

# Stoßkontakt, Aufprall- und Reibungsdynamik

Simulation von Aufprall und Reibung beim Bohren, Ultraschallschweißen und -schneiden

## Funktionsprinzip einer Schlagbohrmaschine

Mit Schlagbohrmaschinen lassen sich hochfeste Steine oder Beton durchbohren, und zwar viel effizienter als dies mit nicht-schlagenden Maschinen möglich ist.

Grundlage ist das „Hammer und Meißel“-Prinzip: Durch den Schlag wird eine Stoßwelle im Meißel ausgelöst, die in die Wand läuft. Aber wie funktioniert das genau? Durch FEM-Simulationen lassen sich die dem Stoßvorgang zugrunde liegenden nichtlinearen Dynamikprozesse analysieren.

## Grundlagensystem mit Kollision

Das abstrahierte Grundsystem ist ein langer Stab (Meißel), auf den eine Masse aufprallt, die den Hammerkopf repräsentiert (vorläufig wird angenommen, dass der Stab nicht an eine Wand angrenzt). Aus vereinfachten Betrachtungen ist klar: Nach dem Aufprall fliegt der lange Stab wegen Impuls- und Massenerhaltung deutlich langsamer los als zuvor die kleine Masse.

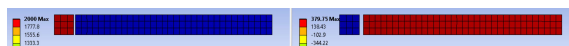


Bild 1: Der Stab fliegt nach dem Aufprall wesentlich langsamer los (rechts) als zuvor die Masse (links).

Durch eine genauere Simulation lässt sich der Kontaktvorgang detailliert analysieren: Beim Kontakt im Stab wird eine Stoßwelle mit Druck- und Zugfront ausgelöst, die ihn mit Schallgeschwindigkeit durchläuft und an seinen Enden mehrfach reflektiert wird.

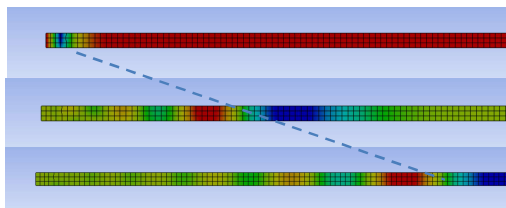


Bild 2: Der Aufprall löst im Stab eine Stoßwelle aus, die ihn mit Schallgeschwindigkeit durchläuft.

Genau betrachtet sind diese Mehrfachreflexionen der Stoßwelle der Grund, warum sich der Stab im zeitlichen Mittel mit konstanter Geschwindigkeit bewegt.

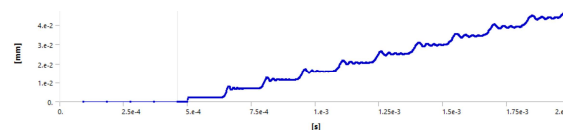


Bild 3: Die Mehrfachechos der Stoßwelle liegen der Fortbewegung des Stabes zugrunde.

In der Anwendung kann der Meißel oder Bohrer nicht wegfliegen, weil er initial auf eine Wand aufgesetzt ist. Die Stoßwelle wird dann großteils in die Wand übertragen und kann sie sehr effektiv schädigen. Meißel oder Bohrer sind üblicherweise so geformt, dass die Energie der Stoßwelle im Aufstandspunkt stark konzentriert wird.

## Dynamischer Reibkontakt

Nichtlineare Dynamiksysteme finden sich in vielen technischen Anwendungen. Beispielsweise ist beim Bohren der Reibkontakt des Bohrwerkzeugs mit der Bohrloch-Mantelfläche meist unvermeidbar, egal ob der Bohrer rotiert, in Längsrichtung bewegt wird oder als Ultraschallbohrer schwingt.

Das Ultraschallschneiden oder das Metallschweißen mit Ultraschall sind weitere Beispiele für Systeme mit Reibkontakt: Hier wird jeweils das Werkzeug unter statischem Druck parallel zum Untergrund hin- und herbewegt.

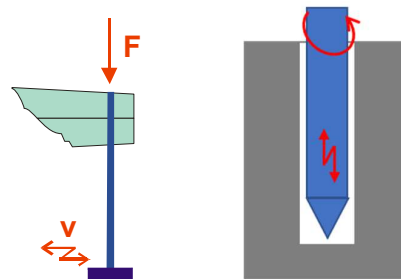


Bild 1: Reibkontakt beim Metallschweißen mit Ultraschall (links) und beim Bohren (rechts).

## Stoßkontakte beim Ultraschallbohren

Beim Ultraschallbohren wird das „Hammer und Meißel“-Prinzip als Mikrostoßprozess verwendet: Durch die Längsschwingung des Bohrers lässt sich die vom Anwender aufzubringende Anpresskraft deutlich reduzieren, so dass z.B. Eierschalen oder Muscheln ohne makroskopische Bruchgefahr durchbohrt werden können, und zwar bei Bedarf auch ohne Rotation.



Bild 5: Ultraschallbohren einer Eierschale (rotationsfrei).



Bild 6: Mit Ultraschall, aber ohne Rotation durchbohrt: Muschel (links) und Zahn eines Wildschweins (rechts).

Medizinische Werkzeuge wie Ultraschallscaler oder Operationswerkzeuge für Augenoperationen („Phaco Emulsifikation“) nutzen den zugrunde liegenden Effekt ebenfalls aus.

### Vereinfachte Modellbildungen

Um die grundlegenden Zusammenhänge nichtlinearer Kontaktwechselwirkungen zu verstehen, müssen oft keine aufwändigen Finite-Element-Simulationen durchgeführt werden. Durch teilanalytische Konzepte, bei denen z.B. nur die Grundharmonische eines an sich sehr komplexen Prozesses berücksichtigt wird, lassen sich bereits viele messtechnische Beobachtungen wie die Kraftreduktion beim Ultraschallbohren ausreichend genau beschreiben.

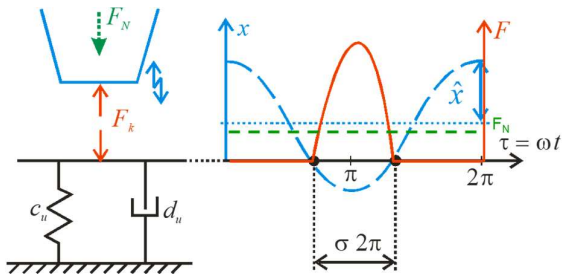


Bild 7: Modellbildung für die Kontaktwechselwirkung beim Ultraschallbohren. Bildquelle: Dissertationsschrift W. Littmann (2003), erhältlich im Webshop der ATHENA Technologie Beratung GmbH.

Auch Schwingungsprozesse mit Reibung lassen sich mit vereinfachten Modellen gut analysieren. So gelang es z.B. viele in der Praxis an schwingenden Sonotroden beobachtete ultraschallbedingte Reibungsreduktionsphänomene auf Basis einer stark vereinfachten Coulomb-basierten Modellbildung zu erklären.

Details zu der Modellbildung siehe W. Littmann, H. Storck, J. Wallaschek, *Reibung bei Ultraschallschwingungen*, VDI-Berichte 1736, S. 231 ff. (2002)

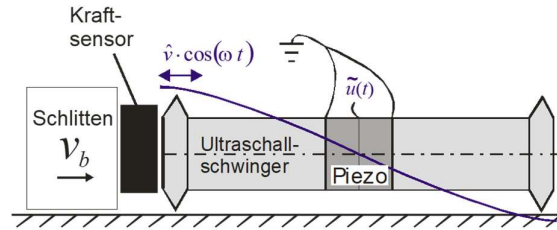


Bild 8: Auf einer Ebene gleitender Ultraschallaktor

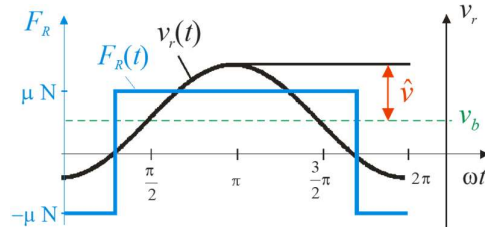


Bild 8: Kraftverhältnisse im Coulomb-basierten Reibmodell für den gleitenden Ultraschallwandler aus Bild 7

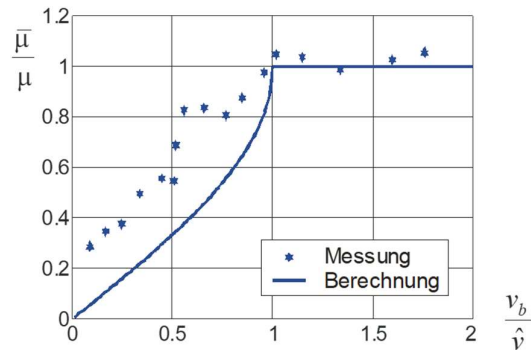


Bild 9: Reibungsreduktions-Kennlinie am Ultraschall-Reibsystem in Rechnung und Messung

### Unser Angebot

Die ATHENA Technologie Beratung GmbH beschäftigt sich seit vielen Jahren mit Simulationen und Messungen in dynamischen Systemen. Im Laufe der Zeit haben wir den Workflow, die Simulationenwerkzeuge und die Auswertungsroutinen beträchtlich optimiert, so dass wir sicher auch für Ihre Fragestellungen ein attraktives Angebot erstellen können.

Begleitend führen wir bei Bedarf experimentelle Untersuchungen für Sie durch (z.B. Lasermessungen).

### Kontakt

Autor: Dr.-Ing. Walter Littmann, Leiter der Technischen Entwicklung der ATHENA Technologie Beratung GmbH



ATHENA  
Technologie Beratung GmbH  
Technologiepark 13  
33100 Paderborn

Tel.: +49-52 51-3 90 65 60  
Fax: +49-52 51-3 90 65 63

E-Mail: [info@myATHENA.de](mailto:info@myATHENA.de)  
<http://www.myATHENA.de>