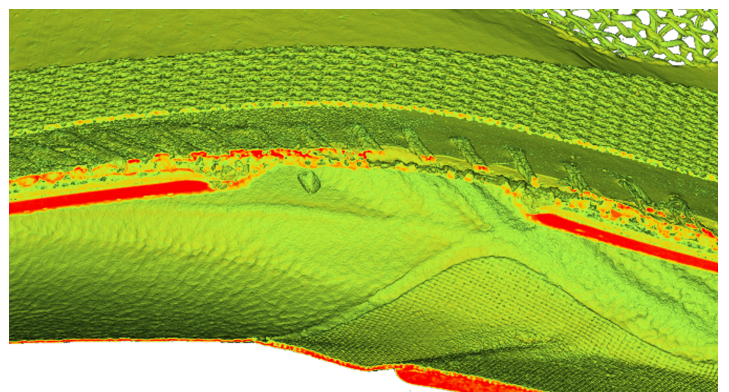
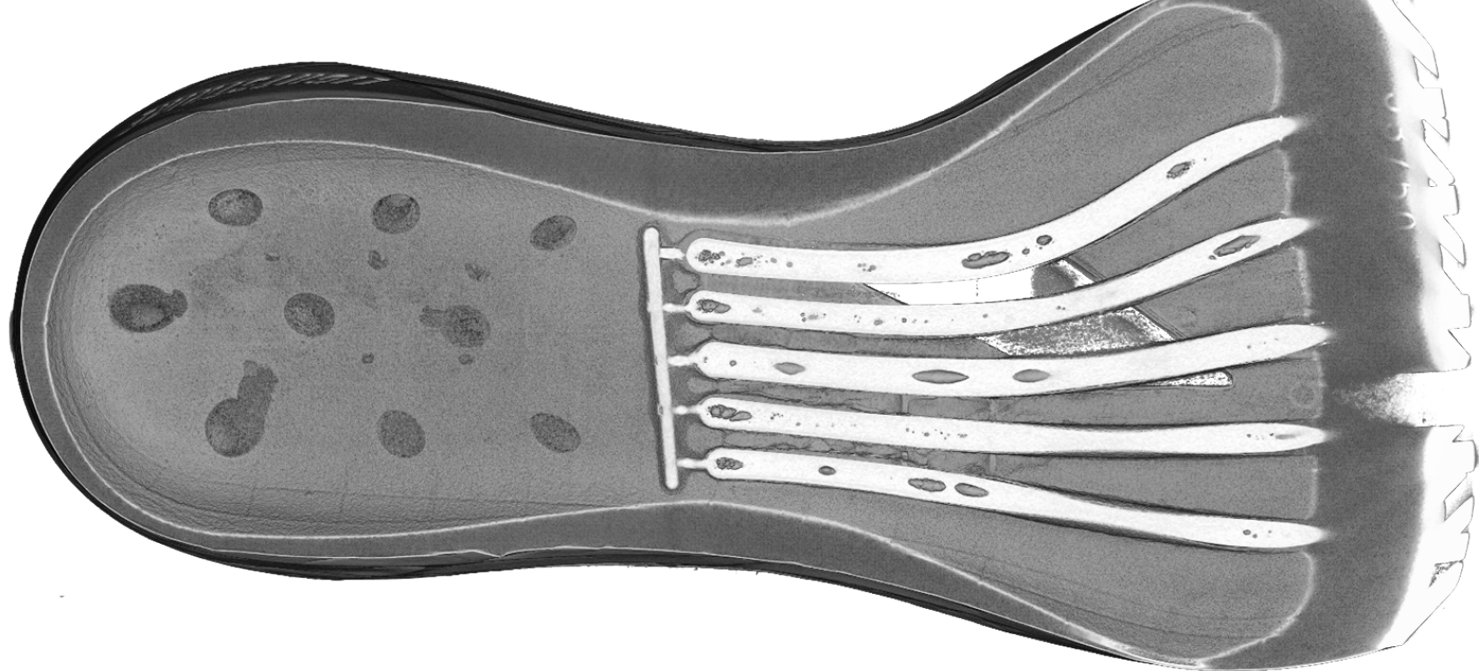


Abb.18: Vergrößerter Ausschnitt von Abb. 17 a). Die Carbon-Platte verjüngt sich im Mittelfußbereich, so dass in der Schnittaufnahme zu sehen ist, wie der Mittelsohlen-schaum und die Innensohle verbunden sind



FAZIT

Mit dem Micro-Röntgen-CT konnten die verschiedenen Sohlenaufbauten der zur Verfügung gestellten Lauf- und Spike-Schuhe sichtbar gemacht werden. Mittels der Untersuchungen konnten die unterschiedlichen Herangehensweisen im Design moderner Lauf- und Wettkampfschuhe offengelegt und verschiedene Werkstoffe und technische Elemente identifiziert werden.

Die Ergebnisse verdeutlichen den hohen Entwicklungsaufwand moderner Sportschuhe und zeigen zugleich die Leistungsfähigkeit der Computertomographie bei der Analyse komplexer Mehrmaterialsyste-me. Damit stellt die CT-Technologie ein wertvolles Werkzeug für Forschung, Produktentwicklung, Qualitätssicherung und Schadensanalyse dar.

TECHNISCHE DATEN ZUM TESCAN UniTOM XL

Das in dieser Studie verwendete TESCAN UniTOM® XL Spectral CT ermöglicht die zerstörungsfreie 3D- und 4D-Analyse von Werkstoffen und Bauteilen über mehrere Größenskalen hinweg. Mit einer Mikrofokus-Röntgenquelle bis 230 kV und 300 W Leistung sowie einer räumlichen Auflösung von bis zu 3 µm lassen sich selbst feine innere Strukturen, Defekte und Schädigungsmechanismen hochauflösend erfassen.

Die Spectral-CT-Technologie erweitert die klassische Computertomographie um material- und elementspezifische Informationen und ermöglicht die Unterscheidung von Werkstoffen mit ähnlicher Dichte.

Durch den integrierten Deben CT5000EC Zug- und

Drucktisch können Proben während der CT-Messung mechanisch belastet werden. Dadurch werden Verformungs-, Schädigungs- und Versagensprozesse in Echtzeit dreidimensional sichtbar. Die Kombination aus In-situ-Prüfung und Computertomographie eröffnet einzigartige Einblicke in das Werkstoff- und Bauteilverhalten unter realitätsnahen Belastungsbedingungen.

IHR KONTAKT

Sie haben Fragen oder möchten mehr über die Möglichkeiten der Computertomographie, In-situ-Prüfungen oder materialanalytischen Untersuchungen erfahren? Sprechen Sie uns an – wir unterstützen Sie von der Machbarkeitsstudie bis zur individuellen Forschungs- und Entwicklungsfragestellung.

Romina Krieg, Fachbereichsleiterin Werkstoffe:
krieg@fgw.de

DANKSAGUNG

Bedanken möchten wir uns bei Ferdinand Greimann und Melanie Hälsig sowie Romina Krieg für die Bereitstellung der Schuhe, ohne die diese Use Case Studie nicht möglich gewesen wäre.

Das CT-System wurde im Rahmen von Tool.Lab.NRW (EFRE-20400085) beschafft. Das Vorhaben wird mit Mitteln der Europäischen Union und des Landes NRW finanziert.



Kofinanziert von der
Europäischen Union

Ministerium für Wirtschaft,
Industrie, Klimaschutz und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen

