

# STRUKTURMECHANIK

Berechnung · Simulation · Optimierung



# MERKLE & PARTNER

Seit mehr als 20 Jahren ein zuverlässiger Partner für ingenieurwissenschaftliche Berechnungen und Simulationen



MERKLE & PARTNER wurde 1989 als eines der ersten Dienstleistungsunternehmen im CAE-Bereich in Deutschland gegründet. Heute bearbeiten rund 50 Mitarbeiter an den Standorten Heidenheim, Hamburg und Ingolstadt über 500 Projekte im Jahr. MERKLE & PARTNER ist führend im Bereich ingenieurwissenschaftlicher Berechnungen und Simulationen.

Wir berechnen alle Aufgabenstellungen im Bereich Strukturmechanik, Strömungsmechanik, Mehrkörpersimulation, Elektromagnetismus, u.v.m.

Zudem entwickeln wir virtuell neue Produkte und begleiten Entwicklungsprozesse von der ersten Idee bis zum funktionstüchtigen Endprodukt.

## **Wir liefern, was wir versprechen!**

Mit unserer langjährigen Erfahrung und der erforderlichen Hard- und Software garantieren wir Ihnen höchsten Einsatz und beste Ergebnisse.

# Warum Simulation?

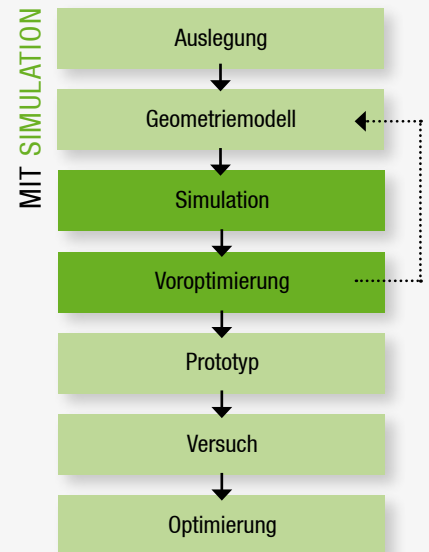
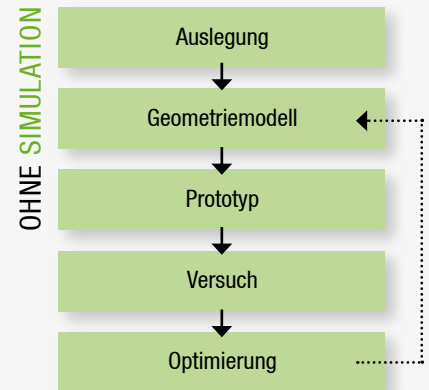
Anhand der Simulation können potenzielle Produkte in Form von virtuellen Prototypen auf Funktionalität, physikalische Eigenschaften und späteres Einsatzverhalten hin untersucht werden.

Die traditionelle Produktentwicklung hat zur Folge, dass Prototypen gebaut und Versuche durchgeführt werden müssen. Tatsächliche Produkteigenschaften können so vorab nicht erkannt werden. Durch ein „try-and-error“-Vorgehen treten Probleme oftmals erst nach der Markteinführung auf, wodurch hohe Kosten entstehen.

Die Vorteile der Simulation liegen in ihrer Schnelligkeit und Kosteneffektivität. Zudem liefern die virtuellen Prototypen einen weitaus höheren Detaillierungsgrad an Informationen, als es ein realer Versuch je leisten könnte.

**Der Einsatz der Simulation an der richtigen Stelle reduziert Ihre Kosten!**

- + Schnelligkeit (durch virtuelle Prototypen)
- + Kostenersparnis
- + Tests neuer Entwurfskonzepte möglich
- + Parameterstudien
- + „was-wäre-wenn“-Studien



# KERNKOMPETENZ STRUKTURMECHANIK

FINITE ELEMENTE METHODE

## Anwendungsgebiete

### » Beulen

- » lineares Beulen nach Euler
- » nicht-lineares Beulen
- » Verzweigungsbeulen
- » elastoplastisches Beulen

### » Dynamik / Schwingung

- » Modalanalyse (Eigenfrequenzbestimmung)
- » Frequenzganganalyse
- » Zufallsanalyse
- » harmonische Antwort
- » Stoßanalyse
- » Spektralanalyse

### » Erdbeben-Simulation

### » Festigkeit (linear und nicht-linear)

### » FSI Fluid-Struktur-Kopplung

### » Gummi- und Dichtungsberechnung

### » Kontakt (mit und ohne Reibung)

### » Kunststoff-Berechnungen

### » Kurzzeitdynamik

- » Crash
- » Drop-Test
- » Containment

### » Lebensdaueruntersuchung

- » High-Cycle Fatigue
- » Low-Cycle Fatigue

### » Plastizität

- » idealplastisches Verhalten
- » Spannungs-Dehnungs-Abhängigkeiten
- » Verfestigung
- » zyklische Plastizität

### » thermische Aufgabenstellungen

- » stationär
- » instationär
- » linear
- » nicht-linear
- » Strahlung
- » Thermoelastizität
- » Thermoplastizität
- » Kriechen

### » Thermoschock

**i** Das Hauptaufgabengebiet der Strukturmechanik ist die Berechnung, Simulation und Optimierung von Bauteilen und komplexen Baugruppen zur Ermittlung von physikalischen Eigenschaften (Kräfte, Spannungen, Verformungen). Die Aufgabenstellungen kommen dabei aus den unterschiedlichsten Branchen.

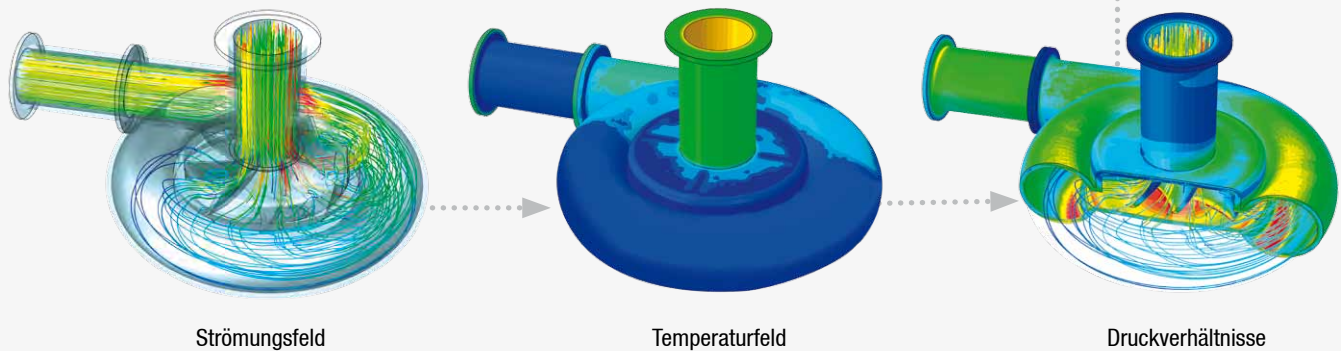
# THERMISCHE UND THERMOMECHANISCHE ANALYSE

## BERECHNUNG EINER RADIALPUMPE

Kopplung physikalischer Einflüsse von Strukturmechanik, Strömungsmechanik und Thermomechanik.

### **i** Unsere Leistungen

- Bestimmung der Förderwerte (z.B. Pumpenleistung, Durchflussmenge, Druckdifferenzen)
- Auslegung hinsichtlich thermischer Beanspruchung
- Auslegung auf Betriebs- und Spitzenlasten
- Auslegung auf außergewöhnliche Lasten (z.B. Erdbeben)





# SCHADENSANALYSE

T R O C K N E R

Schadensfälle sind eine klassische Anwendung der FEM und ein Haupttätigkeitsbereich von MERKLE & PARTNER.

Versagen Bauteile innerhalb der zugesagten Lebensdauer, so fallen hohe Kosten durch den Ersatz für das Bauteil selbst, durch Folgeschäden sowie Produktionsausfall bzw. Rückrufaktionen an. Viele Schäden wären durch den frühzeitigen Einsatz numerischer Simulationen bereits in der Entwurfs- bzw. Konstruktionsphase erkennbar gewesen.



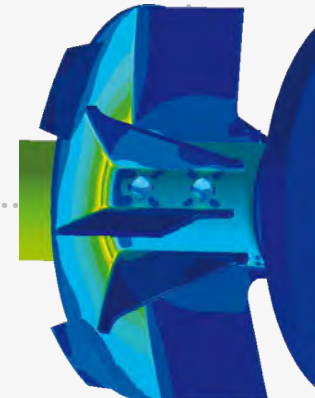
Schaden

## **i** Unsere Leistungen

- Zusammentragen der bisherigen Schadenserkenntnisse
- Untersuchung und Aufzeigen der Schadensursache
- Vorschläge zu Reparaturmaßnahmen
- Neukonstruktion bzw. Optimierung der bisherigen Konstruktion

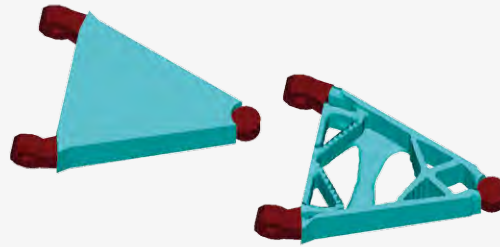


Reparatur



Analyse

# BAUTEILOPTIMIERUNG



Die Entwicklung des Marktes zeigt derzeit einen steigenden internationalen Wettbewerbsdruck, wachsende Qualitätsansprüche und sinkende Produktlebenszeiten. Für die Unternehmen ergeben sich dadurch die Forderungen nach kürzeren Entwicklungszeiten und kürzeren Zeiten zwischen Produktidee und Markteinführung.

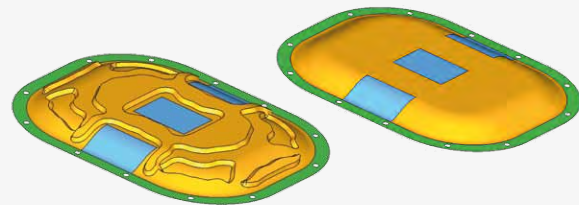
Die Nutzung geeigneter CAE-Werkzeuge ist dabei zwingend erforderlich. Die Kosten eines Bauteils werden bereits beim Entwurf weitgehend festgelegt. Im Rahmen der Bauteiloptimierung nähert man sich einem belastungsoptimierten Design. Das Optimierungspotential hängt dabei von den Rahmenbedingungen, wie z.B. Aufwand und Nutzen, ab.

## Ziele der Optimierung

- Gewicht reduzieren
- Materialkosten minimieren
- Montageaufwand verringern, indem z.B. die Anzahl der Verschraubungen optimal gewählt wird
- Eignung alternativer Werkstoffe prüfen (dabei müssen die Festigkeits- und Schwingungseigenschaften die geforderten Einsatzbedingungen für die zugesagte Lebensdauer erfüllen)
- bessere Ertragbarkeit von Lasten

## Optimierungsverfahren

- Behavioural Modelling Extension (BMX)
- Design of Experiments (DoE)
- Designoptimierung
- Formoptimierung
- Topographieoptimierung (Sickenoptimierung)
- Topologieoptimierung
- Wanddickenoptimierung

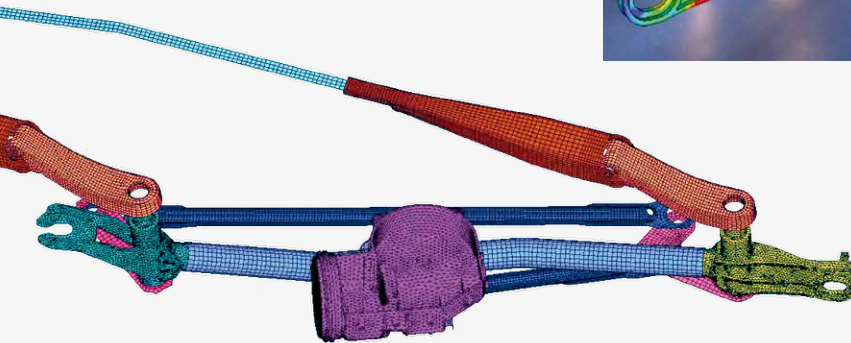


# LEBENSDAUER-BERECHNUNG

## SIMULATION EINES SCHEIBENWISCHERS

Die Kinematik, also der Antrieb, das Design, die Umströmung im Fahrtwind, die Elektronik oder die Schwingungsstabilität, das alles muss passen, damit ein Scheibenwischer seine Leistung bringen kann. Dabei wird jedem neuen Fahrzeugmodell sein Wischer auf den Leib geschneidert. Ändert sich die Außenhaut oder die bauliche Gestaltung, muss auch die Entwicklung des Scheibenwischers daran angepasst werden.

In fünf individuellen Tests wurde die Lebensdauer des Wischers in den üblichen Belastungsszenarien berechnet.



Mit freundlicher Genehmigung der  
Robert Bosch GmbH

### **i** Unsere Leistungen

- Blockiertest (Festfrieren des Wischers)
- Schneelasttest
- Aufprall des hochgeklappten Wischers auf die Scheibe
- Vibrationstest
- seitliche Belastung des hochgeklappten Wischers

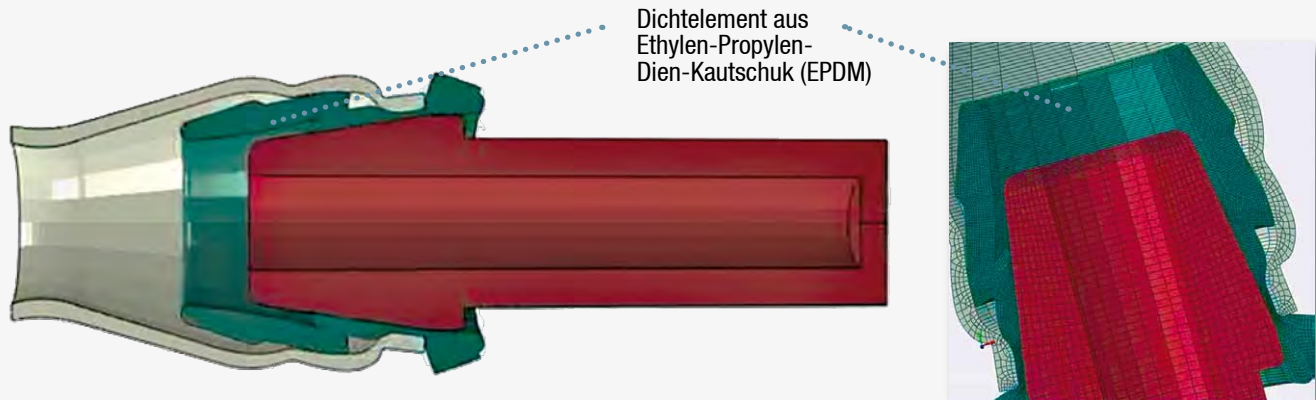


# GUMMI-BERECHNUNG

## SIMULATIONSMODELL EINER EPDM-DICHTUNG

Die Verbindung zwischen einem hydraulischen Kupplungsbetätigungssystem und einem Nachlaufbehälter erfolgt über ein sogenanntes Nachlaufrohr. Das Kupplungsstück verbindet den Nachlaufrohrkopf mit dem Stutzen mithilfe eines Dichtelementes aus EPDM. Für das Kupplungssystem ist zum einen die Montagekraft wichtig, zum anderen der sogenannte Abzugsdruck, ab dem es zu einem Lösen der Verbindung kommt.

MERKLE & PARTNER entwickelte eine Simulationemethode zur Bestimmung der Montagekraft und des Abzugsdrucks. Aus dem Vergleich zwischen Messergebnissen und Berechnungen können für zukünftige Varianten Genauigkeiten von mindestens 95% erwartet werden.



Mit freundlicher Genehmigung von  
FTE automotive GmbH

### **i** Unsere Leistungen

- Berechnung Montagekraft
- Berechnung Abzugsdruck

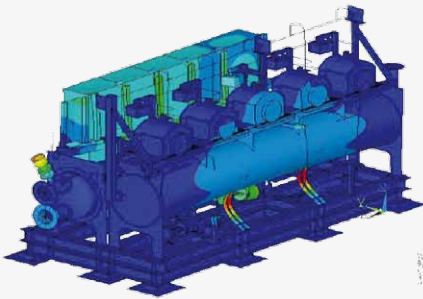
# STANDSICHERHEIT

## ERDBEBEN - SIMULATION



Bei Erdbeben muss in vielen Fällen die Standsicherheit von Anlagen gewährleistet sein, so dass keine zusätzliche Gefährdung durch z.B. umkippende Maschinen oder herunterfallende Teile entsteht.

MERKLE & PARTNER führt rechnerische Standsicherheitsnachweise auf Basis von Finite-Elemente-Modellen nach gängigen Erdbebencodes (UBC 97, EC 8, IBC 2006, KTA 2201, ISO 3010, Eurocode u.a.) für jegliche Art von Anlagen, Stahlbau und Maschinen durch.



Mit freundlicher Genehmigung der  
Cofely Refrigeration GmbH

### **i** Unsere Leistungen

- Bestimmung der Beschleunigungslasten
- Spektralanalysen
- Berechnung Schockbelastungen
- Nachweis der Spannungen
- Nachweis der Schraubenkräfte
- Standsicherheitsnachweise

# BERSTDRUCKVERSUCH

## BERECHNUNG EINES WÄRMETAUSCHERS

Der Nutzen eines Wärmetauschers ist es, thermische Energie von einem Stoffstrom auf einen anderen zu übertragen. Für einen optimalen Wirkungsgrad muss das Material, welches beide Medien trennt, eine gute Wärmeleitung und große Oberfläche aufweisen.

Wärmetauscher werden für hohe Drücke und Temperaturen gefertigt und müssen laut einer Druckgeräterichtlinie einen bestimmten Druck ertragen, bevor sie bersten. Dieser Berstdruck konnte bisher nur über kostenintensive und langwierige Tests bestimmen werden.

Mithilfe der FEM kann das hochgradig nicht-lineare Verhalten eines Wärmetauschers simuliert werden, wodurch Testkosten gesenkt und Entwicklungszeiten reduziert werden.

### Unsere Leistungen

- Methodenentwicklung
- Bestimmung von Berst- und Versagensdruck
- Auslegung und Optimierung
- Abgleich von Versuchs- und Berechnungsergebnissen



# SCHOCKABSORPTION

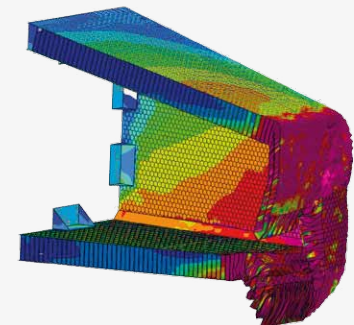
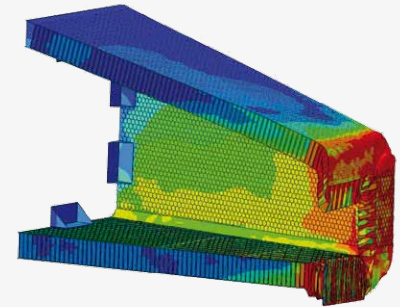
## CRASH - BOX



Bei einem Aufprall wird durch Deformation innerhalb der Crash-Box Bewegungsenergie abgebaut (Umwandlung von kinetischer Energie in Verformungsenergie).

Ziel des Projekts war es, den Konstruktionsstand zu untersuchen und zu bewerten.

Ziel nach FIA: maximal 25 g Verzögerung



### **i** Unsere Leistungen

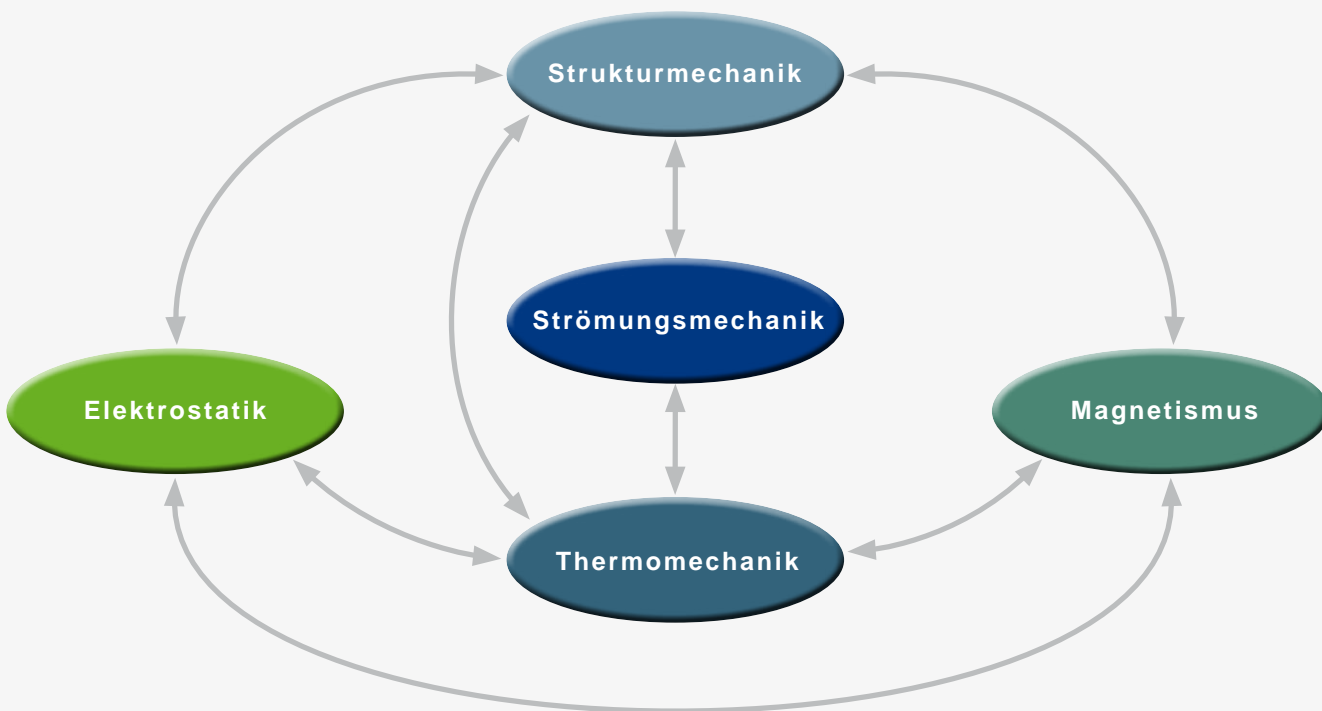
- Untersuchung des Konstruktionsstands
- Optimierung anhand von Variantenuntersuchungen
- schnelle und sichere Rennfahrzeuge ohne aufwändigen Prototypenbau und Crash-Tests

# GEKOPPELTE BERECHNUNGEN

## MULTIPHYSICS

Mithilfe von gekoppelten Berechnungen kann das Verhalten von Bauteilen, bei denen gleichzeitig Lasten unterschiedlicher physikalischer Art wirken, berechnet und simuliert werden.

Folgende physikalischen Effekte können miteinander kombiniert werden:





# DROP-TEST / FALLPRÜFUNG

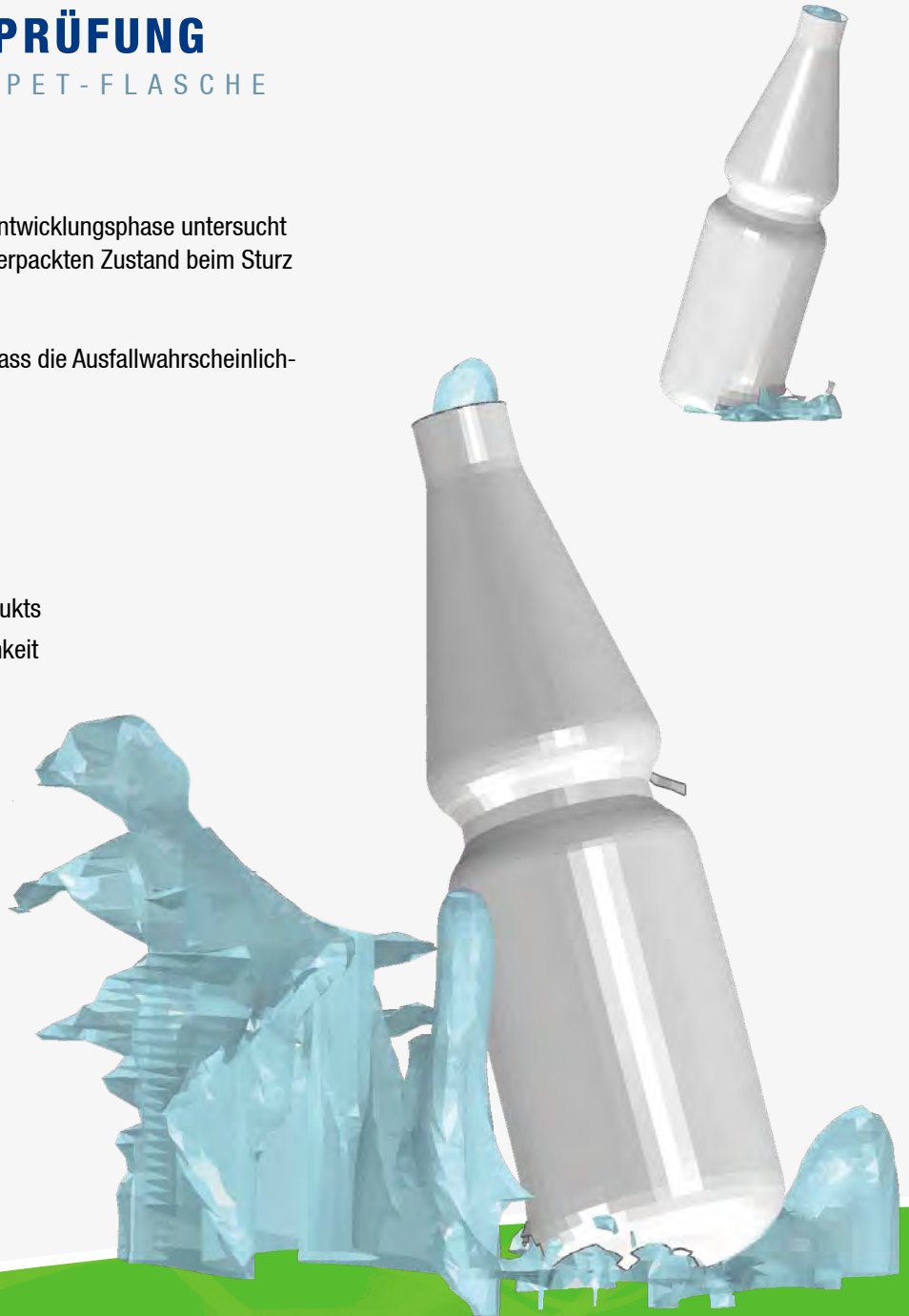
## STURZSZENARIO EINER PET-FLASCHE

Durch Fallsimulationen kann bereits in der Entwicklungsphase untersucht werden, ob Bauteile im verpackten oder unverpackten Zustand beim Sturz aus einer gewissen Höhe versagen.

Die Verpackung kann so optimiert werden, dass die Ausfallwahrscheinlichkeit bei geringsten Kosten optimal ist.

### **i** Unsere Leistungen

- Ermittlung der Schwachstellen eines Produkts
- Bestimmung der Schadenswahrscheinlichkeit beim Fall
- Optimierung der Verpackung



# VERSAGENSMECHANISMEN

SIMULATION DES AUFPRALLS EINER WELLENFRONT



Simulation des Aufpralls einer Flutwelle auf ein Gebäude.



## **i** Unsere Leistungen

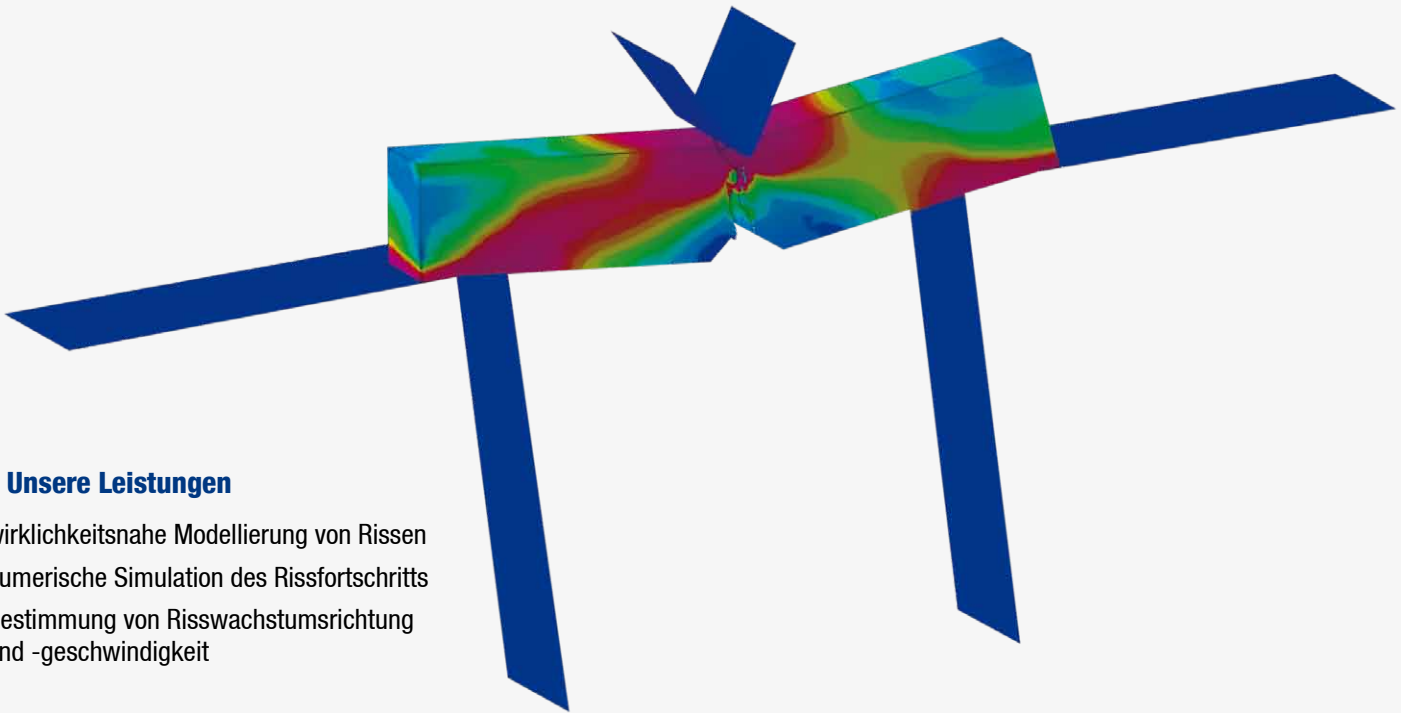
- „Überlebenswahrscheinlichkeit“ des Gebäudes
- Bestimmung der maximalen Wasserstandshöhen im Gebäude

# BRUCHMECHANIK / RISSBILDUNG

## KERBSCHLAGBIEGEVERSUCH

Allen bruchmechanischen Konzepten ist gemeinsam, dass eine bereits vorhandene Fehlstelle (Riss) im Bauteil unterstellt wird. Diese kann infolge des Herstellprozesses als Lunker, Einschluss, Spannungsriss o. ä. entstanden sein oder erst im Einsatz (z. B. bei zyklischer Beanspruchung) gebildet werden. Ausgehend von Annahmen bzgl. der Geo-

metrie und Beanspruchung dieser Fehlstelle, werden über ein Zähigkeitsmaß Bedingungen formuliert, unter denen es zu einem unzulässigen Risswachstum bis hin zum Bruch, dem Übersteigen der Bruchfestigkeit, kommt. Die Aussagesicherheit der klassischen Festigkeitsrechnung wird somit erhöht.

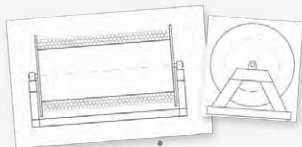


### **i** Unsere Leistungen

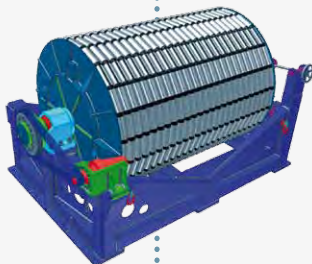
- wirklichkeitsnahe Modellierung von Rissen
- numerische Simulation des Rissfortschritts
- Bestimmung von Risswachstumsrichtung und -geschwindigkeit

# FINITE-ELEMENTE-METHODE IN DER GANZHEITLICHEN PRODUKTENTWICKLUNG

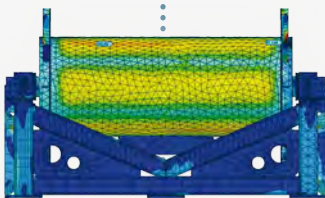
Kundenanfrage



Konstruktion



FEM-Berechnung



Endprodukt

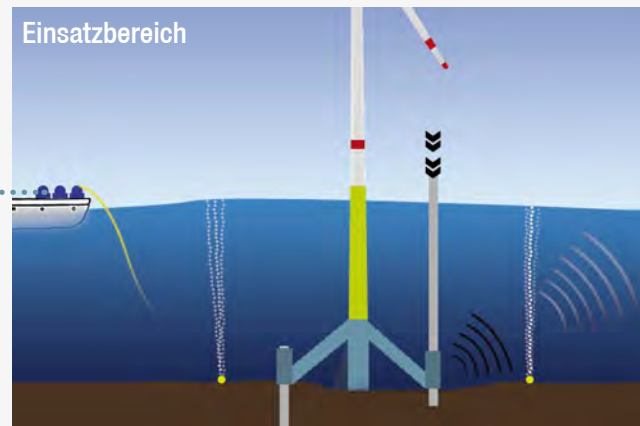


## SCHLAUCHWINDE

Der Bau von Offshore-Windparks ist mit erheblichen Eingriffen in die Natur sowie lärmintensiven Baumaßnahmen verbunden. Bei der Verankerung werden Stahlpfähle über 30 Meter tief in den Meeresgrund gerammt, wobei jeder Rammschlag kilometerweit unter Wasser hörbar ist.

MERKLE & PARTNER wurde damit beauftragt, eine Winde zu entwickeln, die einen rund 500 Meter langen Schlauch auf einem Schiff transportieren, ausbringen und wieder einholen soll. Am Meeresboden ausgelegt und mit Luft durchflutet dient er als Schallschutzwand zum bestmöglichen Schutz der Meeresbewohner.

**Konstruktion, Berechnung und Produktionsbegleitung durch MERKLE & PARTNER.**



Mit freundlicher Genehmigung der Hydrotechnik Lübeck GmbH

# SOFTWARE

Von MERKLE & PARTNER eingesetzte Software-Tools im Rahmen der Strukturanalyse:

## AKUSTIK

SYSNOISE  
VIRTUAL LAB

## CAD

CATIA  
PRO/ENGINEER  
UG(NX)  
INVENTOR/AUTOCAD  
I-DEAS

## CRASH/DROPTTEST/EXPLOSION

ABAQUS explizit  
LS-DYNA  
RADIOSS

## ELEKTROMAGNETISMUS

MAXWELL

## FESTIGKEIT/TEMPERATUR

ABAQUS  
ANSYS

NASTRAN  
PRO/MECHANICA

## LEBENSDAUER

FEMFAT

## MATERIALUMWANDLUNG

SYSWELD

## MEHRKÖRPERSIMULATION

ABAQUS  
ADAMS

## OPTIMIERUNG

OPTISTRUCT

## PRE-/POST PROCESSOR

ANSA  
ENSIGHT  
HYPERWORKS

## SPRITZGUSS-SIMULATION

CADMOLD

## TECHNISCHE BERECHNUNGEN

MATLAB / SIMULINK  
MATHEMATICA  
MDESIGN

## TIEFZIEHSIMULATION

AUTOFORM  
PAM-STAMP



## HARDWARE

MERKLE & PARTNER setzt auf leistungsfähige Hardware.

### Linux-Workstations

mit 4-8 Prozessor-Kernen und bis zu 72 GB RAM

### Windows-Workstations

mit 4 Prozessor-Kernen und bis zu 8 GB RAM

### HPC-Cluster

mit 128 Prozessoren und 256 GB RAM

## REFERENZEN

Starke Unternehmen, die uns vertrauen.

- AUDI AG
- BERU Electronics GmbH
- BSH Bosch und Siemens Hausgeräte GmbH
- Cofely Refrigeration GmbH
- DAIMLER AG
- DIEFFENBACHER GmbH
- Dr. Schneider Kunststoffwerke GmbH
- EADS Deutschland GmbH
- ETIMEX Technical Components GmbH
- General Dynamics L. S. Germany GmbH
- Handtmann-Systemtechnik GmbH & Co. KG
- INA-Schaeffler KG
- Johnson Matthey Catalysts GmbH
- Kayser-Threde GmbH
- KLAUS Multiparking GmbH
- KSB AG
- Leuze electronic GmbH & Co. KG
- MAGNA STEYR Fahrzeugtechnik AG & Co KG
- MAN Diesel SE
- NuCellSys GmbH
- Pollrich Ventilatoren GmbH
- Quattro GmbH
- RENK AG
- Robert Bosch GmbH
- Robert Bürkle GmbH
- Rütschi Fluid AG
- Thales Electron Devices GmbH
- Trützschler Nonwovens GmbH
- VOITH Turbo GmbH & Co. KG
- Volkswagen AG

## NIEDERLASSUNGEN

### HAMBURG

Behringstraße 28a  
22765 Hamburg

Tel. +49 (0)40 3037766-01  
Fax +49 (0)40 3037766-09

E-Mail: a.haas@hh.merkle-partner.de

### INGOLSTADT

Lilienthalstraße 48  
85080 Gaimersheim

Tel. +49 (0)8458 60366-0  
Fax +49 (0)8458 60366-19

E-Mail: ingolstadt@merkle-partner.de

### RAUM KARLSRUHE/FREIBURG

Ab Frühjahr 2012 steht unseren Kunden im Großraum Karlsruhe/Freiburg eine neue Niederlassung vor Ort zur Verfügung.



**MERKLE & PARTNER GbR**  
Ingenieurbüro  
für Strukturanalyse, FEM, CFD  
Friedrichstr. 1  
89518 Heidenheim  
Tel. +49 (0)7321 9343-0  
Fax +49 (0)7321 9343-20  
[www.merkle-partner.de](http://www.merkle-partner.de)  
[info@merkle-partner.de](mailto:info@merkle-partner.de)