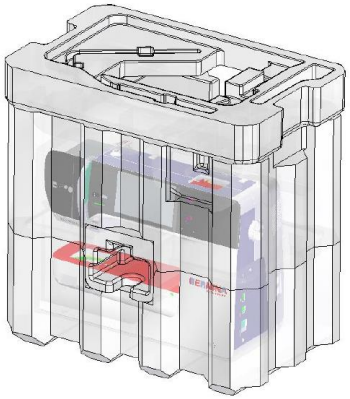
# Optimale Produkteverpackung durch entwicklungsbegleitende Falltestsimulation

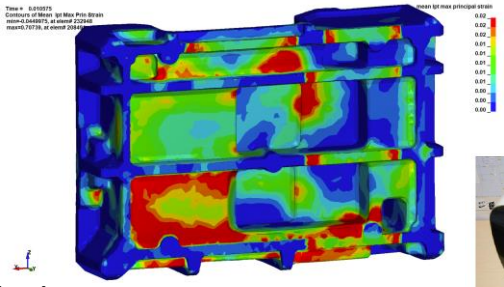
21.02.2023

Manfred Maurer / Alain Capt

# Inhalt

- Vorstellung der Referenten
- Problemstellung
- Vision
- Konzept
- Modellaufbau
- Workflow / Validierung
- Resultate (Simulation vs. realer Test)
- Kosten (Entwicklungsbegleitende Simulation)
- Einsparungen (Wirtschaftlichkeit)
- Fazit & Ausblick
- Q&A





# Biografie Alain Capt

| | |
|---|---|
| Name: | Alain Capt |
| Alter: | 38 Jahre |
| Familie: | Agnieszka Capt |
| | Hanna Janina Capt |
| Hobbies: | Fussball & Tennis |
| Ausbildung: | Dipl. Ing. FH Maschinentechnik |
| | Master FHO in Businessadministration and Engineering |
| BERNINA DNA: | Berufslehre 2000-2004 |
| | Konstrukteur 2004-2005 |
| | Entwicklungsingenieur 2008-2013 |
| | Junior Systemarchitekt 2013-2015 |
| | Systemarchitekt 2015 bis heute |

# Biografie Manfred Maurer

| | |
|---|---|
| Name: | Manfred Maurer |
| Alter: | 36 Jahre |
| Familie: | Michela Perrini |
| | Elisa & Lara |
| Hobbies: | Fotografie |
| Ausbildung: | Dipl. Ing. Computational Engineering Science (RWTH Aachen) |
| | Dr. sc. (ETH) Biomechanik |
| CADFEM DNA: | Seit 2016 Teil des Engineering Teams |
| | Spezialgebiete: |
| | Strukturmechanik (statisch, dynamisch) |
| | Explizite Dynamik (LS-Dyna) |
| | Topologieoptimierung, Additive Fertigungssimulation |

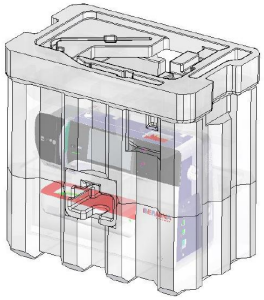
# Problemstellungen

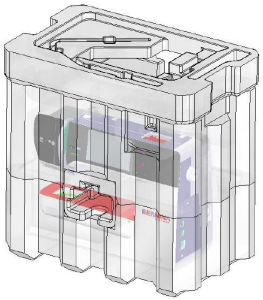
- → Kritischer Lastfall ist oft der Falltest
  → Baugruppen müssen auf Falltest dimensioniert werden → (Richtlinie 100 G) → Verpackung muss Zielwerte erreichen!
- → Auslegung anhand groben Richtlinien (vereinfacht)
- → Verifikation nur durch Prototypen und Handrechnungen
- → Verifikation mit Prototypenmaterial nicht 100% möglich (Sprödbrüche)
- → Verifikation mit Prototypen ist teuer
  (Warenwert pro Falltest: Verpackung ca. 1000 CHF, Maschine ca. 12000 (kann mehrfach für Test verwendet werden)
  (Aufwand: ca. 1 Tag Arbeit für Falltest und Auswertung)
- → Verifikation mit Originalmaterial sehr spät im Entwicklungsprozess (Pilotserie)
- → Grosse Aufwände für Optimierung negativer Testergebnisse
  (Trefferquote ist unbefriedigend)
- → Herstellkosten vs. Funktionalität
  → EPS Styropor (<80 G) vs. PE Schaum (<50 G) ca. Faktor 2

# Problemstellung

2x?
3x?
…

Konzeption → Validierung → Optimierung → Validierung → Freigabe





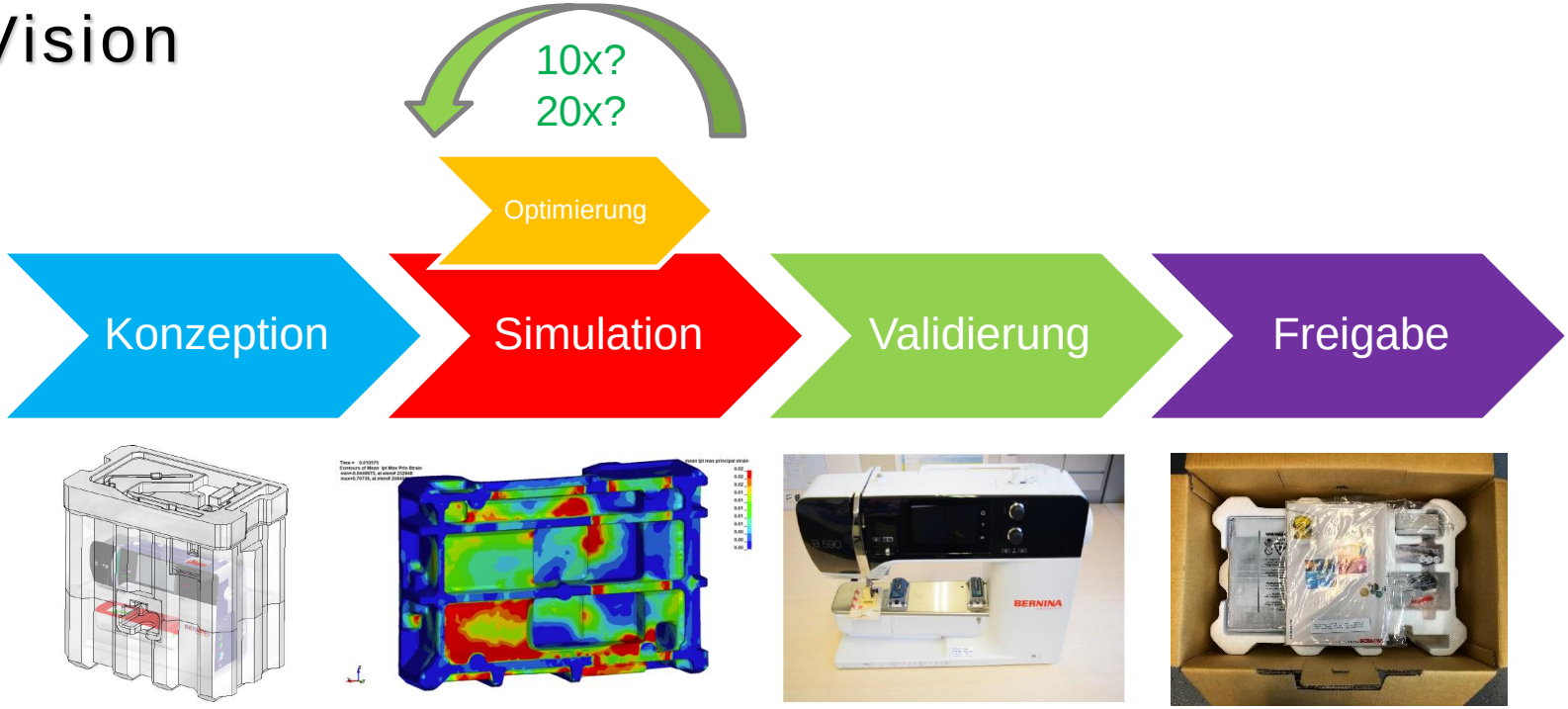
Optimierungsschlaufen während Validierung mit teuren Prototypen und sehr zeitaufwendig

→ schwierig planbar

→ wenig Daten (nur begrenztes Material für Falltestversuche vorhanden)!

→ Kostenintensiv und oft überdimensioniert

# Vision




Optimierungsschlaufen während Konzeption durch Simulation.

→ Planbar

→ viele Daten (durch Simulation und Verifikation)!

→ Kostengünstig / kürzere Validierung

# Konzept

- Pflichtenheft — BERNINA
- Verpackungsdesign — WellPack, flatz
- Materialcharakterisierung — SUISSE TECHNOLOGY PARTNERS
- Simulationsmodell — CADFEM
- Verifikation — CADFEM, BERNINA

# Pflichtenheft

## Funktion

- <100 G in alle Fallrichtungen (Zielwert 80 G)
- Maximal 4 Komponenten
- Maximaldimensionen: 55x38x51cm

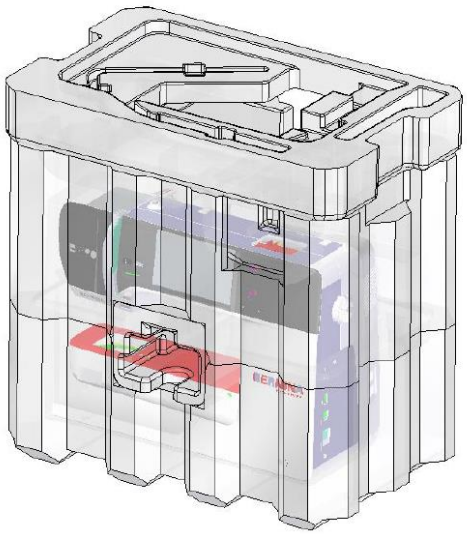
## Wirtschaftlichkeit

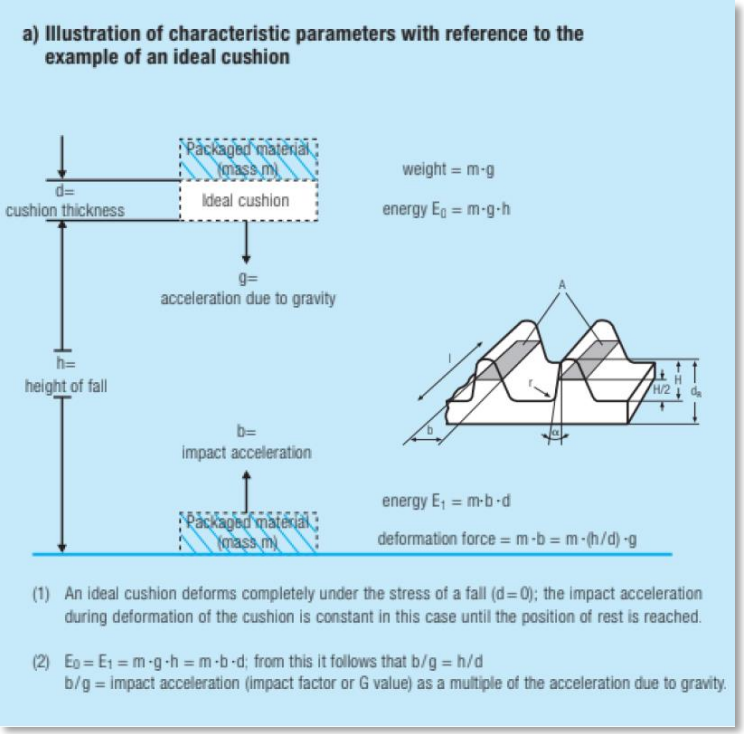
- Kosten <= 7.5 CHF (5.5 CHF für Styropor)
- Maximale Paletten Höhe: 1.8m

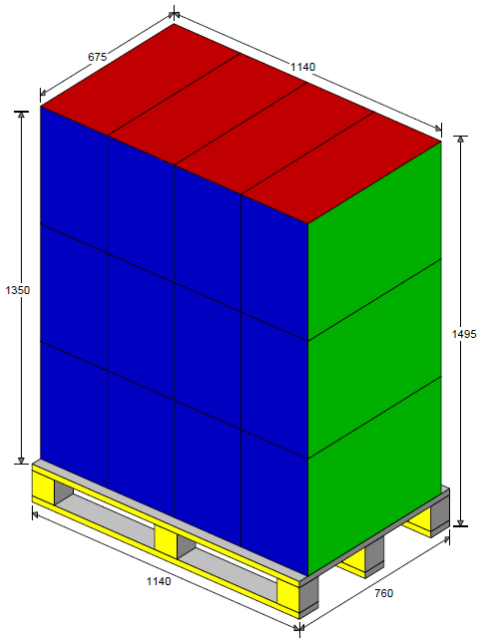
## Umwelt

- Styroporreduktion >20%

# Design



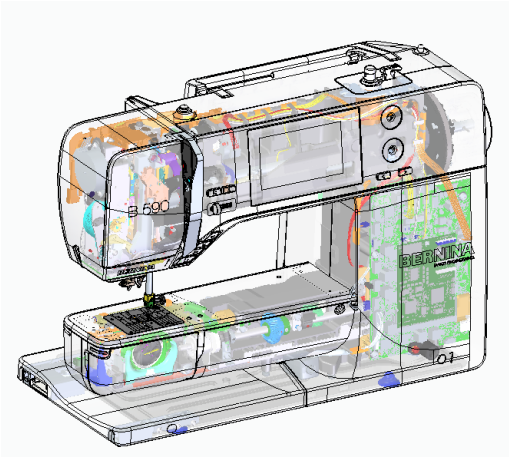



Verpackungsdesign für Styropor mit Entwicklungspartner

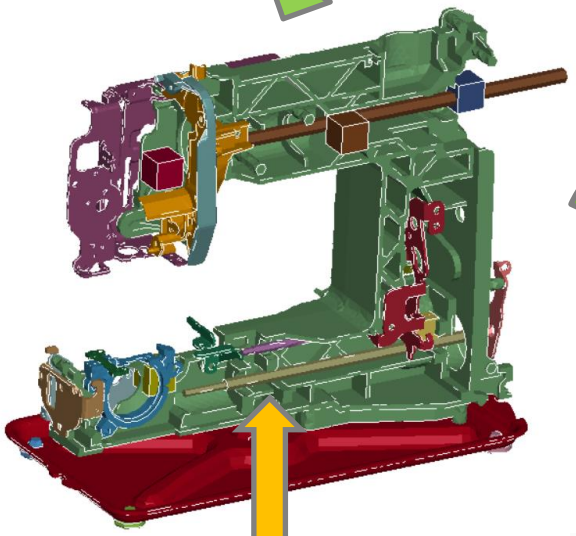
Verpackungsdesign für Kartonbox mit Entwicklungspartner

# Modularer Modellaufbau



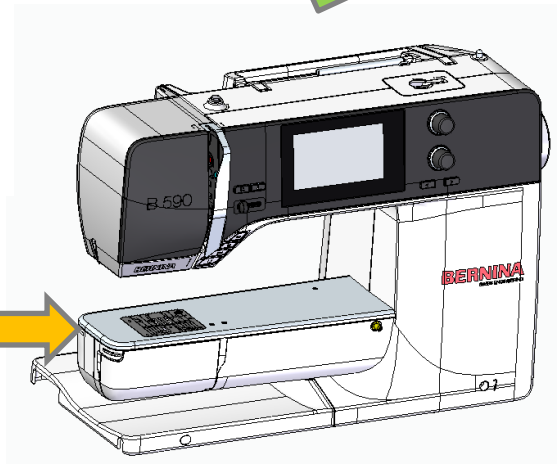

Vereinfachte Tragstruktur mit
Ersatzmassen und Trägheitsmomenten

CADFEM



Detaillierte Verschalung
mit Befestigungspunkten

CADFEM

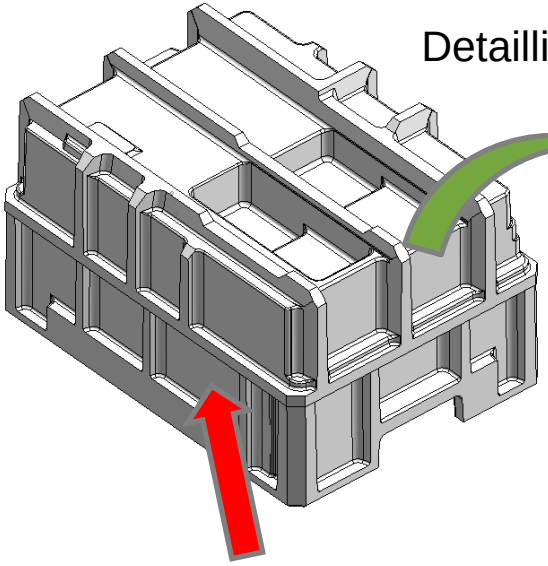



Lineare und nichtlineare
Materialmodelle aus
Ansys Granta

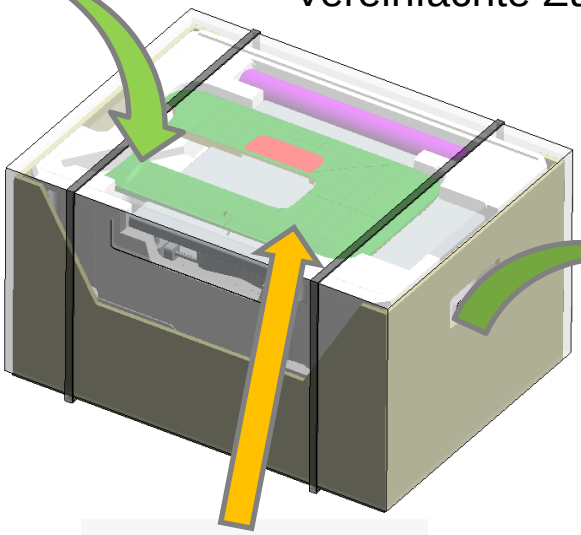
Ansys
GRANTA

# Modularer Modellaufbau

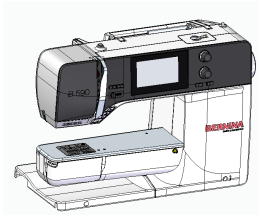
Detaillierte Verpackung

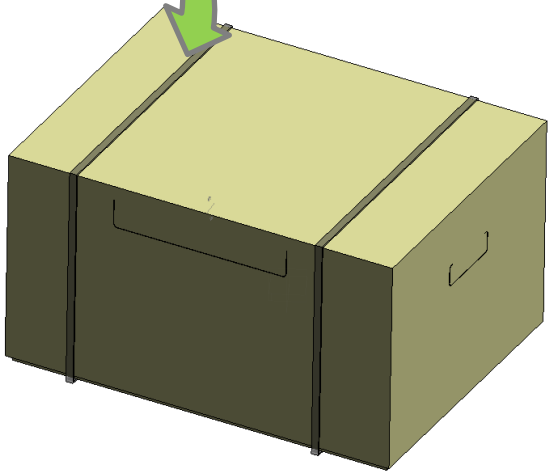


Vereinfachte Zubehörelemente



Vereinfachtes Maschinenmodell





SUISSE TECHNOLOGY PARTNERS

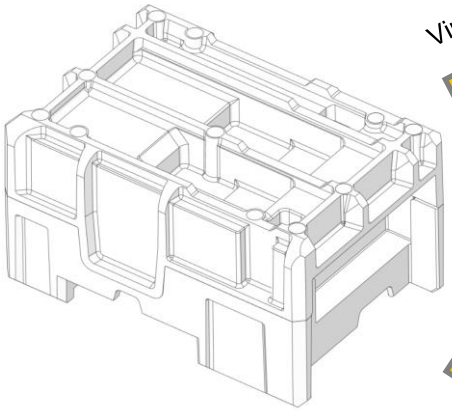
Nichtlineares Materialmodell in LS Dyna (Crushable Foam) mit hinterlegten Messdaten

Ansys GRANTA

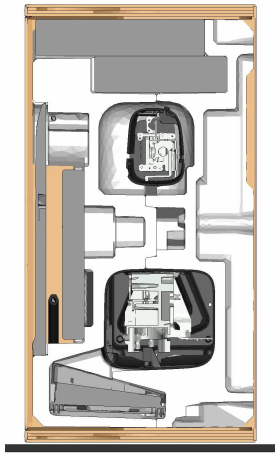
Lineare und nichtlineare Materialmodelle aus Ansys Granta

# Workflow

Verpackungskonzept V1

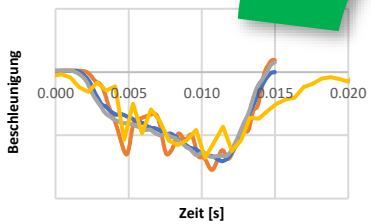


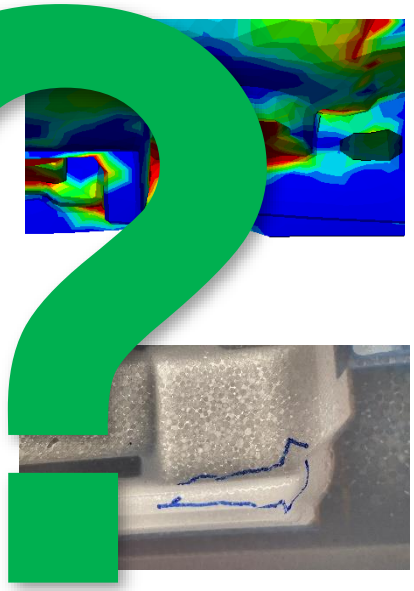
Virtueller Falltest



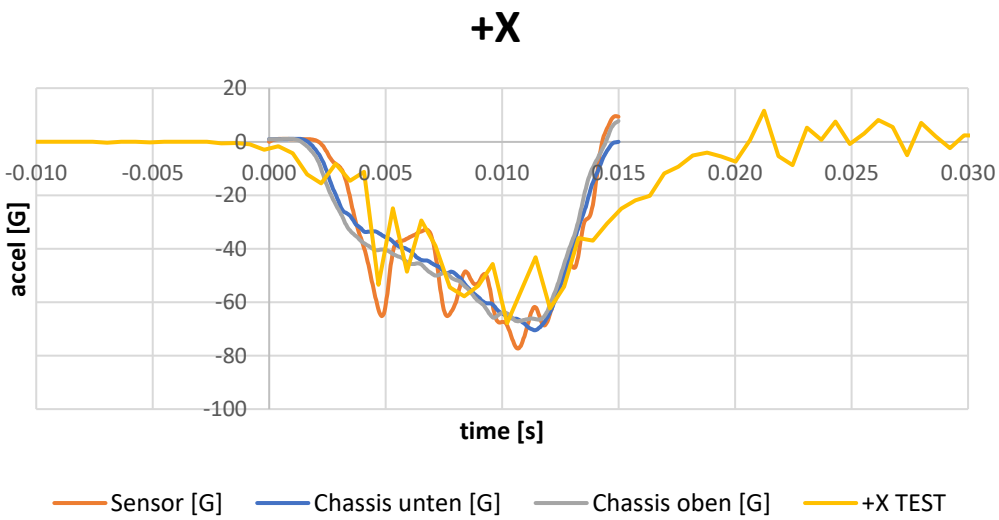
Realer Falltest

Validierung
Simulationsmodell

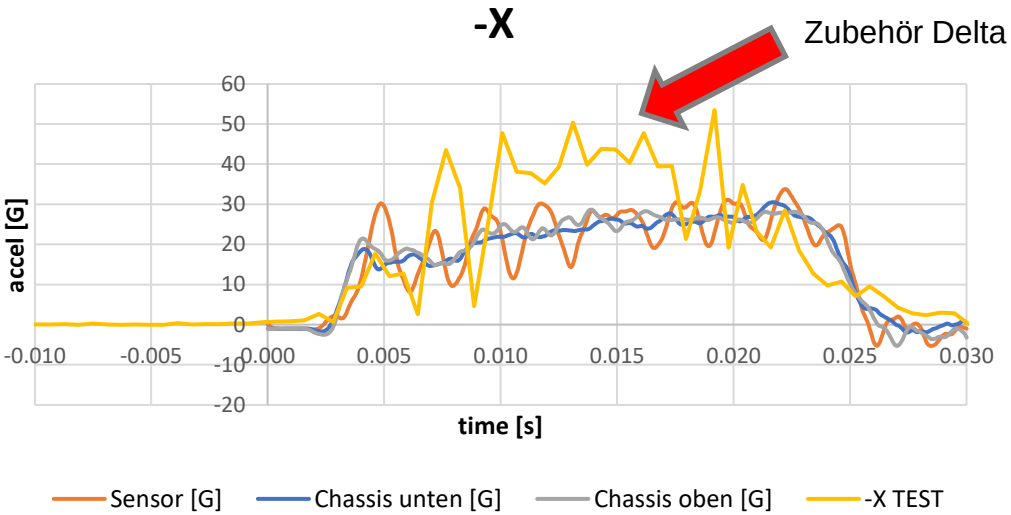


# Resultate

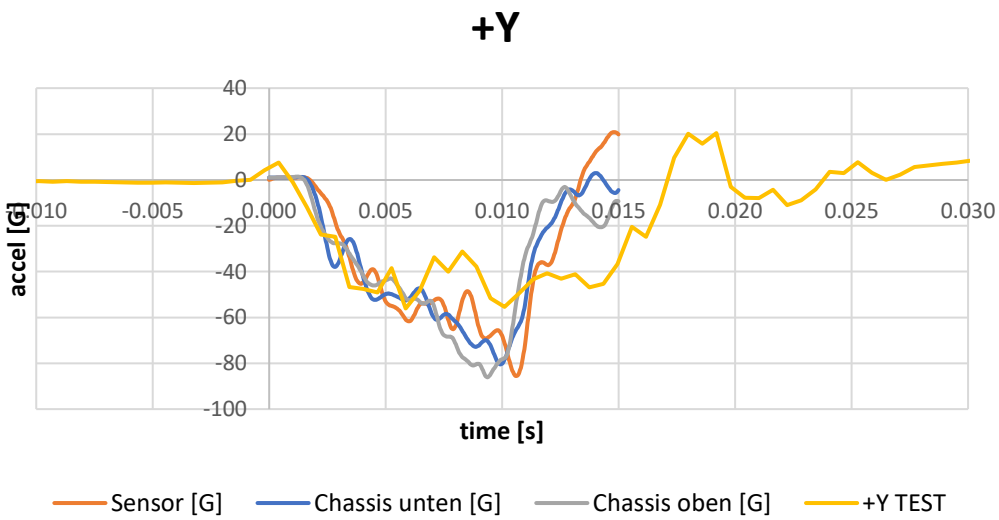

+X
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-0.010
-0.005
0.000
0.005
0.010
0.015
0.020
0.025
0.030
accel [G]
time [s]
Sensor [G]
Chassis unten [G]
Chassis oben [G]
+X TEST

+X
BERNINA

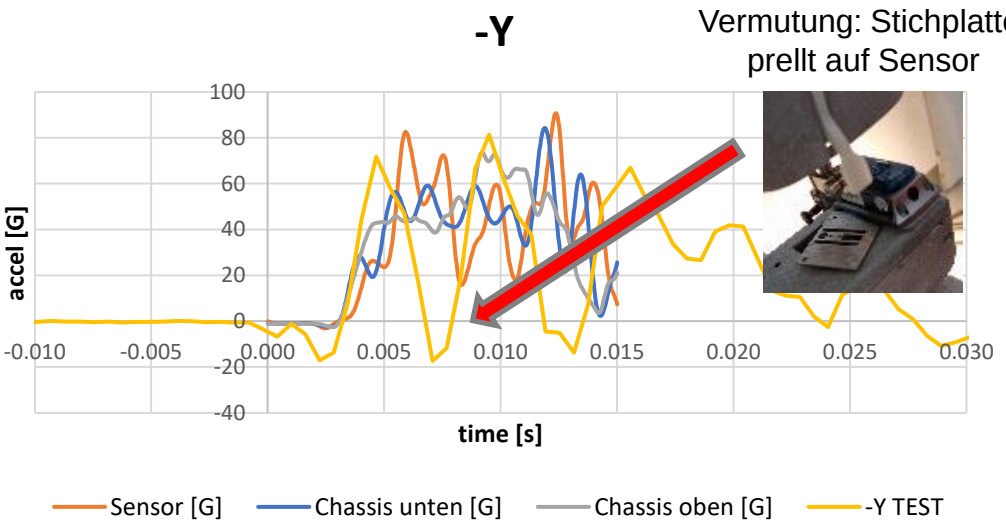

-X
Zubehör Delta
60
50
40
30
20
10
0
-10
-20
-0.010
-0.005
0.000
0.005
0.010
0.015
0.020
0.025
0.030
accel [G]
time [s]
Sensor [G]
Chassis unten [G]
Chassis oben [G]
-X TEST

-X
BERNINA

# Resultate


+Y
40
20
0
-20
-40
-60
-80
-100
-0.010
-0.005
0.000
0.005
0.010
0.015
0.020
0.025
0.030
accel [G]
time [s]
Sensor [G]
Chassis unten [G]
Chassis oben [G]
+Y TEST

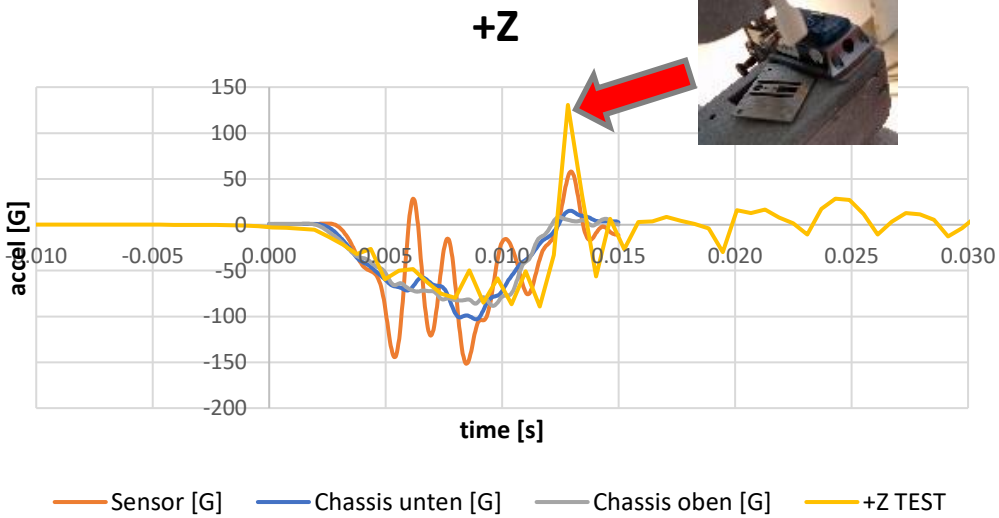
+Y
BERNINA

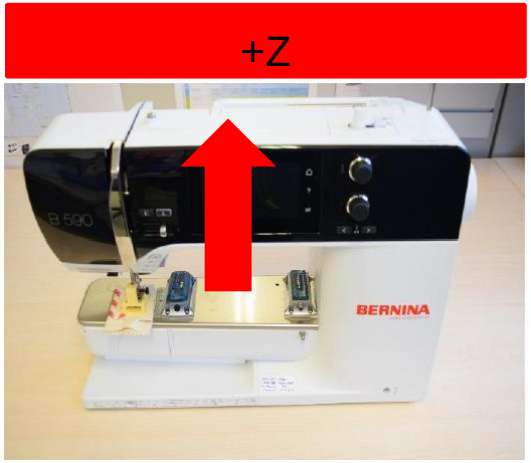

-Y
Vermutung: Stichplatte
prellt auf Sensor
100
80
60
40
20
0
-20
-40
-0.010
-0.005
0.000
0.005
0.010
0.015
0.020
0.025
0.030
accel [G]
time [s]
Sensor [G]
Chassis unten [G]
Chassis oben [G]
-Y TEST

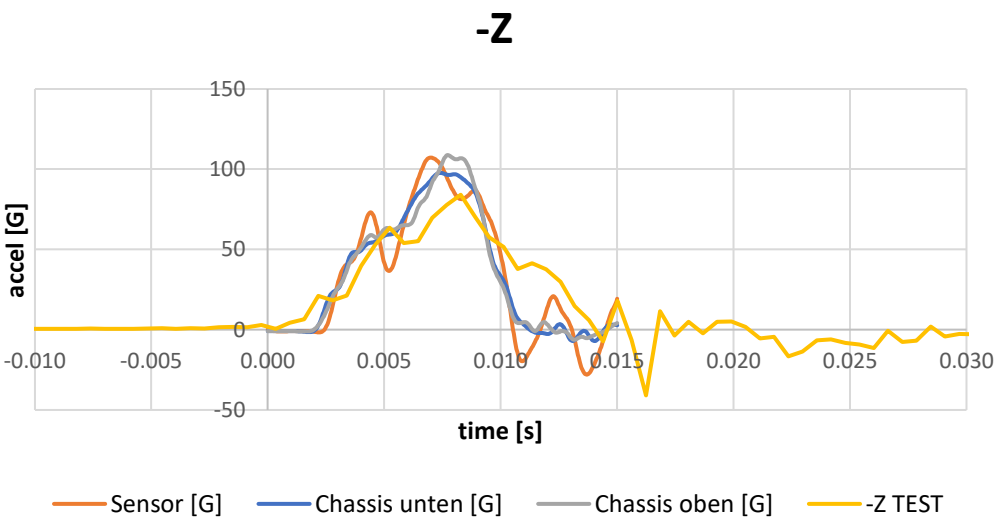
-Y

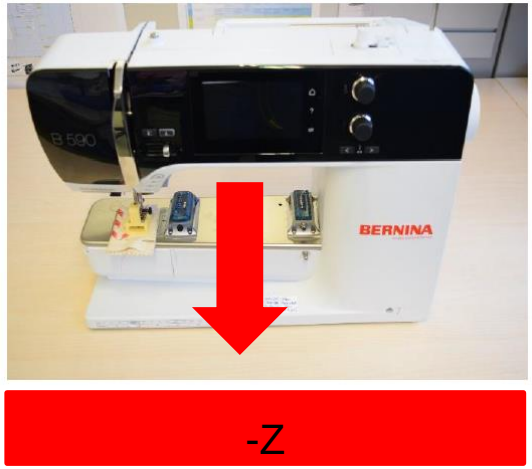
# Resultate

Stichplatte rausgefallen

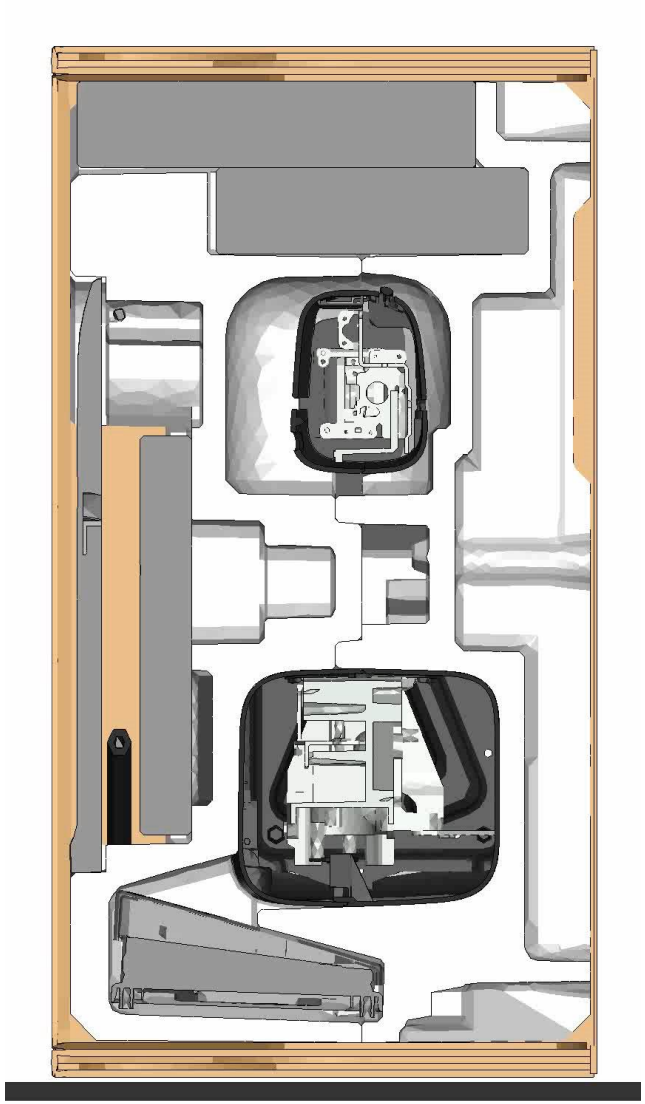


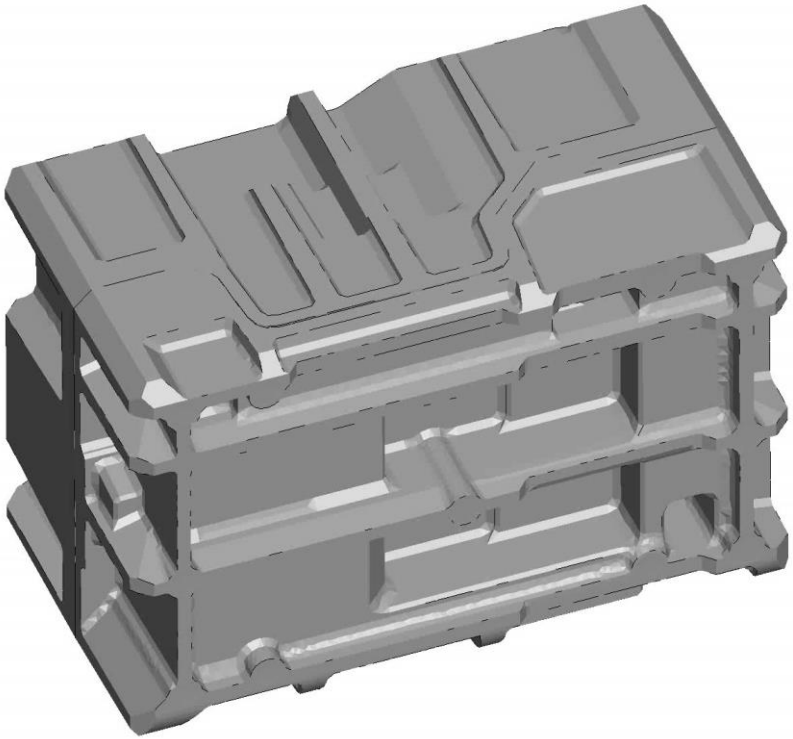



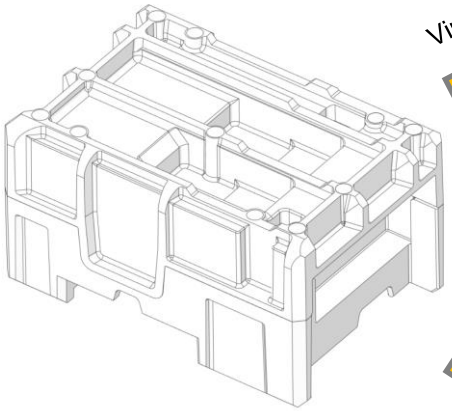
# Resultate



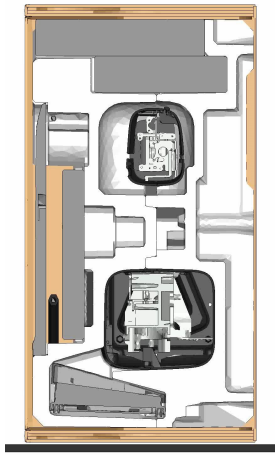


# Workflow

Verpackungskonzept V1

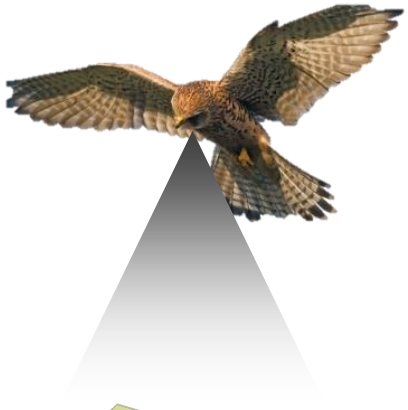


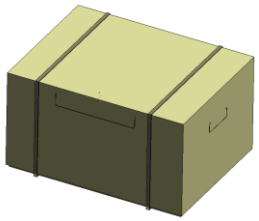
Virtueller Falltest

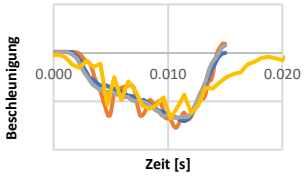


Realer Falltest

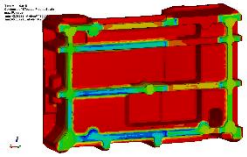
Test & Simulation

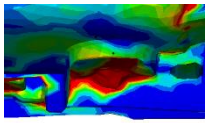






Simulation

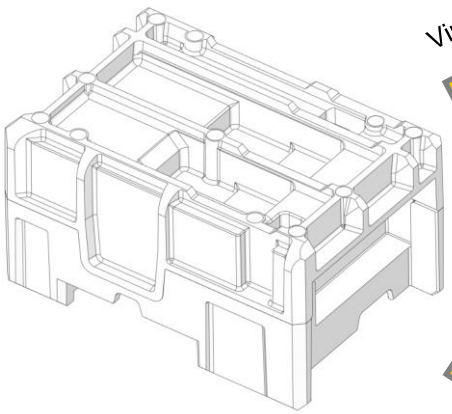




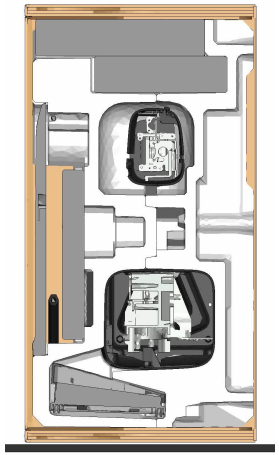
**Systemverständnis!**

# Workflow

Verpackungskonzept V1

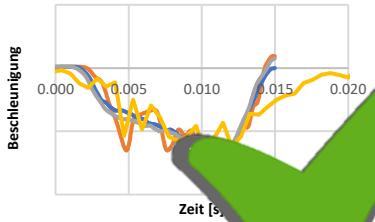


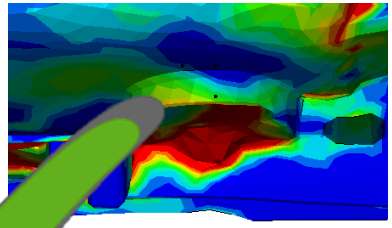
Virtueller Falltest

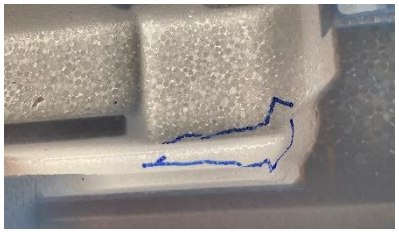


Realer Falltest

Validierung
Simulationsmodell



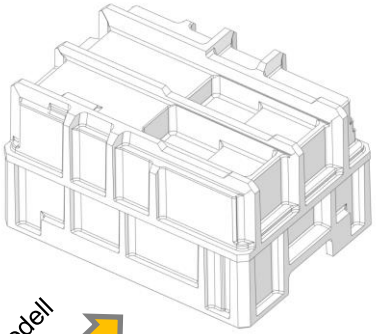


# Workflow

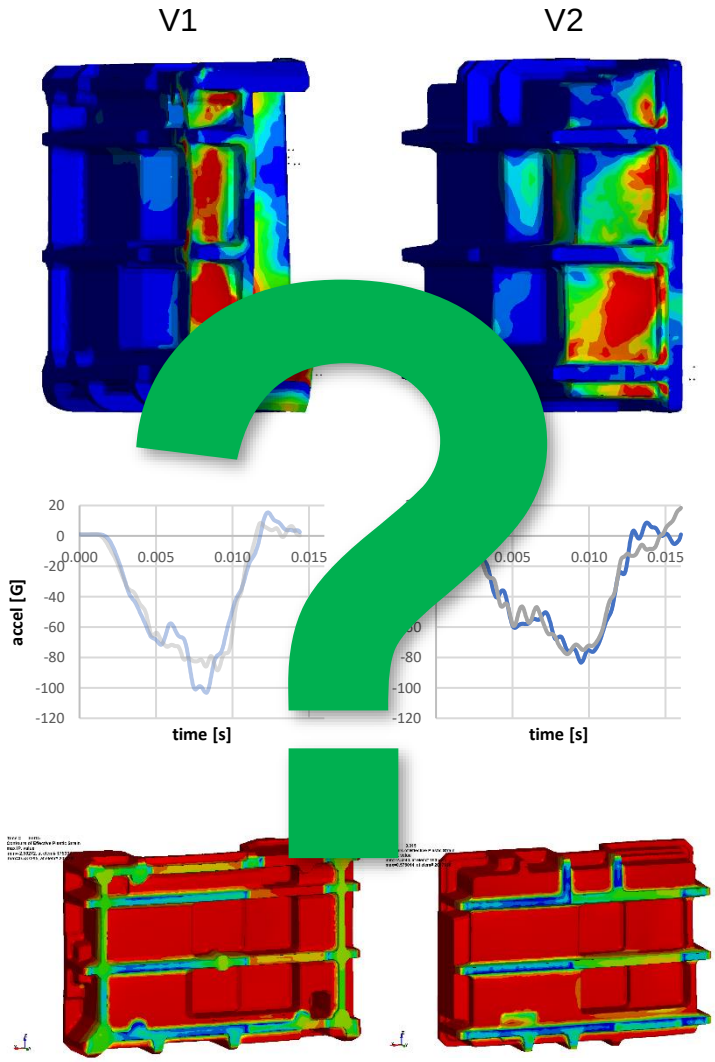
Externe Faktoren

- Palettierung
- Ästhetik
- Unboxing Experience
- Inkludiertes Zubehör
- Zubehöranordnung

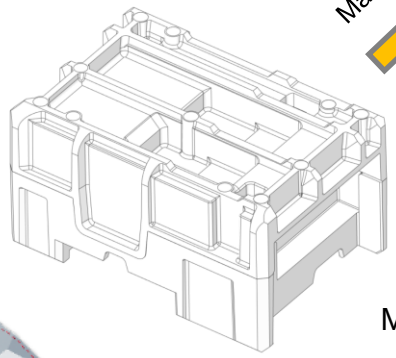
Verpackungskonzept V2

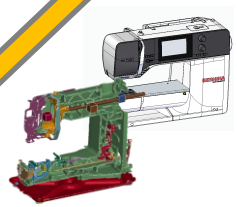


Virtueller Falltest



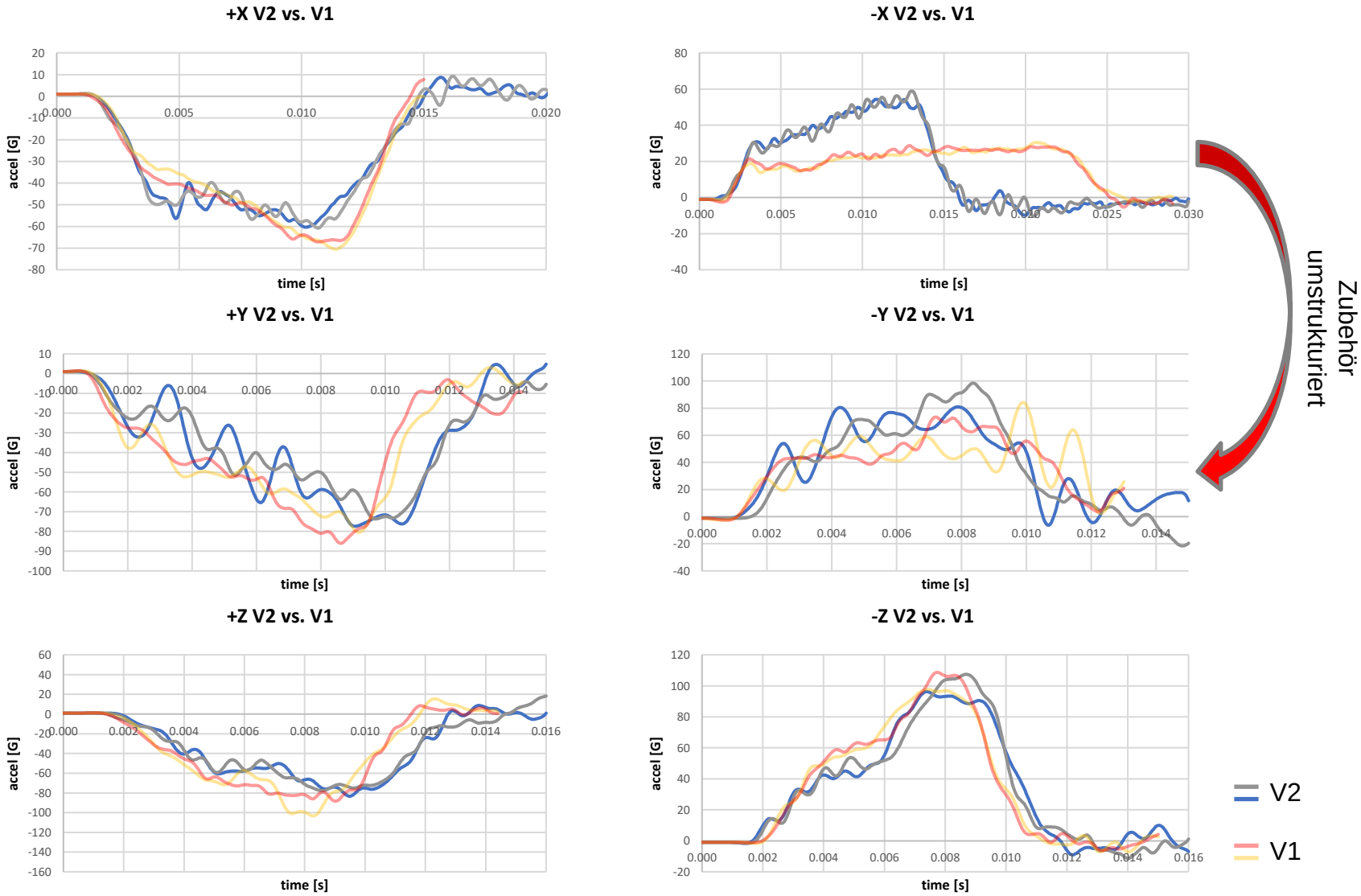

Maschinenmodell





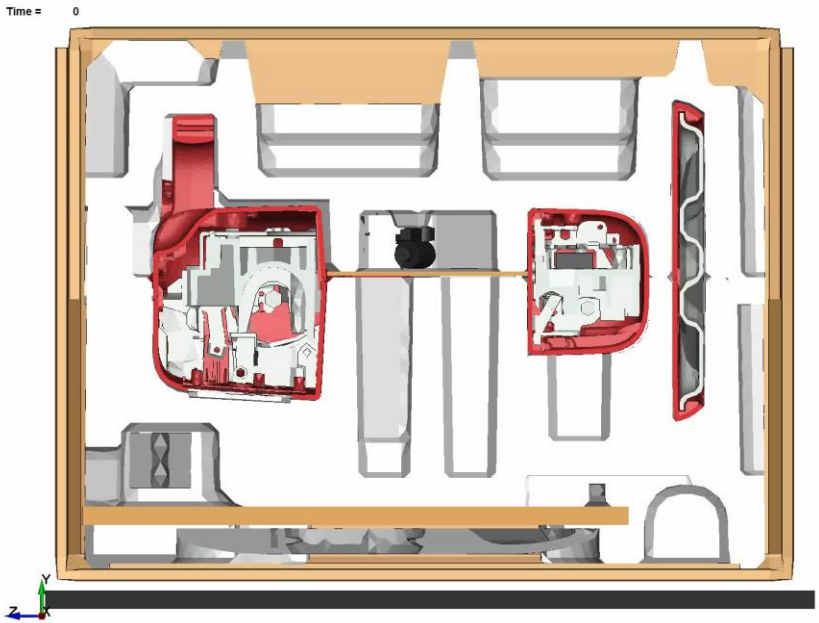
Modularer Modellaufbau!

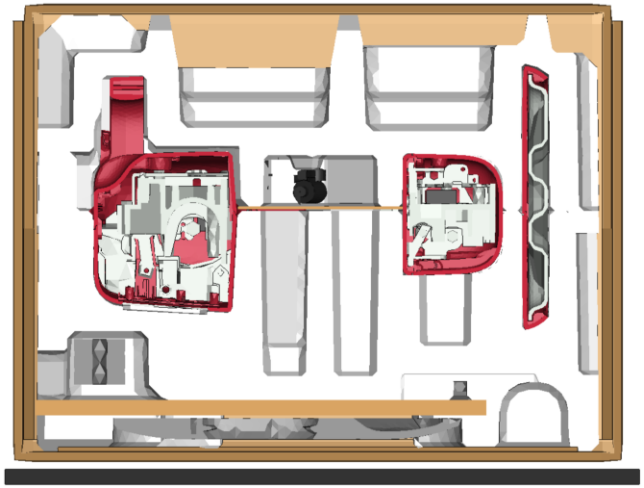
# Resultate

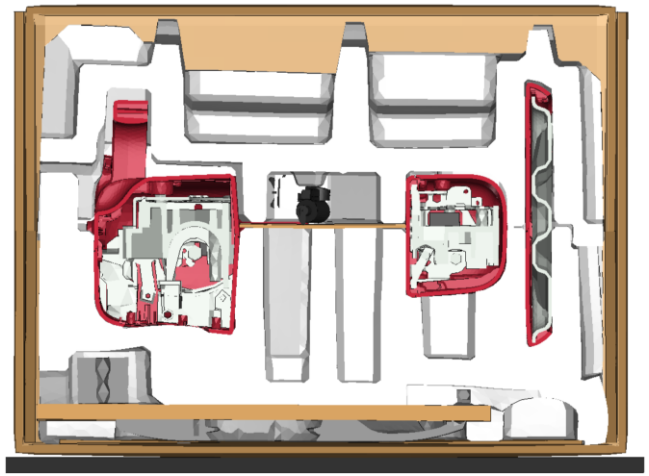



made to create BERNINA

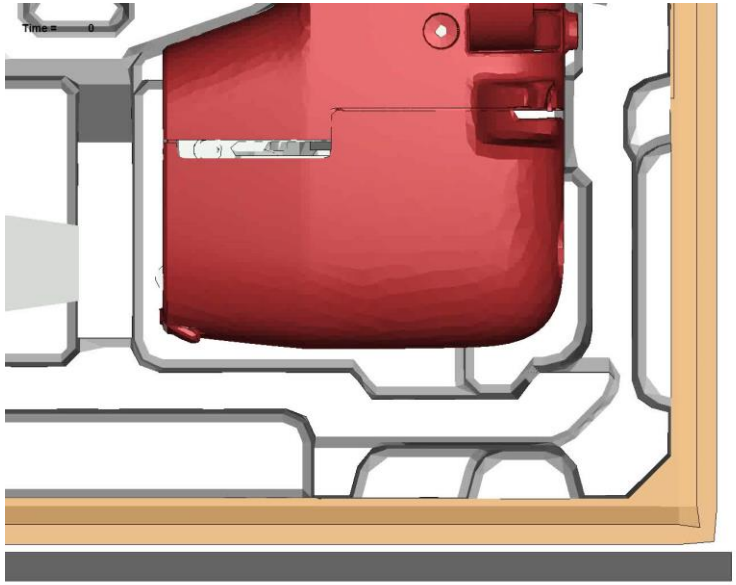
# Resultate



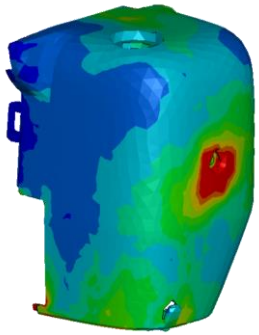


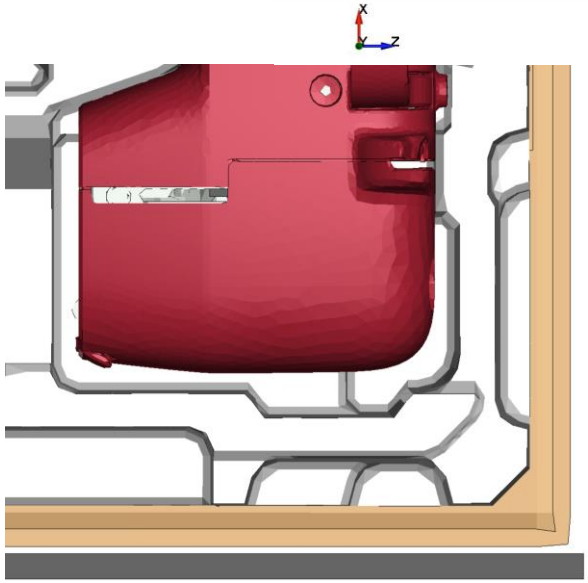
# Resultate

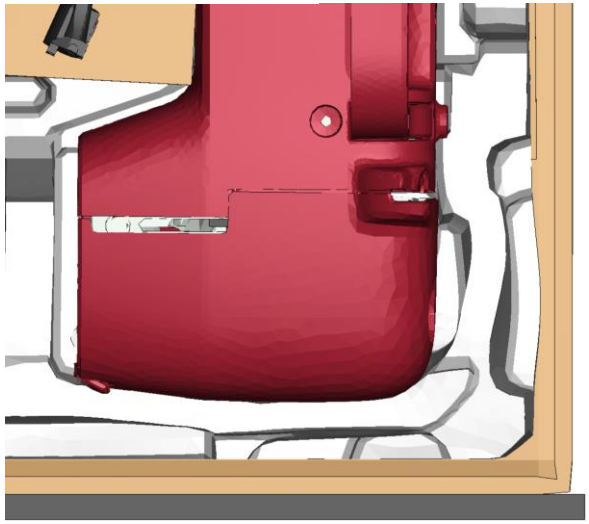



V1

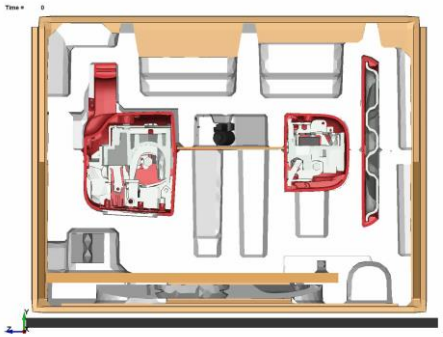
V2

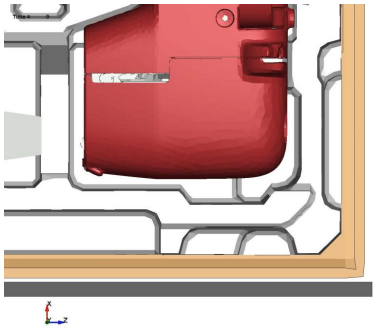


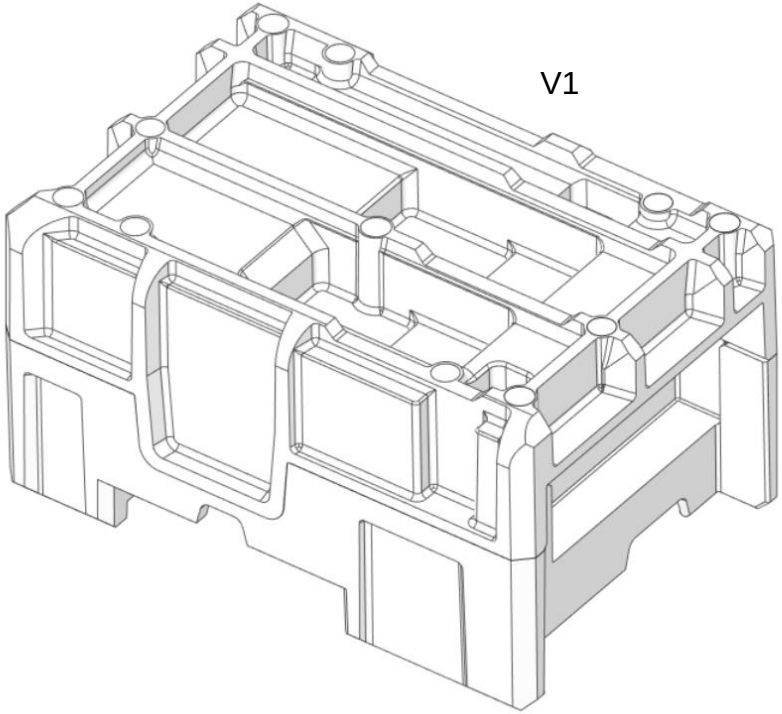


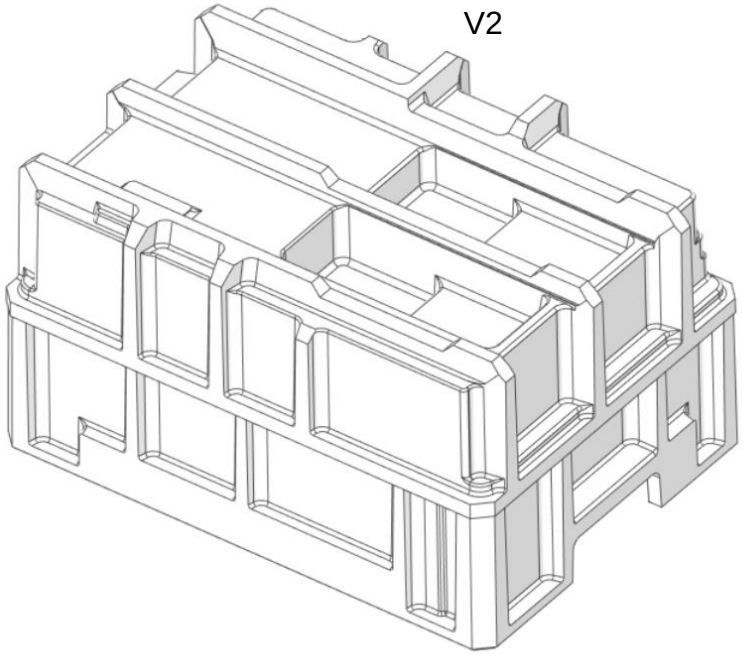



# Resultate



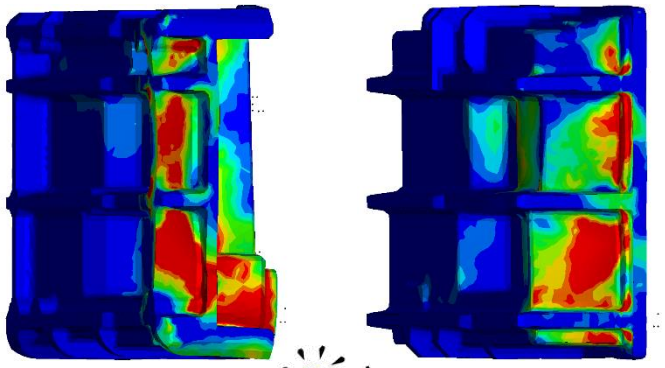


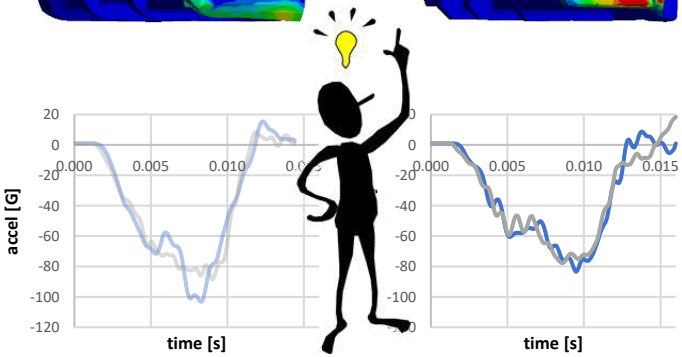


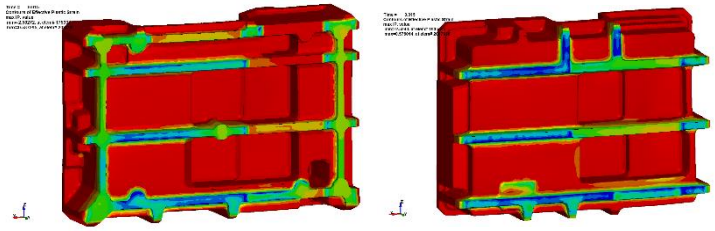
# Workflow

V1 V2





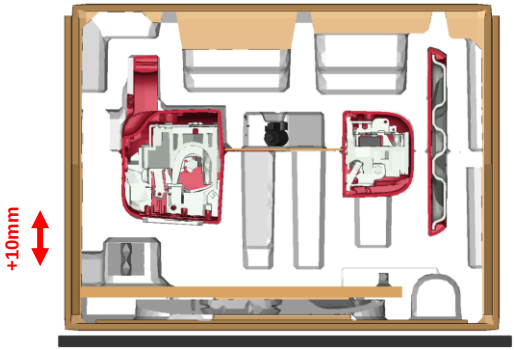

**Systemverständnis!**



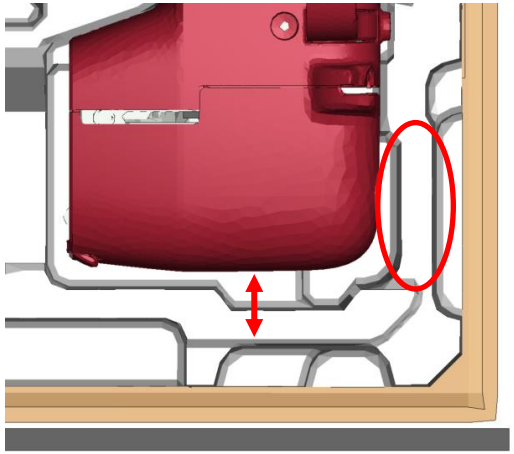
Ableitungen

(exemplarisch)

+10mm Styropor -Y → Reduktion G-Kräfte



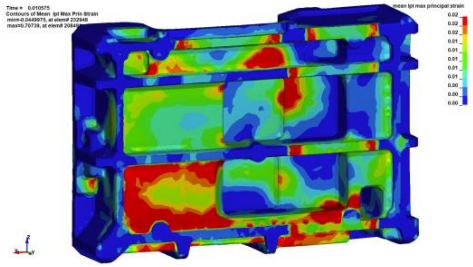

Kopf freistellen, Styroporrippe verstärken
→ Besserer Schutz sensitiver Kopf, verhindern Riss in Verpackung



# Kosten - Simulation

**Initialaufwand:**

| | |
|---|---|
| Material Charakterisierung: | 10‘000 CHF (Initial) |
| Simulation Konzeptentwicklung, Modellaufbau: | 10‘000 CHF (Initial) |
| Simulation der Falllagen: | 9‘000 CHF (ca. 1500 CHF / Fall Lage) |
| | **29‘000 CHF** |



**Aufwände für weitere Loops:**

| | |
|---|---|
| Weitere Materialien charakterisieren: | 4’500 CHF |
| Weitere Verpackungsvarianten simulieren: | 2’500 CHF (Modell Modifikation) |
| | 1’500 CHF / Fall Lage |

**Entwicklungsbegleitende Falltestsimulation bis zum fertigen Konzept: ca. 40‘000 CHF**

# Kosten - Validierung

**Aufwände für Falltests:**

| | |
|---|---|
| Material: | 1000 CHF / Set |
| Falltest Maschine: | 12’000 CHF |
| Falltest Aufwand: | 1 Tag (1500 CHF) |

# Kosten

**Aufwände für Falltest ohne Simulation:**

| | |
|---|---|
| Material: | 6’000 CHF (6 Sets) |
| Falltest Maschine: | 16’000 CHF (inkl. Reparaturen) |
| Falltest Aufwand: | 9’000 CHF (6 Tage) |
| | **31’000 CHF** |

**Aufwände für Falltest mit Simulation (inkl. Konzeptentwicklung & Modellvalidierung):**

| | |
|---|---|
| Material: | 3000 CHF (3 Sets) |
| Falltest Maschine: | 12’000 CHF |
| Falltest Aufwand: | 4’500 CHF (3 Tage) |
| Simulation: | 40’000 CHF |
| | **59’500 CHF** |

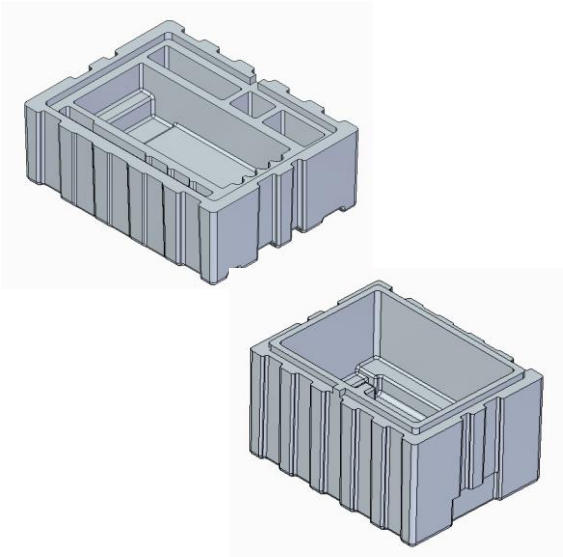
**Aufwände für Falltest mit Simulation (bestehendes Konzept, ohne Validierung):**

| | |
|---|---|
| Material: | 1000 CHF (1 Set) |
| Falltest Maschine: | 12’000 CHF |
| Falltest Aufwand: | 1’500 CHF (1 Tag) |
| Simulation: | 25’500 CHF (2 Varianten) |
| | **40’000 CHF** |

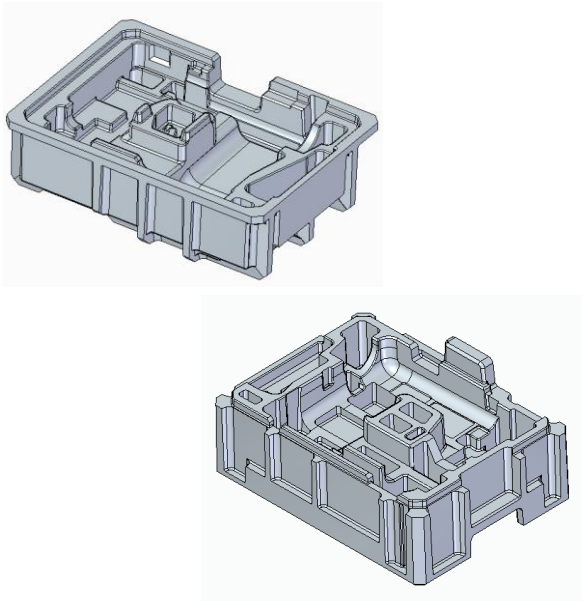
**Reale Investition für Simulationsansatz:**

**10’000-20’000 CHF**

# Einsparungen



**5.65 CHF**



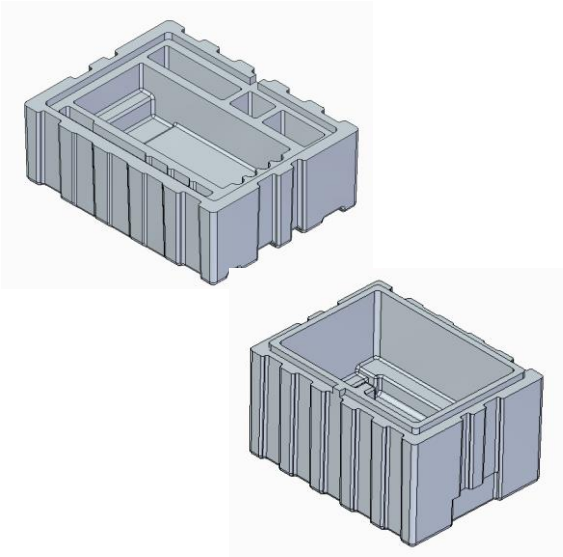
**3.10 CHF**

**-45%**

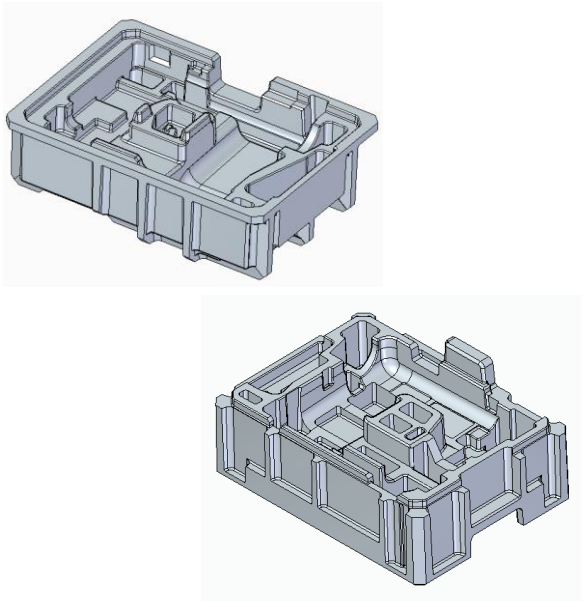
20’000 x 2.55 CHF = **51’000 CHF Herstellkosten Reduktion / Jahr**

→ Über Produktlebenszyklus von 15 Jahren: **765’000 CHF Einsparung**

# Einsparungen



**0.754 Kg**



**0.413 Kg**

**-45%**

20’000 x 0.341 Kg = **6.82 t Styropor Reduktion / Jahr**

→ Footprint: **>15 t CO2 Einsparung / Jahr**

→ Über Produktlebenszyklus von 15 Jahren: **>225 t CO2 Einsparung**

# Pflichtenheft

## Funktion

- <100 G in alle Fallrichtungen (Zielwert 80 G)
- Maximal 4 Komponenten
- Maximaldimensionen: 55x38x51cm

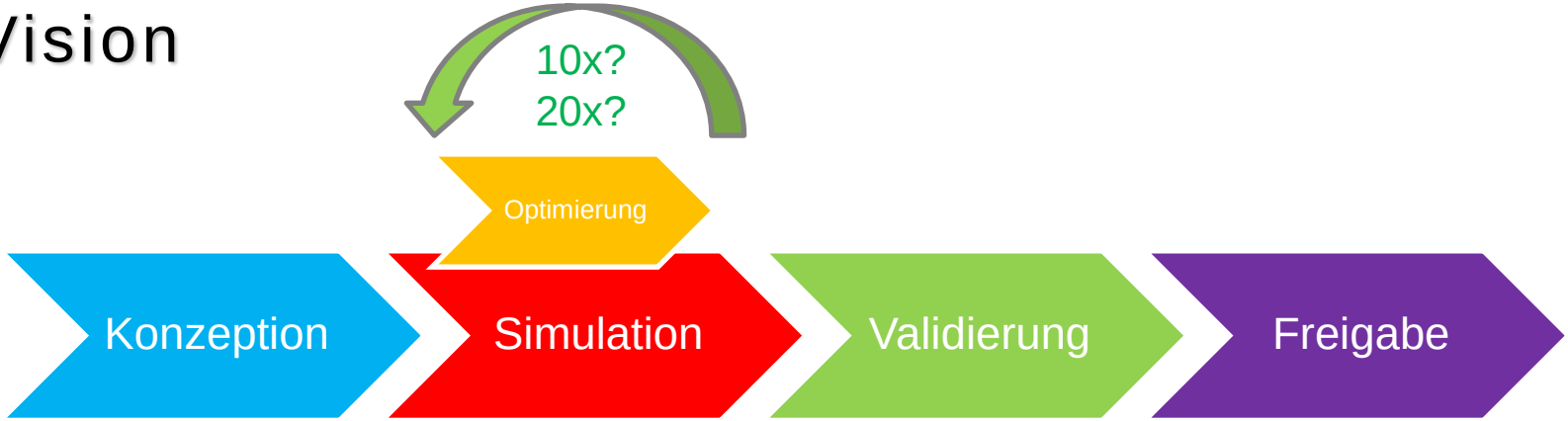
## Wirtschaftlichkeit

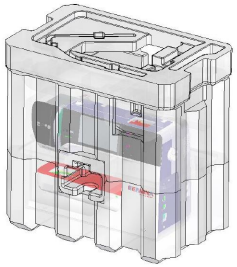
- Kosten <= 7.5 CHF (5.5 CHF für Styropor)
- Maximale Paletten Höhe: 1.8m

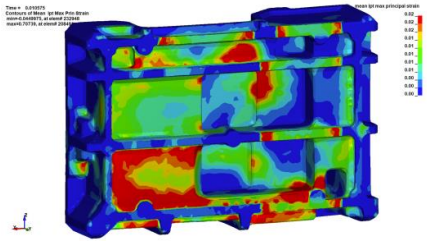
## Umwelt

- Styroporreduktion >20%

# Vision





Optimierungsschlaufen während Konzeption durch Simulation.

→ Planbar ✓

→ viele Daten (durch Simulation und Verifikation)! ✓

→ Kostengünstig / kürzere Validierung [✓]

# Fazit

Das Hauptziel, die wirkenden G-Kräfte in der Maschine zu simulieren wurde erreicht.

→ Die Simulation stimmt gut mit realem Test überein (ca. +/-15%)

Grössere Abweichungen zur Realität wurden in denjenigen Falllagen festgestellt, in welcher das Zubehör einen Einfluss haben kann.

→ Die Zubehörcharakteristik muss berücksichtig werden (keine Starrkörper Simulation)

Wirkende Kräfte auf das zu verpackende Produkt können visualisiert und bewertet werden und führen so zu einer ganzheitlichen Betrachtung der Verpackungslösung und eindeutigen Auslegungsgrenzen für Verpackung und Produktedesign.

→ Klare Auslegungskriterien für Maschine und Verpackung werden möglich

# Fazit

Versagenskriterien für Maschine und Verpackung sind schwierig abzuschätzen aufgrund mangelnder Erfahrung und unterschiedlichen Materialmodellen und der Vielfalt an Auswertungsmöglichkeiten.

→ Die Animation der Simulation hilft dem Verständnis der Kraftflüsse für Optimierungen in Kombination mit der realen Validierung

Der Simulationsansatz ist in der Entwicklungsphase etwas teurer, rechnet sich aber über die Einsparpotenziale und Qualitätsverbesserungen für Verpackungen in grösseren Mengen sehr schnell

→ Die erzielten Ergebnisse amortisieren die Simulationsinvestition innerhalb des ersten Produktionsjahres

# Fazit

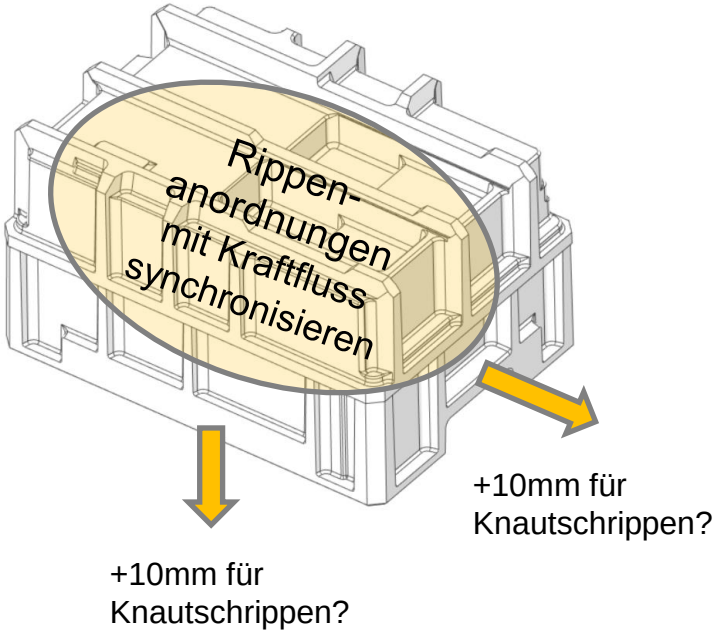
Die Kombination von Verpackungsexperten, Produktwissen und Simulation führt zu leistungsfähigen, wirtschaftlichen und ressourcenschonenden Verpackungslösungen.

→ Eine Verpackung sollte produktebegleitend, zusammen mit Experten entwickelt werden

Der Aufbau einer Simulation braucht viel Simulations-Knowhow

→ Vereinfachungen möglich ohne entscheidenden Qualitätsverlust?

# Ausblick

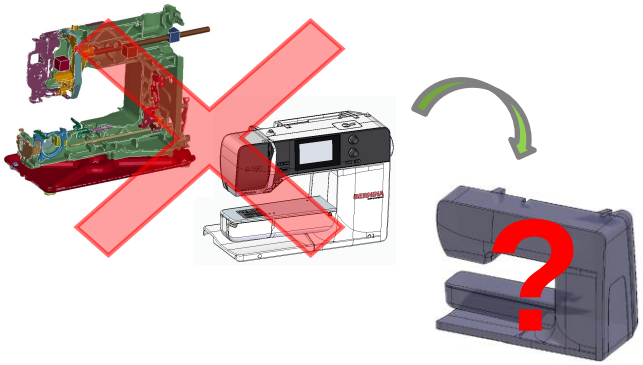



<u>Next Steps für Produkteprojekt:</u>

- Konzept 2 optimieren basierend auf Resultaten aus virtuellem Falltest
- Realer Falltest zur finalen Validierung
- Industrialisierung und Freigabetests

<u>Next Steps für Grundlagenprojekt Falltestsimulation:</u>

- Zwei Falllagen simulieren mit vereinfachtem Maschinenmodell (Starrer Volumenkörper)



# Q&A