

Bindenähte und Einfallstellen - nur eine Frage der Optik?

Einblick in LEWITT's benutzerfreundliches Audio-Interface mit Moldex3D

Alessandro Beriole, Ricardo Almeida Roque, LEWITT GmbH
Florian Aichberger, SimpaTec GmbH

1. Einleitung

Zu Beginn, als LEWITT in den Mikrofonmarkt eintrat, wurden die meisten Teile aus Druckguss hergestellt. Manchmal kamen auch kleine Kunststoffteile in Baugruppen zum Einsatz. Diese Teile waren von geringer Komplexität, deutlich kleiner in der Größe, aber vor allem für den Kunden unsichtbar und technisch und qualitativ nicht sehr anspruchsvoll. Mit der Expansion in andere Produktsegmente der professionellen Audioindustrie wurde der Bedarf an größeren und komplexeren Kunststoffspritzgussteilen Realität. Dies stellte das Ingenieurteam vor neue Herausforderungen, nämlich das Design und die Produktion solcher Teile entsprechend den Marktanforderungen zu beherrschen. Obwohl das Team fertigungsgerecht konstruierte und sein hervorragendes Wissen über Kunststoffspritzgussverfahren einsetzte, sah es sich bald mit Herausforderungen konfrontiert: Unerwartete Ergebnisse und Defekte an den Spritzgussteilen, die oft zu langwierigen Diskussionen und Verbesserungsschleifen mit den Zulieferern führten. Es wurde schnell klar, dass das Ingenieurteam ein leistungsfähiges Werkzeug benötigte, das während des Konstruktionsprozesses hilfreiche und konstruktive Unterstützung bietet. Ein Werkzeug, das dem Team bereits in der frühen Phase der Produktentwicklung hilft, Fehler zu erkennen, zu korrigieren und zu vermeiden, die später im Produktionsprozess zu Spritzgussproblemen führen könnten. Darüber hinaus war es das Ziel, die DFM-Zeiten zu reduzieren, bei Diskussionen mit Zulieferern über Teilefehler die Oberhand zu gewinnen und die Zeit von T0 bis T1-Teile zu verkürzen.

Nach einer umfassenden Recherche geeigneter Werkzeuge auf dem Markt entschied sich LEWITT für Moldex3D, eine der führenden 3D-CAE-Technologien zur detaillierten Analyse, Verifizierung und Optimierung von Spritzgussteilen, Werkzeugen und Prozessen. Das Engineering-Team wurde intensiv geschult und fand in SimpaTec, einem der führenden Engineering- und Softwareunternehmen für die kunststoffverarbeitende Industrie und exklusiver Reseller von Moldex3D im deutschsprachigen Raum, einen starken Partner, um das Beste aus der Simulation herauszuholen. Nach nur zwei Jahren intensiver Nutzung hat sich die Software zu einem integralen und grundlegenden Bestandteil des Designprozesses entwickelt.

LEWITT ist ein Vorreiter in Sachen Innovation und Exzellenz. Das beweist das Unternehmen einmal mehr mit dem Einsatz der Spritzguss-Simulations-Software Moldex3D. Die Optimierung der Designparameter ist eine Kernkompetenz der Firma. Dies verdeutlicht, die detaillierte und in diesem Artikel beschriebene Fallstudie, in der es um die Entwicklung eines Kunststoffteils für ein Audio-Interface geht. Das Ingenieursteam von LEWITT stellt sicher, dass alle Bauteile zur Herstellung ihrer Produkte von höchster Qualität sind.

2. Fallstudie - Audio-Interface 'CONNECT 2'

Das Audio-Interface LEWITT CONNECT 2 zeichnet sich durch eine intuitive Bedienbarkeit aus und ermöglicht eine hochwertige Klangwiedergabe von Gesang und Instrumenten. Audio-Interfaces transformieren analoge Signale von Mikrofonen und Instrumenten in ein digitales Format, das von Computern und Software erkannt werden kann. Dieser Prozess wird als Analog-zu-Digital oder AD-Wandlung bezeichnet. Des Weiteren erfolgt auch eine Umwandlung digitaler Signale in analoge Signale, sodass eine Wiedergabe von Audiosignalen über einen Computer mittels Kopfhörer oder Studiomonitore möglich ist (Digital/Analog-Wandlung, auch DA-Wandlung genannt). Die Schnittstelle wurde so konzipiert, dass sie auf dem Schreibtisch platziert werden kann, wobei eine Positionierung

auf gleicher Höhe mit der Tastatur zu bevorzugen ist, um alle Bedienelemente mit geringen Handbewegungen schnell und einfach zu erreichen. Die Entwicklung des CONNECT 2 erfolgte vollständig im eigenen Haus. Das Gerät verfügt über eine berührungsempfindliche Benutzeroberfläche mit intuitiven Bedienelementen sowie einer visuellen Rückmeldung in Form von LEDs, die durch die in diesem Artikel analysierte Kunststoffabdeckung leuchten.



Bild 1 – CONNECT 2 - das obere Gehäuse (Ansicht von oben und unten, links) und ein Beispiel für die Anwendung (rechts)

Das betreffende Kunststoffteil ist für LEWITT's Verhältnisse relativ groß und verfügt über zahlreiche eingebettete Funktionen, weshalb es sich als Fallstudie besonders gut eignet. Darüber hinaus fungiert es als Kontaktfläche für die Hand des Anwenders und es besteht quasi eine andauernde Interaktion mit dem Produkt. Somit ist ein fehlerfreies Bauteil, speziell in diesem Bereich, von entscheidender Bedeutung.

Während der Entwicklungsphase wurde deutlich, dass die kosmetische Oberfläche aufgrund der genannten Merkmale, sowie der zahlreichen Öffnungen auf der Rückseite des Bauteils, gewisse Herausforderungen mit sich bringt. Insbesondere die potenzielle Bildung von Einfallstellen auf der sichtbaren Oberfläche und die Möglichkeit der Bildung von Bindenähten aufgrund der vielen Öffnungen könnten sich als anspruchsvoll erweisen.

3. Einfallstellen und Bindenähte

Um eine geeignete Lösung zu finden, ist es zunächst notwendig, das Problem genau zu analysieren und zu verstehen. Was sind Einfallstellen und Bindenähte? Wie entstehen sie und wie können wir sie kontrollieren?

3.1. Einfallstellen

Um den Kunststoff verarbeiten zu können, muss dieser zunächst aufgeschmolzen werden. In diesem speziellen Fall beträgt die Verarbeitungstemperatur 210°C. Da die Dichte von Kunststoffen nicht nur von der Temperatur, sondern auch vom Druck abhängt, wird sie über ein pvT-Diagramm beschrieben: p ist der Druck, T die Temperatur und v das spezifische Volumen, welches nichts anderes als der Kehrwert der Dichte ist.

Wenn man den Einspritzvorgang im pvT-Diagramm verfolgt, ist deutlich erkennbar, was im Bauteilinneren passiert [Abbildung 2]. Im **ersten Schritt** steigt der Druck an. Bei guten Prozesseinstellungen sollte die Schmelzetemperatur nahezu konstant bleiben. Das spezifische Volumen nimmt mit steigendem Druck ab. Die Dichte nimmt zu. Im **zweiten Schritt** wird die Kavität gefüllt. Der Druck sollte konstant gehalten werden, um die volumetrische Schwindung zu kompensieren. Die Temperatur nimmt ab. Im **dritten Schritt** friert der Anschnittbereich ein. Der Nachdruck kann nicht mehr wirken und der Druck fällt auf Umgebungsdruck ab. Die Temperatur sinkt weiter. Im **vierten und letzten Schritt** kühlt das Bauteil bei Umgebungsdruck final ab.

Mit Moldex3D lässt sich dieses Verhalten im gesamten Bauteil detailliert analysieren. Das Ergebnis ist eindeutig: Die optimalen Prozessbedingungen werden nicht überall im Teil erreicht. Ein Hauptgrund dafür ist die notwendige Bauteilgeometrie. Einige Bereiche weisen somit eine höhere Schwindung auf, was auf eine unzureichende Versorgung mit Nachdruck zurückzuführen ist.

In Bezug auf die genannten Gebiete lassen sich zwei Szenarien ableiten. Bei der ersten Möglichkeit ist die gefrorene Randschicht noch sehr dünn und instabil. In diesem Fall kommt es zur Bildung einer Einfallstelle, da die schwindende

Schmelze die flexible Außenhaut nach innen ziehen kann. Als zweite Möglichkeit kann die Festigkeit der erstarrten Randschicht als höher angenommen werden als die Festigkeit der verbleibenden Schmelze. In diesem Fall wird kein Einfall an der Außenhaut des Bauteils sichtbar sein. Jedoch kommt es im Inneren der Wandstärke zu einem aufreißen der Schmelze, was zur Bildung eines Hohlraums (Lunkers) führt. Der Defekt ist auch bei transparenten Teilen sichtbar und ähnelt einem Lufteinschluss.

Dieses Verhalten ist bei CONNECT 2 sehr deutlich sichtbar. SN1 (orange Kurve) liegt in einem angussnahen Bereich mit durchschnittlicher Wandstärke, während SN2 (blaue Kurve) in einem dickwandigen Bereich liegt, der nicht mit ausreichend Nachdruck versorgt werden kann. Die orange Kurve zeigt erwartungsgemäß ein nahezu perfektes Verhalten im pVT-Diagramm. Der blauen Kurve fehlt die gesamte zweite Stufe. Dadurch kann die Volumenschwindung nicht ausreichend ausgeglichen werden.

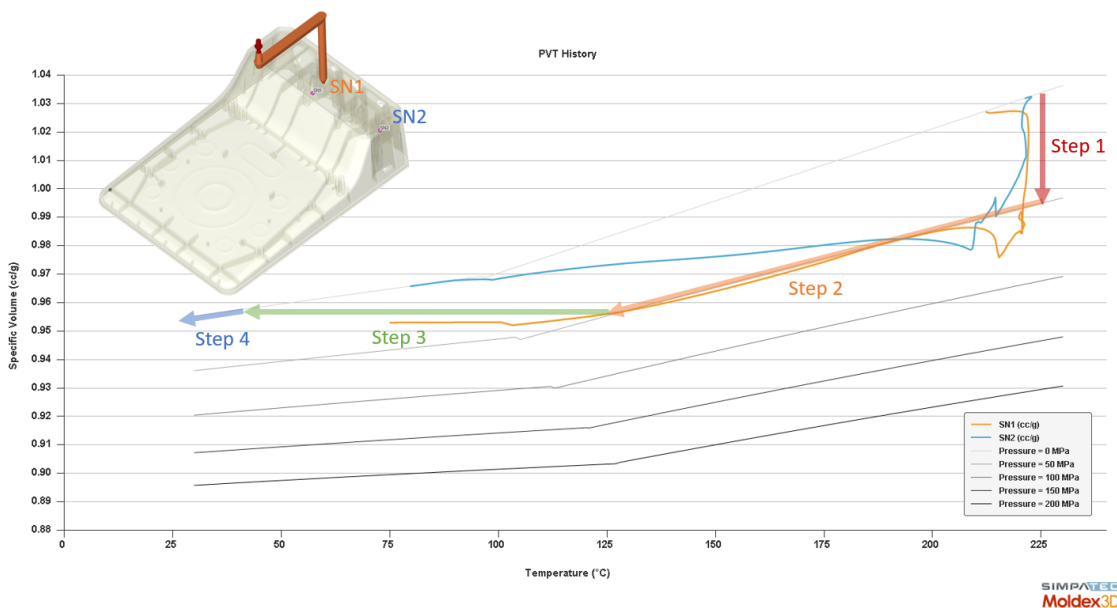


Bild 2: Mit Moldex3D ist sehr deutlich erkennbar, was im Bauteilinneren passiert.

3.2. Bindenähte

Bindenähte entstehen normalerweise, wenn zwei Fließfronten aufeinandertreffen. Abhängig vom Material und dem Auftreffwinkel, sowie der Temperatur und dem Druck an der Fließfront, haben die Bindenähte unterschiedliche Eigenschaften. Daher ist eine Bindenaht nicht nur eine optische, sondern auch eine mechanische Schwachstelle. Was die Bindenaht sichtbar macht, ist eine kleine Kerbe auf der Oberfläche. Die Kerbe entsteht, weil die Temperatur an der Werkzeugwand sehr schnell sinkt und die Luft in der Umgebung meist nicht vollends entweichen kann. Je größer der Auftreffwinkel und je höher die Schmelzetemperatur, desto besser ist in der Regel die Bindenaht. Es gibt jedoch auch andere Effekte, die die Qualität der Bindenaht verbessern oder verschlechtern können. Bindenähte befinden sich häufig in Bereichen, die am Endprodukt nicht sichtbar sind. In den meisten Fällen wird eine aktive Optimierung nur in den sichtbaren Bereichen angegangen. Die Tatsache, dass eine Bindenaht nicht zwingend stationär ist, sondern sich (oft unsichtbar) im Laufe der Restfüllung oder während des Nachdrucks im Bauteil bewegt, wird fälschlicherweise meist vernachlässigt. Diese Bewegung geschieht in der Regel durch Querströmungen, die sich positiv auf die Bindenahtfestigkeit auswirken können, wenn sie richtig kontrolliert werden. Später in diesem Artikel wird auf weitere Details hingewiesen.

4. Simulation und Realität

4.1. Wie fängt man an?

Während der DFM-Phase übermittelte der Lieferant dem Engineering-Team einige Informationen über den Einspritzprozess sowie den vorliegenden Rahmenbedingungen. Die Position und Größe des Anschnitts waren bereits bekannt und wurden folglich in der Simulation reproduziert. Details wie Druck/Temperatur oder die genaue Beschreibung des Kühlsystems blieben jedoch noch unbekannt. Aus diesem Grund wurden typische Einstellungen verwendet, die eine gewisse Sicherheit gewährleisten, dass sie nicht zu weit von der Realität entfernt sind.

Engineering Teams haben häufig die Situation, dass sie nur begrenzte Informationen zur Verfügung haben und für eine möglichst genaue Vorhersage entsprechend Annahmen für die Simulationsmodelle machen müssen.

Das für die Simulation ausgewählte Material ist ein handelsübliches ABS, das auch bei der Herstellung des Teils verwendet wird (ABS PA757-GJ08 CHIMEI). Dieses Material war im Moldex3D-Materialassistenten direkt verfügbar.

4.2. Vergleich von Simulationsergebnissen mit Spritzgussbauteilen

Die Zielsetzung für LEWITT ist es mit Hilfe der Simulation vorherzusagen, ob die Fertigung des Bauteils mit der gegebenen Geometrie möglich ist und wo potenzielle Probleme auftreten könnten, um im Vorfeld entsprechend zu reagieren.

Die durchgeführte Simulation zeigt, dass beim Füllen keine kritischen Bereiche zu verzeichnen sind. Das Teil kann folglich mit den vordefinierten Prozesseinstellungen produziert werden. Eine Analyse der Schmelztemperatur im Bereich der Bindenähte zeigt, dass diese leicht ansteigt, jedoch die maximal zulässige Schmelztemperatur nicht überschreitet. Dies ermöglicht die Ermittlung der kritischen Einspritzgeschwindigkeit, was wiederum bei der Bildung von möglichst belastbaren Bindenähten helfen kann.

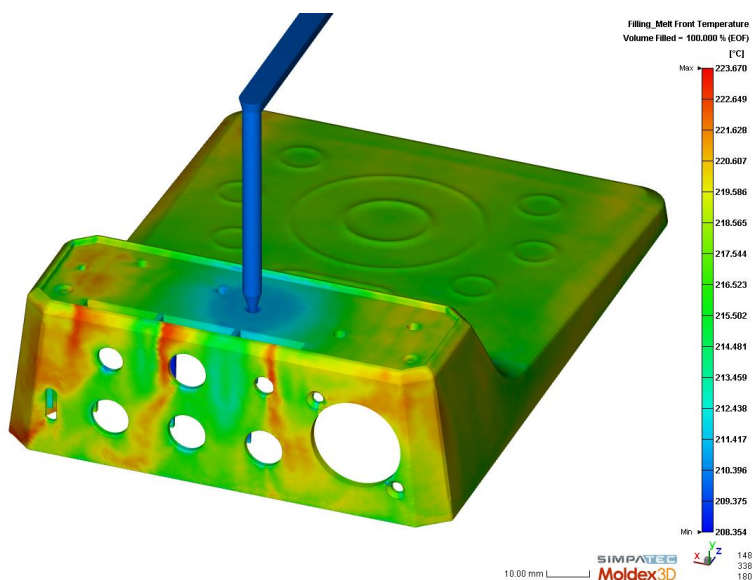
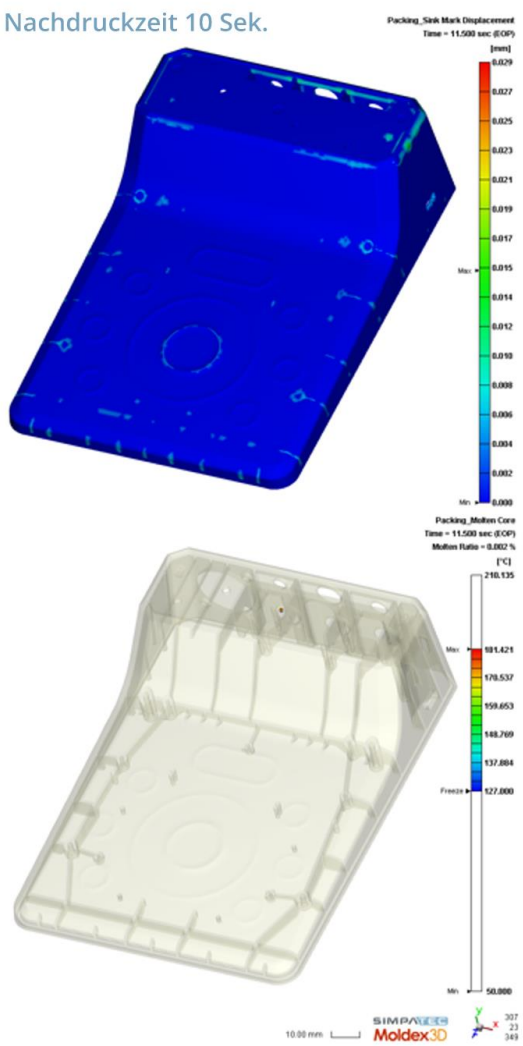


Bild 3: Die Simulation zeigt keine kritischen Bereiche während des Füllvorgangs.

Moldex3D bietet eine Vielzahl von Berechnungsmöglichkeiten an, um das Risiko von Einfallstellen besser einschätzen zu können. Da die Entstehung von Lunkern und Einfallstellen sehr komplex ist und von vielen Faktoren abhängt, ist es empfehlenswert, sich mit verschiedenen Szenarien auseinanderzusetzen. Dabei sollten insbesondere die folgenden Punkte berücksichtigt werden: die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Einfallstelle, die Auffälligkeit der Einfallstelle sowie die Möglichkeit, die Einfallstelle zu beeinflussen.

Mit den Ergebnissen „Sink Mark Displacement“ und „Sink Mark Indicator“ lässt sich ziemlich exakt vorhersagen, wie hoch das Risiko einer Einfallstelle sein wird sowie deren potenzielle Auswirkung. Anhand des „Molten Core“-Ergebnisses lässt sich die optimale Nachdruckzeit ermitteln und ab wann ein bestimmter Bereich nicht mehr mit Nachdruck versorgt werden kann. Dies sind wesentliche Informationen, um Einfallstellen zu vermeiden oder zumindest zu reduzieren.

Nachdruckzeit 10 Sek.



Nachdruckzeit 5 Sek.

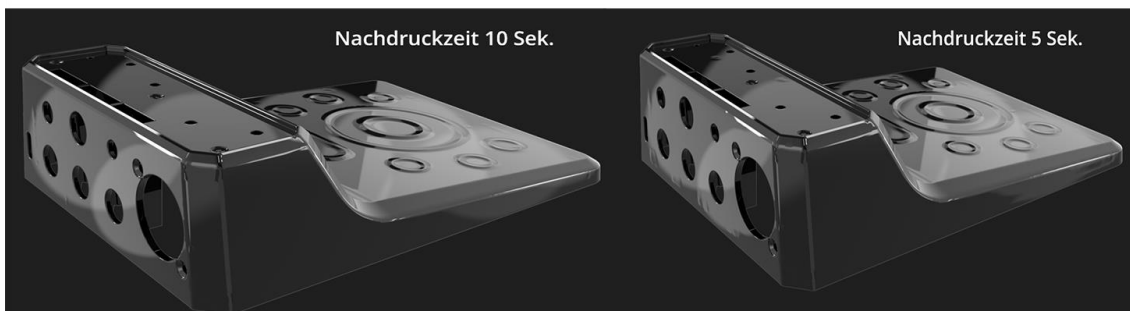
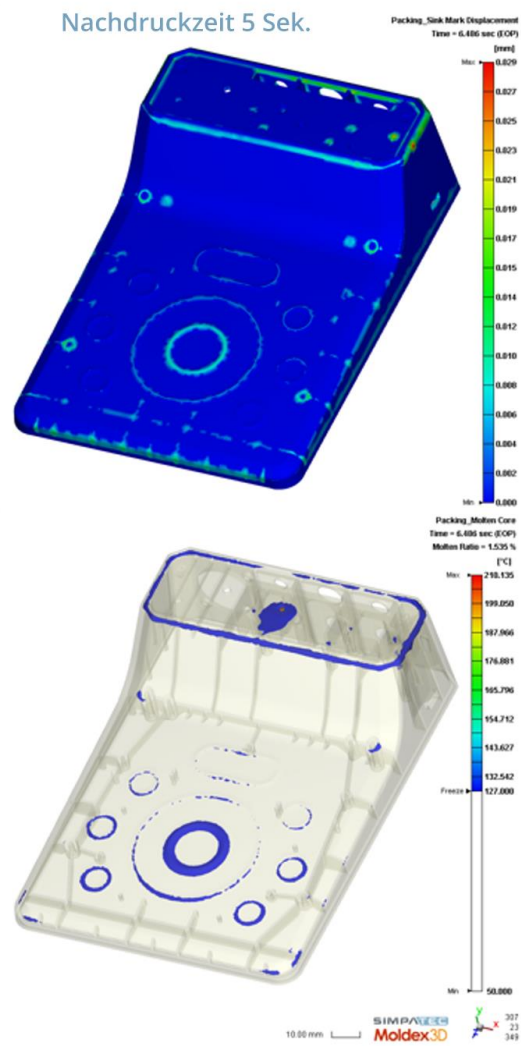


Bild 4: Einfluss der Nachdruckzeit auf die Einfallstellen (Darstellung mit Moldex3D und gerendert von B-Veloment GmbH)

Des Weiteren ermöglicht die Analyse der gefrorenen Randschicht eine Einschätzung der zu erwartenden Lunker- bzw. Einfallstellen, hierbei ist etwas Erfahrung mit dem zu verarbeitenden Material durchaus hilfreich. Die Ergebnisse sowie die Größe der dargestellten Einfallstellen lassen den Schluss zu, dass auf den für die Ästhetik relevanten Oberflächen keine Einfallstellen sichtbar sind. Obgleich die tatsächlichen Prozessparameter und die detaillierte Werkzeugkonstruktion zu diesem Zeitpunkt noch nicht bekannt sind, lassen sich anhand dieser Merkmale bereits in der Entwurfsphase mögliche Vorhersagen auf etwaige kleine kosmetische Mängel treffen. Der Vergleich mit dem realen Spritzgussteil zeigt, dass eine Fertigung ohne sichtbare Einfallstellen an den wichtigen Sichtflächen gelungen ist, wie von der Simulation vorhergesagt.

Die Simulation zeigt eindeutig eine starke Bindenahtbildung auf der Bauteilrückseite, im Bereich von vorhandenen Durchbrüchen. Diese Durchbrüche sind für die Funktionalität des Bauteils unabdingbar und eine konstruktive Bauteiländerung ist nicht machbar. Bei einer näheren Betrachtung, im Rahmen der erwähnten Parameter, konnten keine kritischen Werte hinsichtlich des Auftreffwinkels oder der Temperatur der Bindenähte festgestellt werden.

Für die Fragestellung ob eine Bindenaht nochmals durchströmt wird, bzw. sich örtlich noch verändert, kann in Moldex3D mit dem ‚Particletracer‘ gearbeitet werden. Hier lässt sich im Detail erkennen wie weit, in welche Richtung, bei welchen Temperaturen usw. eine Bindenahtbewegung stattfinden wird oder nicht.

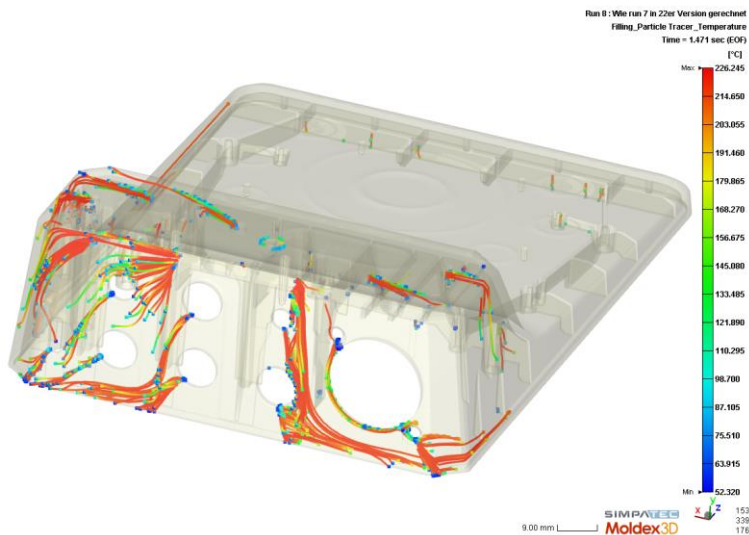


Bild 5: Position und Bewegung von Bindenähten werden mit der Option „Partikeltracer“ visualisiert.

Der Vergleich mit dem realen Bauteil zeigt, dass das Problem, welches in den Simulationen beobachtet wurde, auch in der Realität besteht. Der genaue Auftreffwinkel konnte jedoch nicht bestimmt werden. Es zeigte sich, dass der Defekt kein strukturelles Problem ist, sondern lediglich ein kosmetisches, welches nach dem darauffolgenden Lackierprozess vollständig kaschiert wird und somit keine Planungsänderungen erforderlich sind.

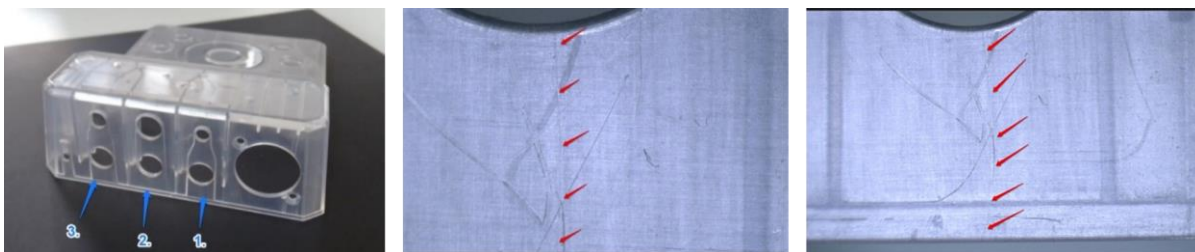


Bild 6 – Öffnungen auf der Rückseite des echten Spritzgussteils (links) und Mikroskopbilder um Öffnung 1 (rechts)

Aufgrund der durchweg positiven Simulationsergebnisse, konnte das Unternehmen unverzüglich mit der Produktion beginnen. Darüber hinaus wurden die Ergebnisse bereits im Vorfeld so berücksichtigt, dass eine Planung erfolgte, wie die Form leicht modifiziert werden konnte, um auf ein mögliches Versagen während der ersten Versuche zeitnah reagieren zu können. Insbesondere wurde ein gewisser Spielraum vorgesehen, um die Wandstärke im Bereich der hinteren Öffnungen zu erhöhen, falls dies erforderlich sein sollte. Nach einer Versuchsproduktion konnte kein strukturelles Versagen festgestellt werden, sodass die Konstruktion als bestätigt galt. Die ‚Nullserie‘ konnte daraufhin ohne weitere Probleme bei der Herstellung dieses Teils fortgesetzt werden.

Die Ergebnisse der Simulation waren am Ende alle positiv, sodass mit der Produktion der Form begonnen wurde. Des Weiteren wurden die Simulationsergebnisse bereits bei dem Aufbau der Formkerne berücksichtigt. Es wurde eine Planung erstellt, um einzelne Formbereiche leicht modifizieren, um im Falle eines auftretenden Problems während der ersten Versuche schnell reagieren zu können. Insbesondere gab es einen gewissen Spielraum, um die Wandstärke im Bereich der hinteren Öffnungen zu erhöhen, falls dies erforderlich sein sollte. Nach den Bemusterungsreihen konnte final bestätigt werden, dass die Konstruktion den Anforderungen entspricht. Anschließend fand die Pilotproduktion des CONNECT 2 ohne weitere Probleme statt.

5. Fazit

Kontinuierlich nach Optimierung bestrebt, beschloss LEWITT die Spritzguss-Simulations-Software in den Designprozess zu integrieren. Mit Moldex3D hat das Ingenieur-Team ein bedeutendes Tool im Einsatz, um potenzielle Probleme bereits im Vorfeld präziser vorherzusagen und zu eliminieren, noch bevor ein Bauteil produziert wird. Erheblich verkürzte Markteinführungszeiten und reduzierte Herstellungskosten sind bei LEWITT die Folge.

Das in diesem Artikel vorgestellte Beispiel des – Audio Interface CONNECT 2, ist ein perfektes Beispiel dafür, wie die Integration von Simulationssoftware die Entwicklung eines Produkts maßgeblich beeinflusst, ohne das Einführungsdatum zu verzögern oder einen der Produktionsläufe zu stören. Für LEWITT war die Konstruktion des Bauteils, aufgrund der nicht alltäglichen Spezifikationen durchaus eine Herausforderung, jedoch zeigte sich, dass Moldex3D ein äußerst wertvolles und unverzichtbares Werkzeug ist, das aussagekräftige und präzise Ergebnisse für die Bauteil- Werkzeug- und Prozessoptimierung vom ersten Entwicklungsschritt bis zur finalen Bauteilfertigung liefert.

Wörter: 2.278

Zeichen: 17.211

Veröffentlichung frei, es wird um Kopien entsprechender Zitierung gebeten. Der SimpaTec GmbH entstehen durch die Veröffentlichung keinerlei zusätzliche Kosten.

Über LEWITT



LEWITT wurde im Jahr 2009 von Roman Perschon gegründet und hat sich zum Ziel gesetzt, die Mikrofontechnologie in der Audioindustrie zu revolutionieren. Im Gegensatz zu traditionellen Unternehmen, die an überholten Formeln und Modellen festhalten, begrüßt LEWITT den Wandel und erkennt die sich entwickelnden Anforderungen von Musikern, Produzenten und Toningenieurern weltweit. Dieses zukunftsorientierte Ethos durchdringt jeden Aspekt des Unternehmens und ist die treibende Kraft hinter dem unermüdlichen Streben nach Exzellenz und dem Engagement, die Grenzen des Audio Engineerings immer weiter zu verschieben.

Die Kernidee von Lewitts Konzept ist die Entwicklung von Produkten, die Anwendern ermöglichen, in jeder Umgebung eine exzellente Klangqualität zu erzielen, sei es bei Aufnahmen zu Hause, auf der Bühne oder im Studio. Durch den Einsatz moderner und präziser Fertigungstechniken gewährleistet Lewitt, dass seine Produkte eine kompromisslose Leistung und Zuverlässigkeit bieten und somit einen neuen Standard für hervorragende Audioqualität setzen.

Vom Einsteiger bis zum Profi – die Produktpalette von LEWITT ist auf ein breites Publikum ausgerichtet, die alle unterschiedliche Bedürfnisse und Vorlieben haben. Egal, ob Sie Gesang, Instrumente oder Umgebungsgeräusche aufnehmen, die Mikrofone von LEWITT sind sorgfältig konstruiert und bieten außergewöhnliche Klarheit, Wiedergabetreue und Vielseitigkeit, sodass Benutzer ihrer Kreativität freien Lauf lassen und sich selbstbewusst ausdrücken können.

SimpaTec GmbH – Break your limits. Challenge us.

Die Kernphilosophie der SimpaTec GmbH ist unser Antrieb und zur gleichen Zeit auch als Appell an unsere Kunden gerichtet: „Break your limits“! Es ist eine Aufforderung an Jeden von uns, Barrieren zu überwinden, über seine Grenzen hinaus zu denken, sich so neue Horizonte zu erobern, mögen sie auch noch so kühn erscheinen.

Definieren und verfolgen Sie Ihre neuen Ziele und Projekte mit SimpaTec!

Mit Kompetenz, Ehrgeiz und dem Einsatz modernster Softwaretechnologien setzen wir gemeinsam mit Ihnen neue Standards bei der ganzheitlichen Entwicklung und Optimierung von Prozessen, Bauteilen und Werkzeugen. Wir begegnen jeder noch so komplexen Fragestellung mit wissenschaftlicher Expertise. Aufgrund unserer Marktstellung und internationalen Präsenz, sind wir immer über die neuesten Forschungsergebnisse und Entwicklungstrends informiert.

SimpaTec ist damit Ihr erster Ansprechpartner und mit Sicherheit der führende Berater, um leistungsfähige und hochwirksame Software- und Dienstleistungspakete zu bündeln. Von der Konstruktion mittels CAD über die Prozessoptimierung bis hin zur Lastfallanalyse mit impliziten oder expliziten CAE-Anwendungen in allen Fragen stehen unseren Kunden hervorragend ausgebildete Mitarbeiter an acht verschiedenen Standorten - in Aachen, Hamburg, Reutlingen, Weimar (Deutschland), Schlierbach (Österreich), Guebwiller (Frankreich), Bangkok (Thailand) sowie in Charlotte, NC (USA) als kompetente Ansprechpartner zur Verfügung.

Für weitere Informationen schauen Sie bitte auf www.simpatec.com oder folgen uns auf:

