

## Anwendungsbeispiel: 3D-Bewegungsanalyse

### Optische Messtechnik zur Analyse von Blechbearbeitungsmaschinen

Messsystem: PONTOS

Keywords: Blechumformung, Prozessoptimierung, MFU, Analyse von Führungen, Verkippung und Maschinensteifigkeit, Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen, Blechbearbeitung, Fügen, Stanzen, Trennen, Biegen, Ziehen

Dynamische Prozesse haben bei der Bearbeitung mit Werkzeugmaschinen einen hohen Einfluss auf die Qualität der Fertigteile. Hier spielen Maschinensteifigkeit, Auslenkung von Führungen und Antrieben, sowie Zentrierung und Winkel-lagen eine entscheidende Rolle.

Durch eine Analyse mit dem berührungslosen Stereokamera-System PONTOS zur optischen dynamischen 3D-Verformungsmessung können Werkzeugstandzeiten erhöht und durch die Optimierung von Fertigungsprozessen Kosten gesenkt werden.



**GOM mbH**  
Mittelweg 7-8  
38106 Braunschweig  
Deutschland  
Phone +49 531 390 29 0  
Fax +49 531 390 29 15  
[info@gom.com](mailto:info@gom.com)

**GOM International AG**  
Bremgarterstrasse 89B  
8967 Widen  
Schweiz  
Phone +41 5 66 31 04 04  
Fax +41 5 66 31 04 07  
[international@gom.com](mailto:international@gom.com)

**GOM France SAS**  
10 Quai de la Borde - Bât A2  
91130 Ris Orangis  
Frankreich  
Phone +33 1 60 47 90 50  
Fax +33 1 69 06 63 60  
[info-france@gom.com](mailto:info-france@gom.com)

**GOM UK Ltd**  
Business Innovation Centre  
Coventry, CV3 2TX  
Großbritannien  
Phone +44 2476 430 230  
Fax +44 2476 430 001  
[info-uk@gom.com](mailto:info-uk@gom.com)

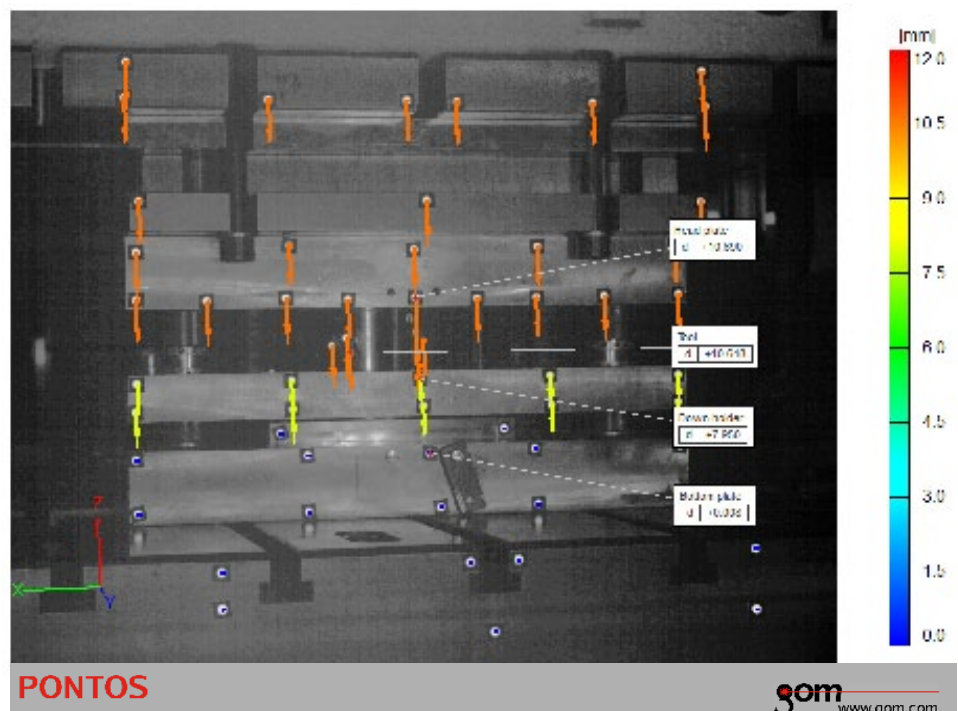
**GOM Branch Benelux**  
Interleuvenlaan 15 E  
3001 Leuven  
Belgien  
Phone +32 16 408 034  
Fax +32 16 408 734  
[info-benelux@gom.com](mailto:info-benelux@gom.com)

## 3D-Bewegungsanalyse / Bauteilentwicklung (Werkzeugmaschinen, Prozessoptimierung)

### Optische Messtechnik zur Analyse von Blechbearbeitungsmaschinen

Messsystem: PONTOS

Keywords: Blechumformung, Prozessoptimierung, MFU, Analyse von Führungen, Verkippung und Maschinensteifigkeit, Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen, Blechbearbeitung, Fügen, Stanzen, Trennen, Biegen, Ziehen



Manche Fertigungsprozesse in der Umformung erfordern trotz Erfahrung weiterführende Analysemethoden. Die optische 3D-Messtechnik hilft hier nicht nur bei der Form- und Maßhaltigkeitskontrolle der formgebenden Werkzeuge. Denn manchmal können beim Tool-Try-Out trotz Werkzeugänderung keine optimalen Teile gefertigt werden und nicht immer liegt der Fehler am Umformwerkzeug.

Auch dynamische Prozesse, die bei der Umformung mit Werkzeugmaschinen einen hohen Einfluss auf die Qualität der Fertigteile haben, können mittels berührungsloser 3D-Messtechnik zielführend analysiert werden.

Das optische Deformations-Messsystem PONTOS kann dabei das dynamische Verhalten von Blechumformmaschinen analysieren. Mit dem Stereokamera-System kann eine mögliche Auslenkung von Führungen und Antrieben ebenso sichtbar gemacht werden, wie Zentrierung, Winkellagen und Maschinensteifigkeit. Dadurch können Werkzeugstandzeiten erhöht und durch die Optimierung von Fertigungsprozessen Kosten gesenkt werden.

### Dynamisches Deformations-Messsystem

Das transportable optische Messsystem PONTOS ermöglicht die räumliche Koordinaten- und Verschiebungsmessung von einzelnen Messpunkten. Das System besteht typischerweise aus einem Stereokamera-Sensor, Stativ und Rechner (Abb. 1). Die zu messenden Stellen auf dem Objekt werden vor dem Messvorgang mit selbstklebenden oder auch temperaturstabilen Messmarken gekennzeichnet (Abb. 2).



Abb. 1: PONTOS System zur optischen dynamischen 3D-Analyse, Sensor, Stativ, Kalibrierkreuz, Rechner, (typischer Messaufbau)



Abb. 2: PONTOS Verbrauchsmaterial, selbstklebende Messmarken

Der PONTOS Messkopf wird auf einem Stativ frei vor dem Messobjekt positioniert. Die Bildaufnahme des Systems erfolgt flexibel getriggert für einen oder mehrere Lastzustände. Auf Basis der Stereokameratechnik können beliebig viele Messmarken im Raum mit einer Genauigkeit von typischerweise 30-40  $\mu\text{m/m}$  zeitgleich bestimmt werden (Abb. 3 und 4). Das PONTOS System arbeitet quasi selbstüberwachend, da bei jeder Messung die Gültigkeit der Kalibrierung überprüft wird.

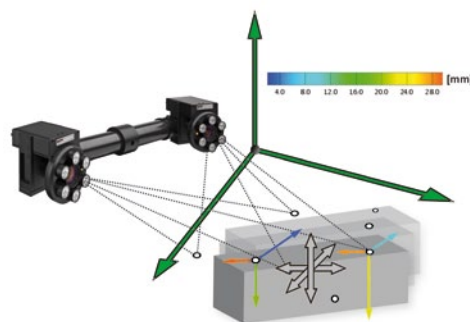


Abb. 3: PONTOS Messprinzip, räumliche 3D Online-Messung von Positionen und Verschiebungen der Messmarken, 3D Verschiebungsvektoren



Abb. 4: Online-Verformungsmessung einer Windkraftanlage. Das PONTOS-System ermöglicht die Analyse von Vibrationen, Frequenzen, Verdrehung, Durchbiegung, Geschwindigkeit, Beschleunigung, sowie von Bewegungsbahnen

Mit dem Einsatz von Highspeed-Kameras eignet sich das System auch zur Erfassung schneller Vorgänge und Bewegungsabläufe, z.B. bei Baueiluntersuchungen in Windkanal- oder in Crash-Test-Anlagen (Abb. 5).

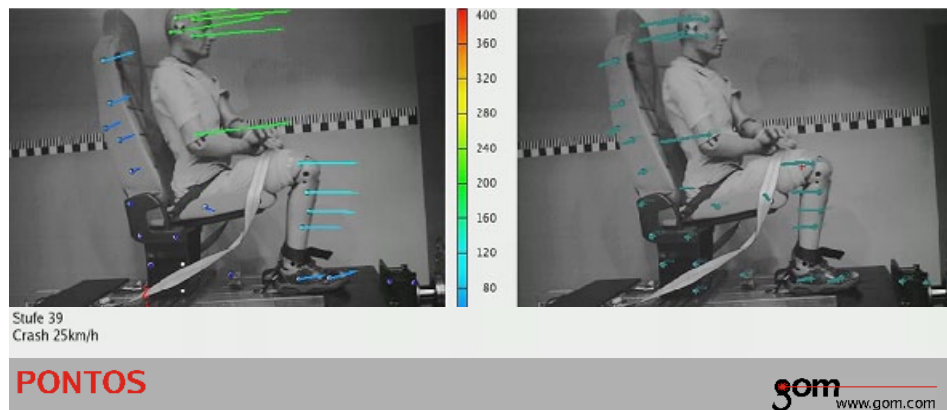


Abb. 5: PONTOS High-Speed, Verformungsmessung bei Crash-Test. Online-Analyse von Verbiebungsvektoren und Bewegungsbahnen

Positionen und Bewegungen komplexer Teile, die nicht direkt erfasst werden können (z.B. verdeckte Rohlinge oder Werkzeugspitzen, etc.), werden mittels Adaptern vermessen. Hierfür können beliebige Punktgruppen vorab als Adapter bestimmt und entsprechend kalibriert werden (Abb. 6).

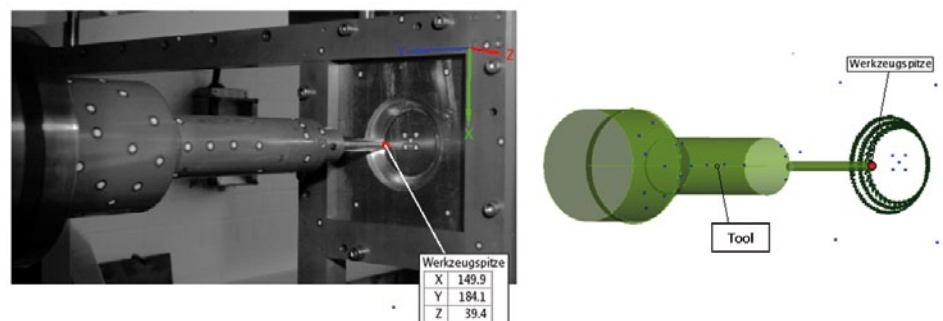


Abb. 6: PONTOS Messung der Bewegung einer Werkzeugspitze mittels Adapter (kalibrierte Punktgruppe), Visualisierung über Primitive

Durch die Online-Messung kann auch die Auswertung der aufgenommenen Highspeed-Bilder als Echtzeit-Verformungsanalyse automatisch mit der PONTOS-Software erfolgen. Für die Auswertung der Positionen und Verschiebungen der Messpunkte stehen verschiedene Reportmöglichkeiten zur Verfügung. Über 3D-Verschiebungsvektoren und Diagramme lassen sich Verformungen wie Torsion, Biegung, Auslenkung, etc. in Echtzeit verfolgen und Strukturschwingungen, Geschwindigkeiten und Beschleunigungen untersuchen. Die Reportausgabe kann als PDF, aber auch in Form von Bildern, Videos, Tabellen und Diagrammen erfolgen (Abb. 7).

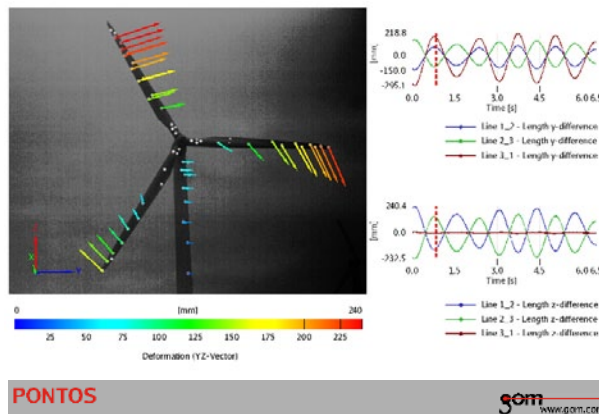


Abb. 7: PONTOS Messbericht, die 3D-Verschiebungsvektoren können für jede Verformungsstufe im realen Kamerabild visualisiert werden. Zusätzlich können Echtzeit-Analysen als Diagramme und Videos erstellt werden.

Der Aufbau des PONTOS Systems sowie die Anbringung der Messmarken mit einer Person, beschränkten sich bei einem mittelgroßen Messobjekt typischerweise auf einen Zeitraum unter einer Stunde. Das variable System lässt sich dabei schnell und flexibel an verschiedene Messfeldgrößen von Postkartengröße bis Windkraftturbinengröße anpassen. Das optische PONTOS System zur dynamischen 3D-Analyse ersetzt somit herkömmliche Wegmesssysteme und Beschleunigungssensoren. PONTOS ist ein neuartiges System, das zusätzlich auch für Geschwindigkeitsmessungen eingesetzt wird.

### Dynamische Analyse an Blechumformmaschinen

Eines der komplexesten Formgebungsverfahren ist die Blechumformung aufgrund der mehrfachen Umformschritte und der erforderlichen Folgeverbundwerkzeuge. Die Kenntnis über die Materialkennwerte der verwendeten Platine spielen für die Erzeugung qualitativ hochwertiger Blechbauteile eine große Rolle. Ebenso wie die geometrische Genauigkeit und die Oberflächengüte der verwendeten Werkzeuge. Besondere Erfahrung erfordern vor allem die Anpassung der Maschinenparameter, wie die richtige Einstellung der Niederhalterkräfte, Kraft und Hub von Stößeln, Ziehkissen und Ziehstempel. Bei der Herstellung eines neuen Blechteiles dauert es daher manchmal lange, bis die neuen Produkte in der gewünschten Qualität produziert werden können. Oftmals haben die teuren Umformwerkzeuge zudem eine untypisch kurze Standzeit. Als Folge sind die gefertigten Teile zu oft von minderer Qualität. Nicht immer findet sich die Ursache derartiger Probleme in fehlerhaften Umformwerkzeugen, deren Form- und Maßhaltigkeit schnell und einfach mit optischer 3D-Messtechnik (3D-Scannen) überprüft werden kann. Der Verschleiß der eingesetzten Werkzeuge wird einerseits durch die Prozessparameter (Einpresskraft, Stößelgeschwindigkeit, Ziehkissendruck, etc.) und andererseits durch die statischen und dynamischen Wechselwirkungen zwischen Presse und Werkzeug (Durchbiegung, Vibration, Stößelrücklaufgeschwindigkeit, etc.) bestimmt. Zur Lösung weiter reichender Probleme hilft dann oftmals nur die Analyse des dynamischen Umformprozesses der Blechumformmaschine im laufenden Betrieb.

Die zumeist schnellen und räumlich komplexen Bewegungen können jedoch nur schwer mit herkömmlichen Messsystemen in der gewünschten Präzision analysiert werden. Hier sind neue optische Messsysteme klar im Vorteil. So kann das PONTOS-System nicht nur komplexe, sondern auch schnelle Abläufe detailliert erfassen, die bei der Blechumformung auftreten können.

### **Aufgabenstellung**

Für die Ursachenforschung und Prozessoptimierung der Blechumformung mit einer hydraulischen Presse galt es im folgenden Fall, zwei zunächst verschiedene Fragestellungen zu beantworten. Im Rahmen einer statischen Maschinensteifigkeitsuntersuchung sollte die Durchbiegung und Verkipfung der Traverse und des Maschinentisches, sowie des Maschinenrahmens bei einer kleinflächigen Belastung der Presse untersucht werden. Gemessen werden sollte dabei eine zentrische und eine exzentrische Bauteilposition.

Für eine dynamische Maschinensteifigkeitsuntersuchung sollte danach ein realer Stanzvorgang komplett analysiert werden. Hierbei galt es, neben der Durchbiegung von Stößel, Ziehstempel und Matrize, auch die Geschwindigkeiten und eventuelle Vibrationen von Niederhalter, Ziehstempel und Matrize zu analysieren. Die Stößelrücklaufgeschwindigkeit war dabei von besonderem Interesse.

### **Messablauf**

Das mobile optische PONTOS System lässt sich einfach in bestehende Prüf-umgebungen integrieren und wurde vor der Presse frei auf einem Stativ positioniert (Abb. 8). Das selbstüberwachende System erzeugt dabei auch unter kritischen Rahmenbedingungen, wie beim Einsatz im Produktionsumfeld, zuverlässige und präzise Daten.



Abb. 8: PONTOS Messaufbau im Produktionsumfeld

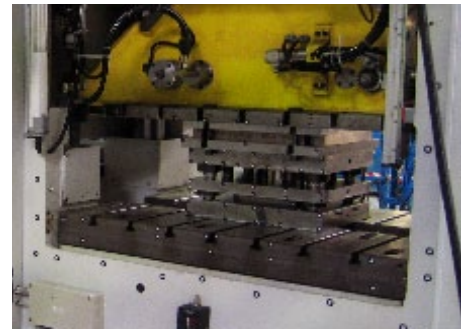


Abb. 9: Messvorbereitung für das PONTOS-System, die zu messenden Komponenten werden für die statische und die dynamische Verformungsmessung mit selbstklebenden Messmarken markiert

Auf den einzelnen Komponenten (Maschinenrahmen, Pressentisch, Traverse, Stößel, Ziehstempel, Niederhalter und Matrize) wurden selbstklebende Messmarken aufgebracht (Abb. 9).

Danach wurden die hydraulischen Pressen in eine bestimmte Ausgangsposition gebracht und eine Messung durchgeführt, welche den Referenzzustand für die nachfolgenden Verschiebungsmessungen darstellt. Anschließend erfolgten die statischen und dynamischen Maschinenuntersuchungen.

### Messergebnisse statische Maschinensteifigkeit

Die Vorbereitung und Durchführung der Messungen beschränkten sich beim Einsatz einer Person auf einen Zeitraum von unter einer Stunde. Die Auswertung und Analyse kann anhand der gewonnenen Bilder sofort vor Ort erfolgen und auch später jederzeit beliebig variiert werden.

Die Analyse der statischen Belastungsuntersuchung ist im Folgenden auszugsweise grafisch dargestellt. Dabei ergab sich bei zentrischer Belastung kaum eine Verkipfung von Presstisch und Querstrebe, bei einer exzentrischen Belastung von 10% aus der Mitte ist dagegen eine deutliche Verkipfung von Presstisch und Querstrebe zu erkennen. Der Presstisch wurde für die Kompensation der Starrkörperbewegung als stabil angenommen (Abb. 10). Die deutliche Abweichung der Zustellkräfte von den tatsächlich einwirkenden Kräften wurde analog gemessen und mit der optischen Verformungsmessung synchronisiert. Die PONTOS-Software ermöglicht das Einlesen analoger Kraftsignale und deren Synchronisation mit den optisch aufgenommenen Messdaten. Dadurch wird die Verformungsmessung mit den richtigen Eingabe-Parametern garantiert, da die Zustellkräfte von den tatsächlich einwirkenden Kräften oftmals stark abweichen können.

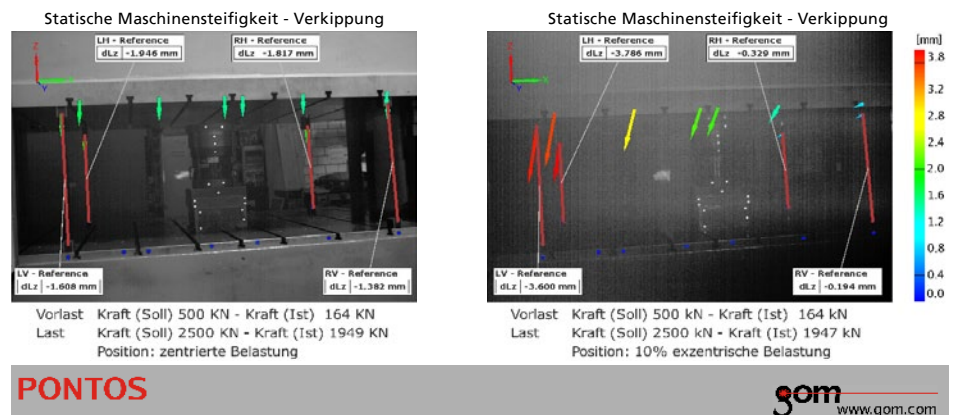


Abb. 10: Statische Verformungsanalyse, Verkipfung von Presstisch und Querstrebe bei zentrierter (links) und 10% exzentrischer Belastung (rechts). Der Presstisch wurde für die Kompensation der Starrkörperbewegung als stabil angenommen. Die deutliche Abweichung der Zustellkräfte von den tatsächlich einwirkenden Kräften wurde analog gemessen und mit der optischen Verformungsmessung synchronisiert.

Ebenso wurde bei der statischen Belastungsuntersuchung die Durchbiegung des Presstisches analysiert (Abb. 11)

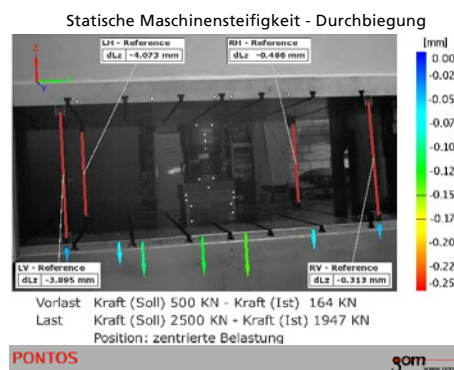


Abb. 11: Statische Verformungsanalyse, Durchbiegung des Presstisches bei zentrierter Belastung

Das PONTOS System erlaubt dabei die optische Aufnahme von Verformungen und zusätzlich die zeitsynchrone Aufnahme von analogen Messsignalen. So wurden bei den statischen Belastungsuntersuchungen externe Kraftsignale eingespielt, die hier in Abhängigkeit mit den Durchbiegungen und Verkippungen ausgewertet werden können. Die Verformungen der Maschine beziehen sich also nicht auf theoretische Zustellkräfte, sondern auf die tatsächlich einwirkenden Kräfte, die analog gemessen wurden.

### Messergebnisse dynamische Maschinensteifigkeit

Bei der Analyse der dynamischen Maschinensteifigkeit wurde neben der Echtzeit-Bewegungsmessung der einzelnen Komponenten auch die Verschiebungsgeschwindigkeit von Stößel, Ziehstempel und Niederhalter analysiert (Abb. 12). Dabei kann der Einfluss der Klemmung des Niederhalters beobachtet werden und in der Mitte des Diagramms (rote Linie) die Einwirkung des Schnittschlages des Stempels. Dabei sind deutlich unvorteilhafte Schwingungen zu erkennen. Diese führen in der Regel zu schlechterer Bauteilqualität und frühzeitigem Werkzeugverschleiß.

Dynamische Verformungsanalyse

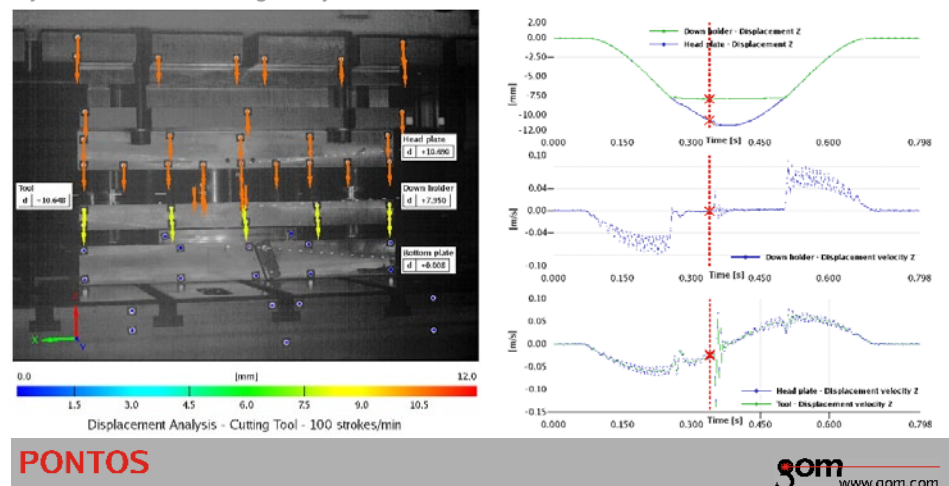


Abb. 12: Dynamische Verformungsanalyse, Echtzeit-Bewegungsmessung von Matrize und Stößel (Bild links). Streckenmessung von Niederhalter und Kopfplatte (Diagramm rechts oben). Verschiebungsgeschwindigkeit des Niederhalters (Diagramm rechts mitte). Verschiebungsgeschwindigkeit von Kopfplatte und Schnittwerkzeug (Diagramm rechts unten). Unmittelbar nach dem Schnittschlag sind deutlich unvorteilhafte Schwingungen zu erkennen, die für schlechte Bauteilqualität und frühzeitigem Werkzeugverschleiß verantwortlich sind.



Zusätzlich wurde die dynamische Durchbiegung von Kopfplatte, Niederhalter und Bodenplatte in Echtzeit analysiert (Abb. 13). Hier ist die größte Auswirkung beim Stoppen des Niederhalters zu beobachten. Beim Schnittschlag biegt sich lediglich der Niederhalter leicht durch.

#### Dynamische Verformungsanalyse

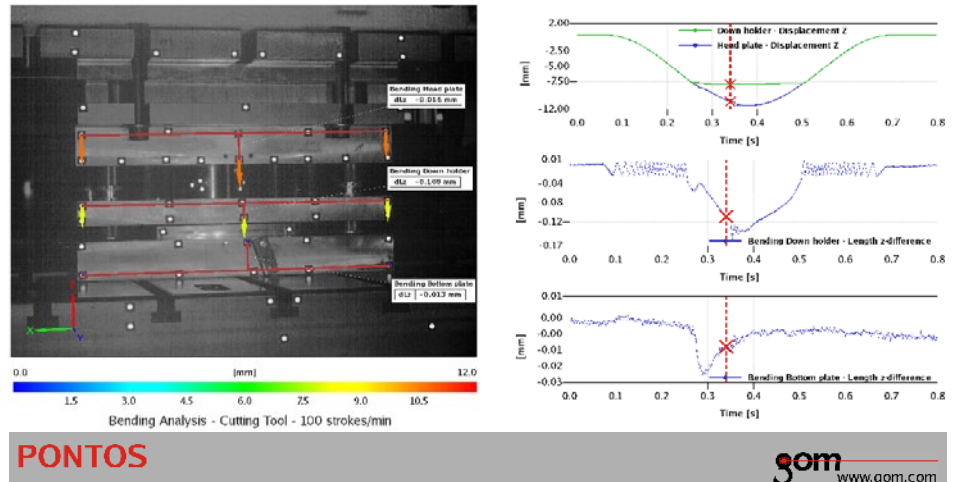


Abb. 13: Dynamische Verformungsanalyse, Echtzeit-Durchbiegungsanalyse von Kopfplatte, Niederhalter und Unterplatte (Bild links). Streckenmessung von Niederhalter und Kopfplatte (Diagramm rechts oben). Durchbiegung des Niederhalters (Diagramm rechts mitte). Durchbiegung der Unterplatte (Diagramm rechts unten).

#### Fazit

Anhand der hier gewonnenen Daten, welche ebenfalls unter weiteren definierten Prozessparametern durchgeführt wurden, kann die Geschwindigkeit, Durchbiegung und Verkippung von Niederhaltern, Stößeln, Ziehkissen und Ziehstempeln im laufenden Pressvorgang analysiert werden. Dabei können Vibrationen und Schwingungen analysiert werden sowie Aussagen über die Maschinensteifigkeit bei tatsächlich einwirkenden Kräften getroffen werden. Die qualitative Beschreibung der Maschineneigenschaften ist dabei von besonderer Bedeutung für die Abschätzung zukünftiger Prozesse hinsichtlich einer erzielbaren Bauteilqualität mit den gegebenen Maschinenparametern. Die gewonnenen Parameter der Analysen können wiederum bei der Einstellung von Maschinenparametern zur Optimierung von Umformsimulationsprozessen dienen. Auf diese Weise kann eine optimale Kombination von Geschwindigkeit, Anpressdruck und Stanzkräften gefunden werden. Da auch der Werkzeugverschleiß durch die Prozessparameter sowie die statischen und dynamischen Wechselwirkungen zwischen Presse und Werkzeug bestimmt wird, können mit Hilfe der optischen dynamischen 3D-Analyse auch die Werkzeugstandzeiten deutlich erhöht werden.

Wir danken dem IFUM Hannover für die Möglichkeit der Durchführung dieses Projektes.