



Energieeffiziente Produkt- und Prozessinnovationen in der Produktionstechnik

Energieeffiziente Produktion – Forschung und Praxis

Energieeffizienz in der Umformtechnik

Dr.-Ing. Verena Kräusel

16.05.2013



Gliederung

- Einleitung
- Handlungsfelder für die Umformtechnik
 - Prozesskettenverkürzung
 - Nullfehler-Produktion
 - Nullabfall-Produktion
 - Null-Kreislauf-Verluste
- Beispiel: eniPROD - Prozesskette Zellstrukturen

Einleitung

Beispiel: Karosserieteil-Fertigung

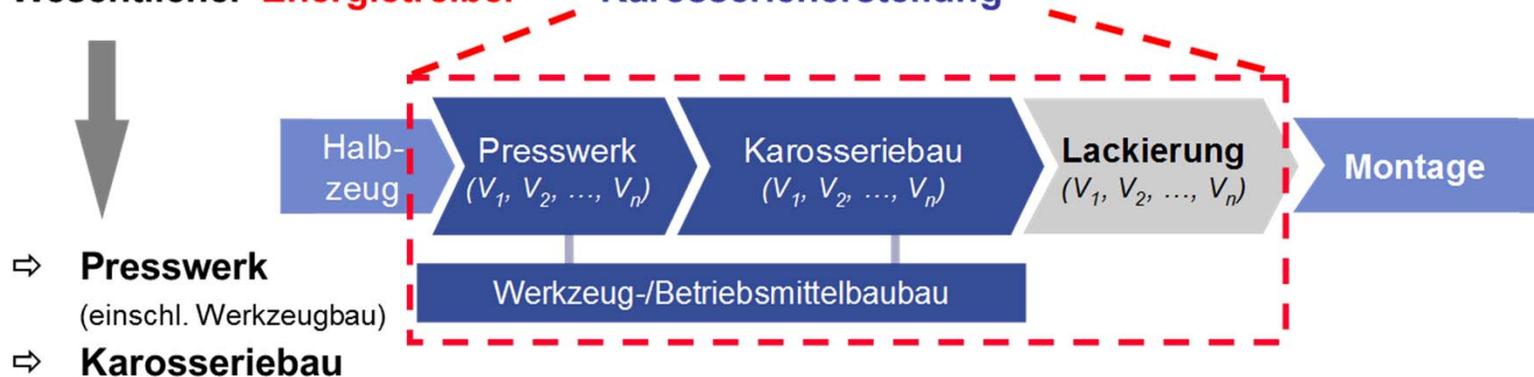
44 GJ = Freiwerdende Explosionsenergie der zweitstärksten konventionellen Bombe MOAB (entspricht 10,5 t TNT)

Energieaufwand für die Fahrzeugherstellung



Kumulierter Energieaufwand (KEA_W) bezogen auf Gesamtfahrzeug [TUM]

→ Wesentlicher **Energietreiber** – Karosserieherstellung



Einleitung

Beispiel: Karosserieteil-Fertigung

44 GJ = Freiwerdende Explosionsenergie der zweitstärksten konventionellen Bombe MOAB (entspricht 10,5 t TNT)

Energieaufwand für die Fahrzeugherstellung

Bauteilherstellung	Karosserie	→ 26,6 %
- Prozesse		
- Einrichtungen	Fahrwerk	→ 21,4 %
- Werkzeuge		
Fabrikbetrieb		
- Infrastruktur		
- Logistik		
Kumulierter Energieaufwand		



„Der **Kumulierte Energieaufwand** ermöglicht die energetische Beurteilung und den Vergleich von Produkten und Dienstleistungen.“

Die ... Daten des Kumulierten Energieaufwandes bilden eine wichtige Basis, um die **Prioritäten von Energieeinsparpotenzialen** in ihrem komplexen Zusammenhang zwischen Konstruktion, Herstellung, Nutzung und Entsorgung aufzuzeigen.“

Quelle: VDI 4600

→ Karosseriebau

Einleitung

Beispiel: Herstellung von Powertrain-Komponenten

Energieaufwand für die Fahrzeugherstellung



Kumulierter Energieaufwand (KEA_{IT}) bezogen auf Gesamtfahrzeug [TU M]

→ Wesentlicher **Energietreiber** – Herstellung Fahrwerk/Antriebsstrang

↓
**Verfahren der
Massiv-Umformung**
(kalt, halbwarm, warm)

Potenziale

Bauteil

- z. B. Leichtbau, Funktionsintegration, ...

Prozess/Prozesskette

- z. B. Verkürzung

Werkzeug

- z. B. Bauweisen, Werkstoffe, Re-Konfigurierbarkeit, ...

Fertigungseinrichtungen

- z. B. Niedrigenergie-Umformmaschinen, ...

Handlungsfelder

- Prozesskettenoptimierung
 - ⇒ **Prozesskettenverkürzung**
 - ⇒ Verfahrensintegration
- Prozessstabilisierung
 - ⇒ **Nullfehler-Produktion**
- Netshape-Technologien
 - ⇒ **Null-Abfall-Produktion**
- geschlossene Energie- und Ressourcenkreisläufe
 - ⇒ **Null-Kreislauf-Verluste**
 - ⇒ Recycling

Durch Prozesskettenverkürzung und Verfahrensintegration ist je nach Umfang der Applikationen und ihrer Interoperabilität eine Steigerung der Ressourceneffizienz um bis zu 30 Prozent zu erreichen.

Blech- und Stanzabfälle werden zurzeit über Altmetallhändler dem Stahlrecycling zugeführt. Das direkte Wiederverwenden dieser Abfälle erfolgt bisher nur marginal in einzelnen Unternehmen.



Stellfaktoren für die Energieeffizienz in der Blechumformung

Bauteil



- kleine Ziehtiefe
- geringe Zugfestigkeit
- gute Umformbarkeit
- geringer Verschnitt

Umformanlage



- hohe Ausbringung und Verfügbarkeit
- Rückspeisung von Bremsenergie
- Erhöhung des Wirkungsgrades von Einzelkomponenten
- Reduzierung der Nebenzeiten
- Abschalten von Verbrauchern bei Anlagenstillstand

Werkzeug



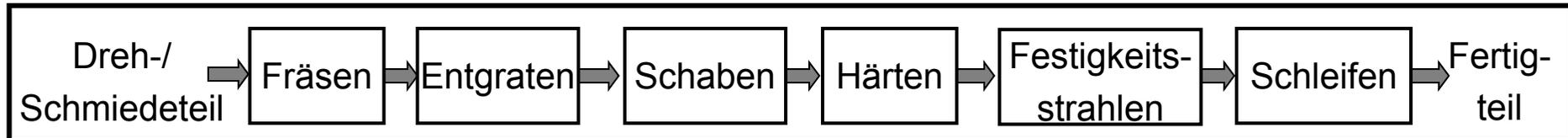
- einfache Teilelage
- Verschleißfestigkeit
- hohe Steifigkeit
- kleine Einbauhöhe
- kleine Abmessungen

Quelle: Schuler AG

6

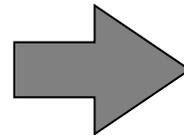
Prozesskettenverkürzung

Effizienztechnologien – Walzen von Hochverzahnungen



Handlungsbedarf:

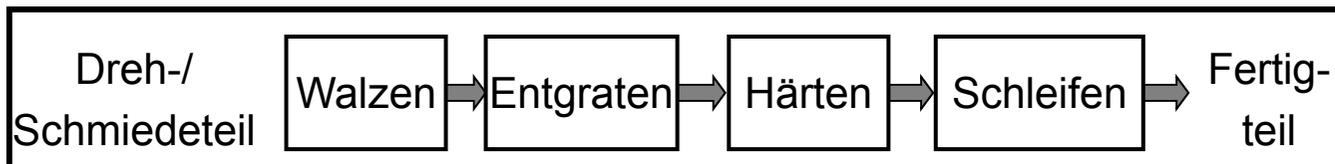
- spanende Bearbeitung
- Prozessstufen
- **Prozessdauer**
- Wärmebehandlung



Optimierungsansatz:

Prozesskettenverkürzung durch
Verfahrenssubstitution
(Umformen statt Spanen)

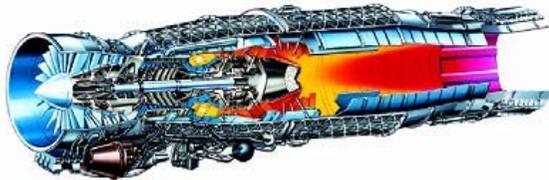
Neue Prozesskette



7

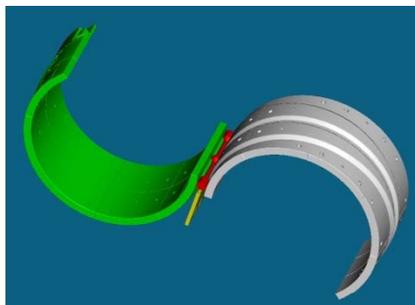
Prozesskettenverkürzung

Effizienztechnologien – Verfahrenssubstitution durch Querwalzen



Schnitt des EJ 200
aus Eurofighter
© MTU Aero Engines

CAD-Modell
Querwalzwerkzeug



Rohteil

Querwalzen
Doppelteil

neue Prozesskette:



Trennen Vorstauchen
Fuß Vorstauchen
Deckband



Vorschmieden Fertigschmieden

Einsparung von **drei Stauchstufen** zur Zwischenformung durch Querwalzen von Doppelteilen

Material-
einsparung

17 %

Energie-
einsparung

28 %

Prozesssicherheit – Erhöhung der **Simulationsgenauigkeit**

Auflösung von Defiziten
hohe Prozesssicherheit

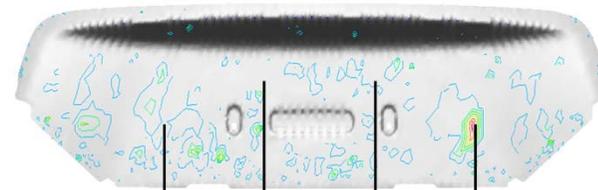


- Beherrschung **Rückfederung**
- Erkennen von **Oberflächenfehlern**
- **Innovative Fertigungsverfahren**
 - wirkmedienbasierte Umformprozesse
 - temperaturunterstützte Umformprozesse
 - Nutzung von Geschwindigkeitseffekten

- ➔ geeignete **Werkstoffmodelle**
- ➔ relevante **Werkstoffkennwerte** mit hoher **Genauigkeit**

z. B. Berücksichtigung von
Geschwindigkeit / Temperatur

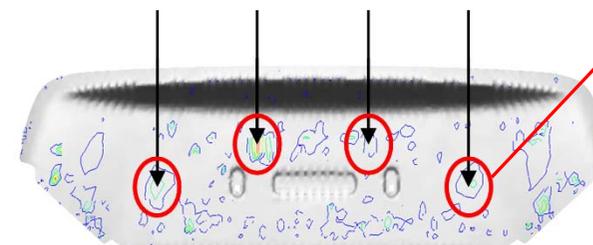
- ➔ geeignete **Methoden** zur **Kennwertermittlung**



vor
Rückfederung

Berechnung von **Einfallstellen**

ISOLINIEN zur
besseren
Erkennung



nach
Rückfederung

Nullfehler-Produktion

Online-Prozessüberwachung – Beispiel Längsträger

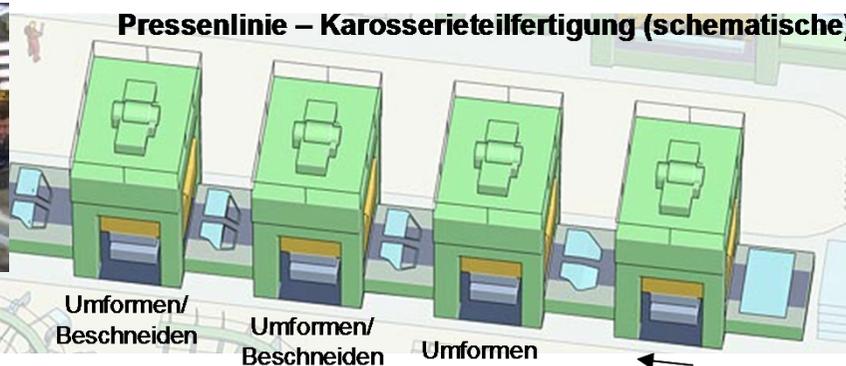
Ausgangssituation:

12,3 % Ausschuss

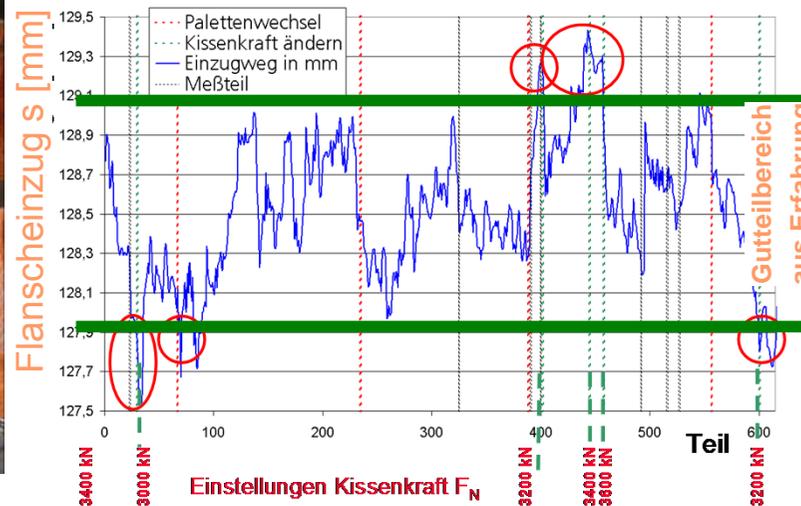
(77 Teile von 622)



Sichtprüfung



Flanscheinzugsmessung



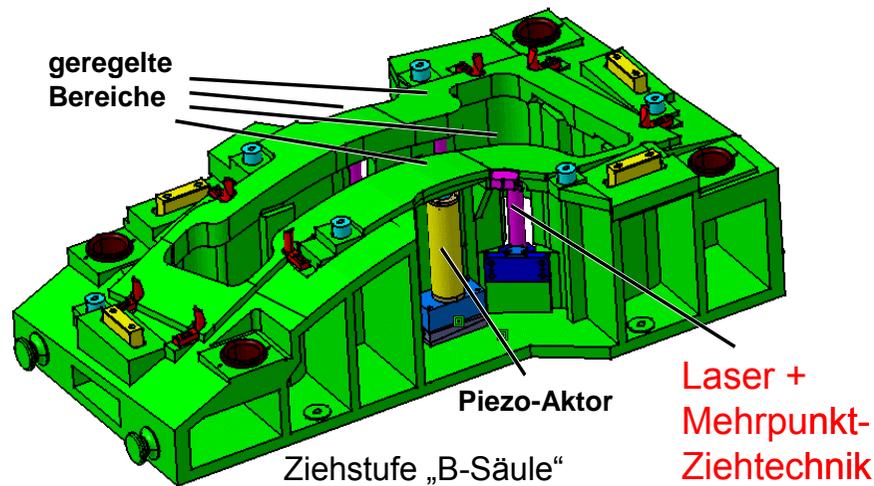
- ⇒ Detektierung von Tendenzen
- ⇒ frühzeitiges Reagieren auf Prozessänderungen
- ⇒ Festlegung von Maßnahmen, oder Basis für geregelten Prozess

Erreichte Effekte

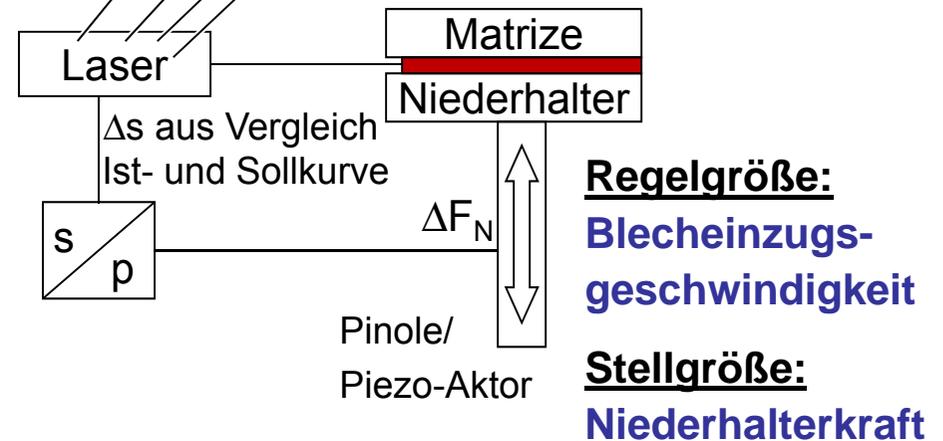
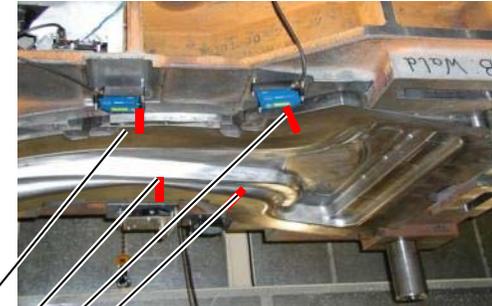
Ausschussreduzierung ⇒ < 2 %

Online-Prozessüberwachung – Beispiel B-Säule

- durch: „**intelligentes**“ **Maschinensystem**
(z. B. Mehrpunkt-Ziehkissenteknik)
- oder - „**intelligentes Werkzeug**“
(Piezo-Aktor-System)
- **geeigneten Niederhalter**
(Auslegung -> flexible Gestaltung)



Flanscheinzugsmessung



Effizienztechnologien – Hochgeschwindigkeitsscherschneiden HGSS

Prozesscharakterisierung

- Werkstoffversagen entlang von **adiabatischen Scherbändern** (Temperaturanstieg ($\approx 800 \dots 1000 \text{ }^\circ\text{C}$) in kurzer Zeit ($< 100 \text{ ms}$) in lokal begrenztem Bereich ($< 100 \text{ }\mu\text{m}$)
 - ➔ kein **Wärmetransfer** in Umgebung
 - ➔ „**adiabatische Erweichung**“
- Voraussetzung: Stempelgeschwindigkeiten $> 10 \text{ m/s}$

Effekte

- hohe **Schnittflächenqualität**
 - nahezu kein Grat
 - geringer Kanteneinzug
 - feinstrukturierte Trennfläche
- Reduzierung der Nacharbeit/**Werkstoffeinsparung**
 - kein Schmierstoff
 - keine Späne
 - kleine Stegbreiten

Werkstoff: S500MC / 1.0984
Blechdicke: $s_0 = 10,0 \text{ mm}$



Anlage ADIA 7
(Fa. ADIAPRESS)
max. Energie: 7 kJ
max. Stempelgeschwindigkeit: 10 m/s

Werkstoff: 42CrMo4
D = 40 mm



Tiefziehen (Arbeitsbedarf)

Ausgangssituation

erforderliches Arbeitsvermögen
aus Umformprozess

$$A_Z = \int_{h_Z}^0 F(h_Z) * dh_Z + \frac{F_{ZE}^2}{2c_{Pr}}$$

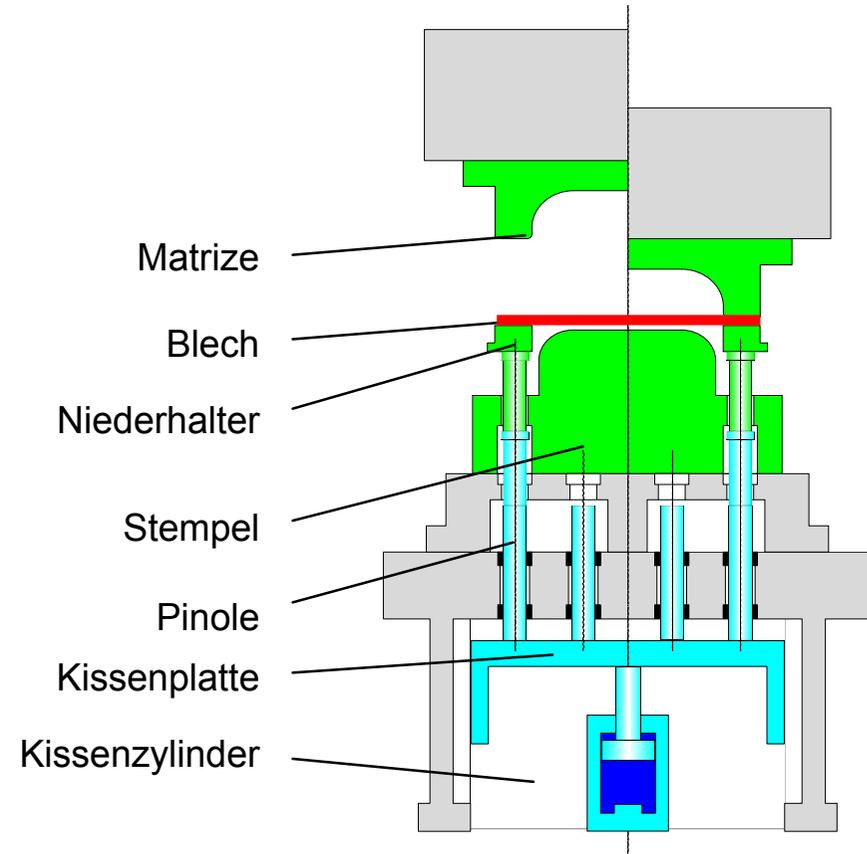
Umformarbeit
+
Kissenarbeit

**Ziehkissenenergie wird heute
„vernichtet“**



(wird als Wärme an Umgebung abgegeben)

“Konventionelles” Ziehkissen

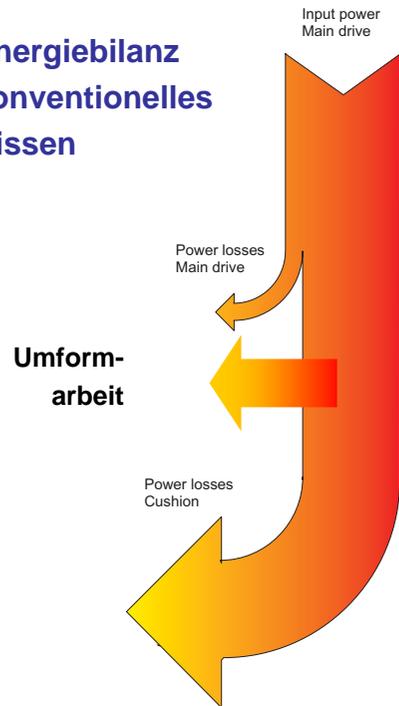


Energiekreisläufe – Ziehkissen

Handlungsbedarf

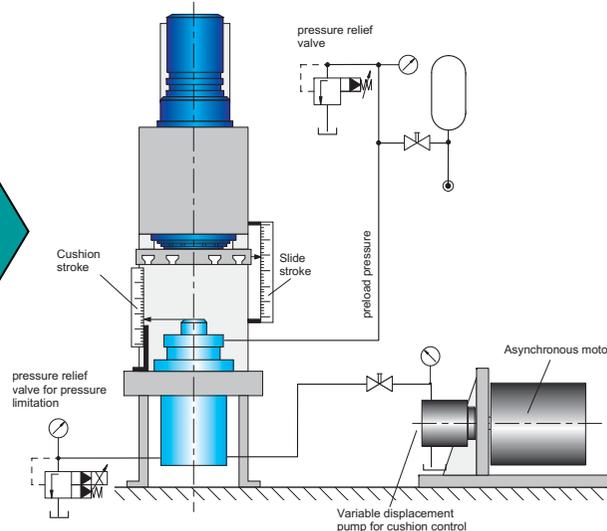
hohe **Energieverluste** bei Kraftregelung mit Ventil als Steller

Energiebilanz konventionelles Kissen

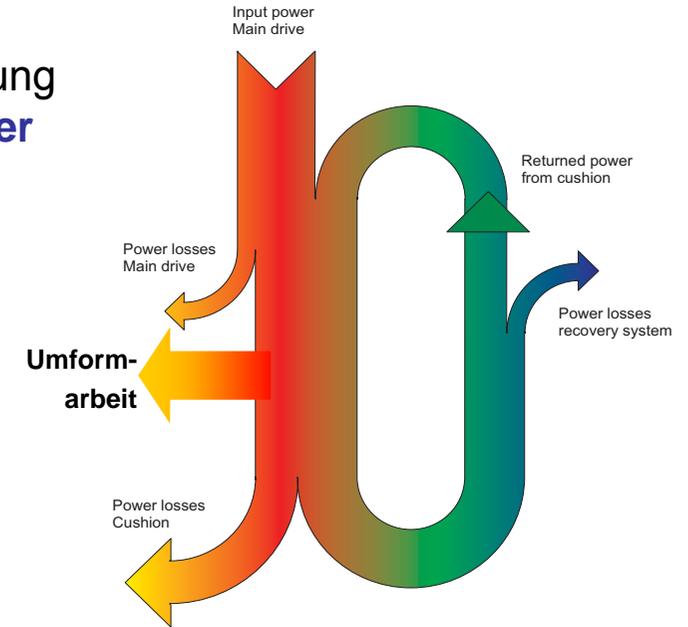


Lösung

- Ziehkissen mit Kraftregelung und **Verdränger als Steller**
- **Energiespeicher**
 - Hydraulikspeicher
 - Schwungrad
 - elektrischen Speicher



Energiebilanz modifiziertes Kissen



Energierückgewinnung

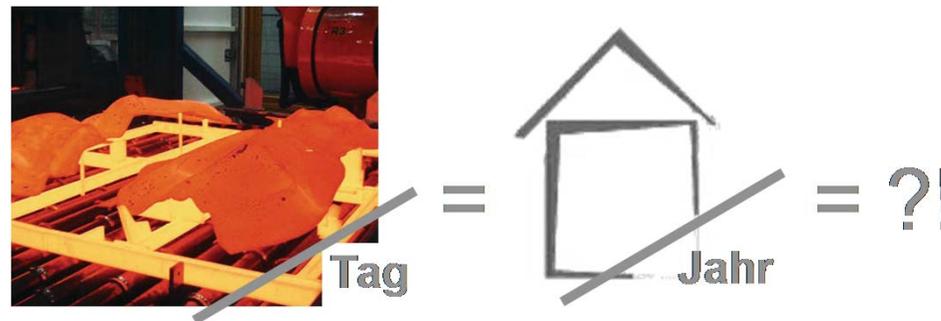
bis zu 65 %

(im Vgl. zum klassischen Kissenantrieb)

Energetische Betrachtung von Prozessen der Blechwarmumformung am Beispiel des Presshärtens (Formhärten)

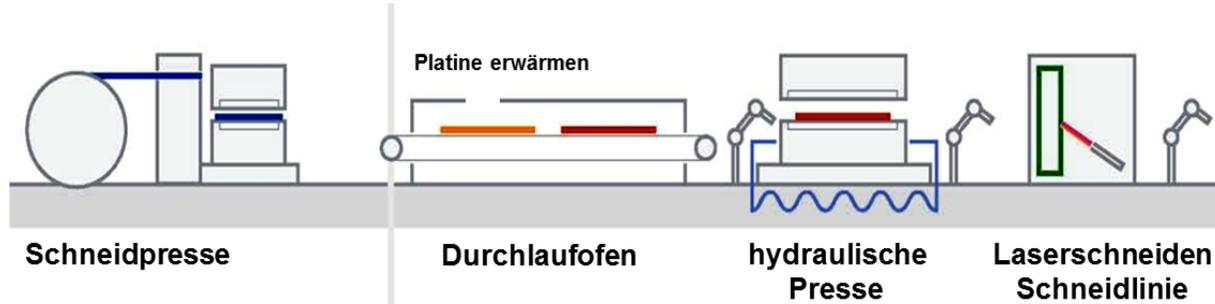
„Der Presshärtprozess ist mit hohen Energieaufwendungen verbunden. Die Anlage benötigt am Tag soviel Erdgas wie ein Einfamilienhaus pro Jahr.“

(VW Konzern, Dr. Krinke)

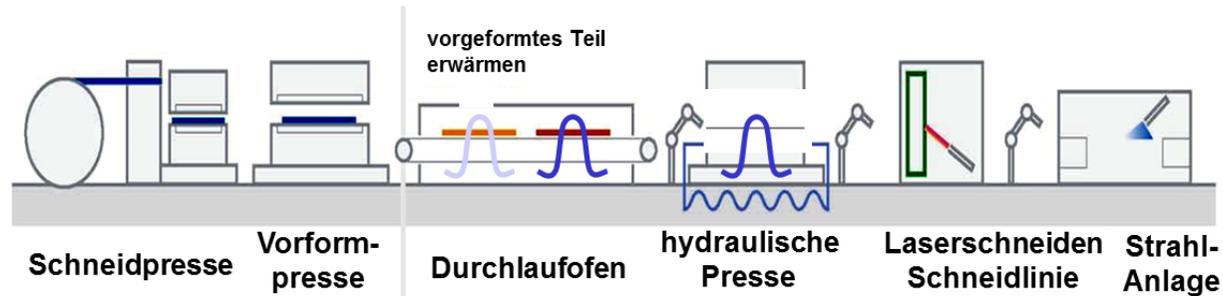


Prozesskette des Presshärtens

▶ direktes Verfahren



▶ indirektes Verfahren

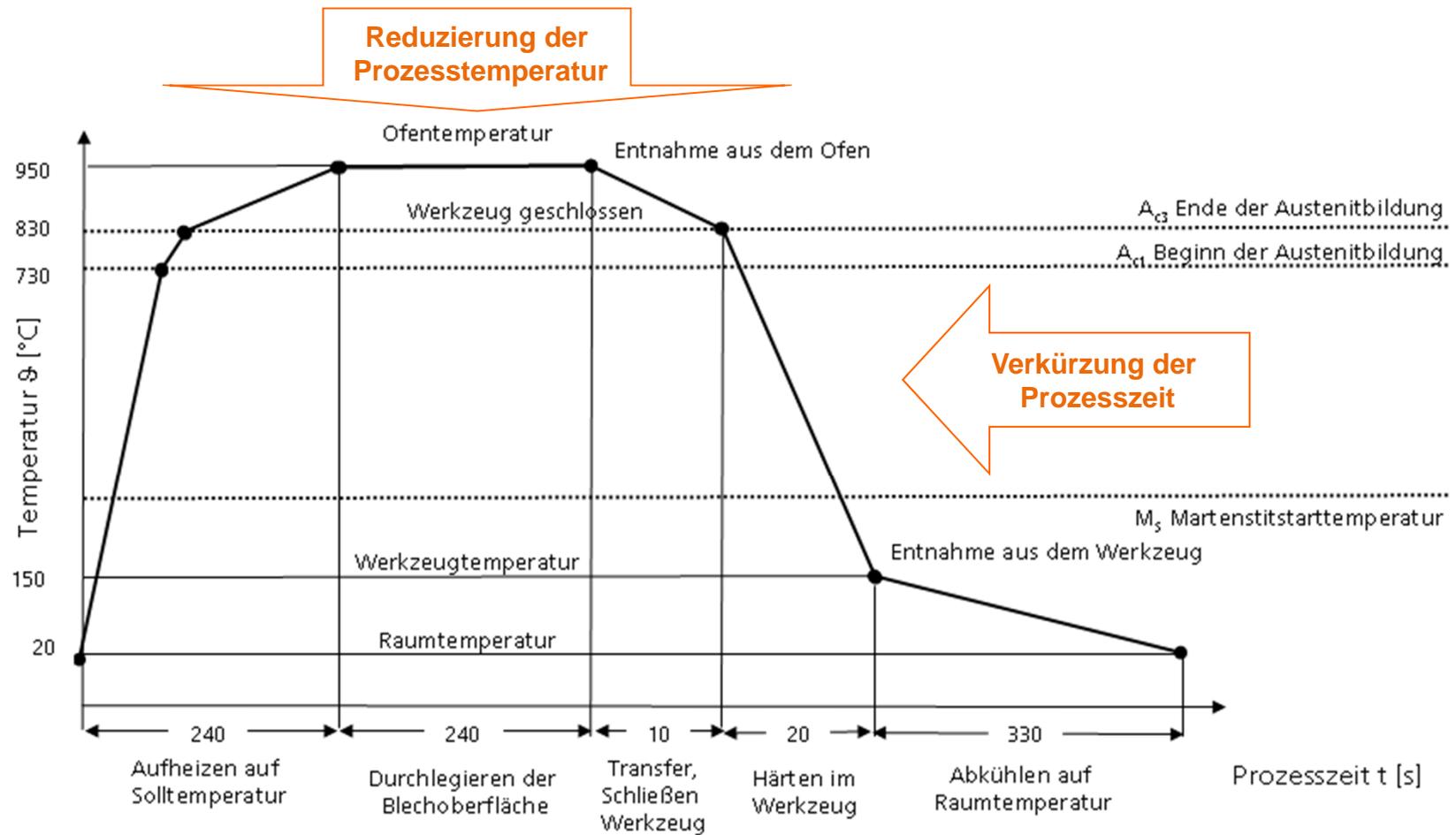


Quelle: VW AG

6 Hydraulik Pressen

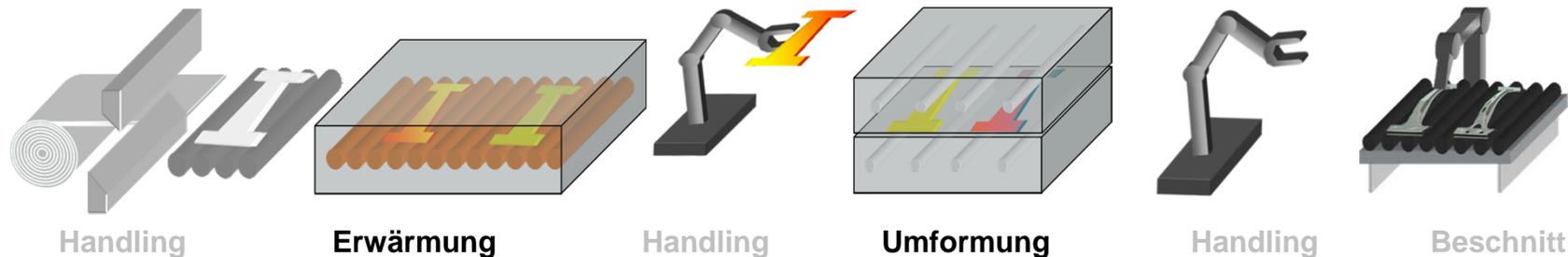


Technologie des Presshärtens



Energetische Bilanzierung und Bewertung von Prozessketten

- Energie- und Materialflussbilanzierung unter Beachtung der technologischen Einflussgrößen



Werkstoffuntersuchungen

- Ermittlung der thermischen und mechanischen Werkstoffkennwerte zur Erstellung von erweiterten Materialmodellen

Umformtechnische Untersuchungen

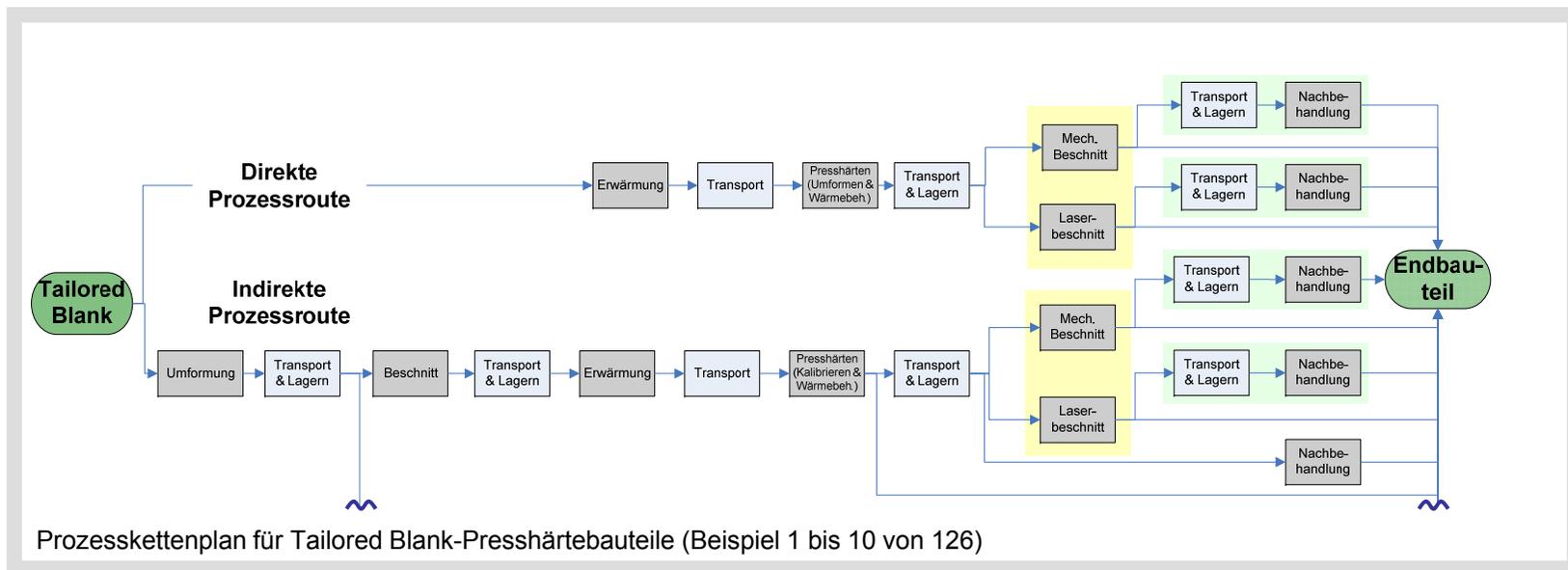
- Ermittlung eines energetisch und technologisch optimalen Prozessfensters
- Qualifizierung geeigneter Simulationsstrategien

Demonstratorwerkzeug

- Intelligente Werkzeugtechnik zur numerischen Verifizierung des ermittelten Prozessfensters am Demonstratorwerkzeug B-Säulenfuß

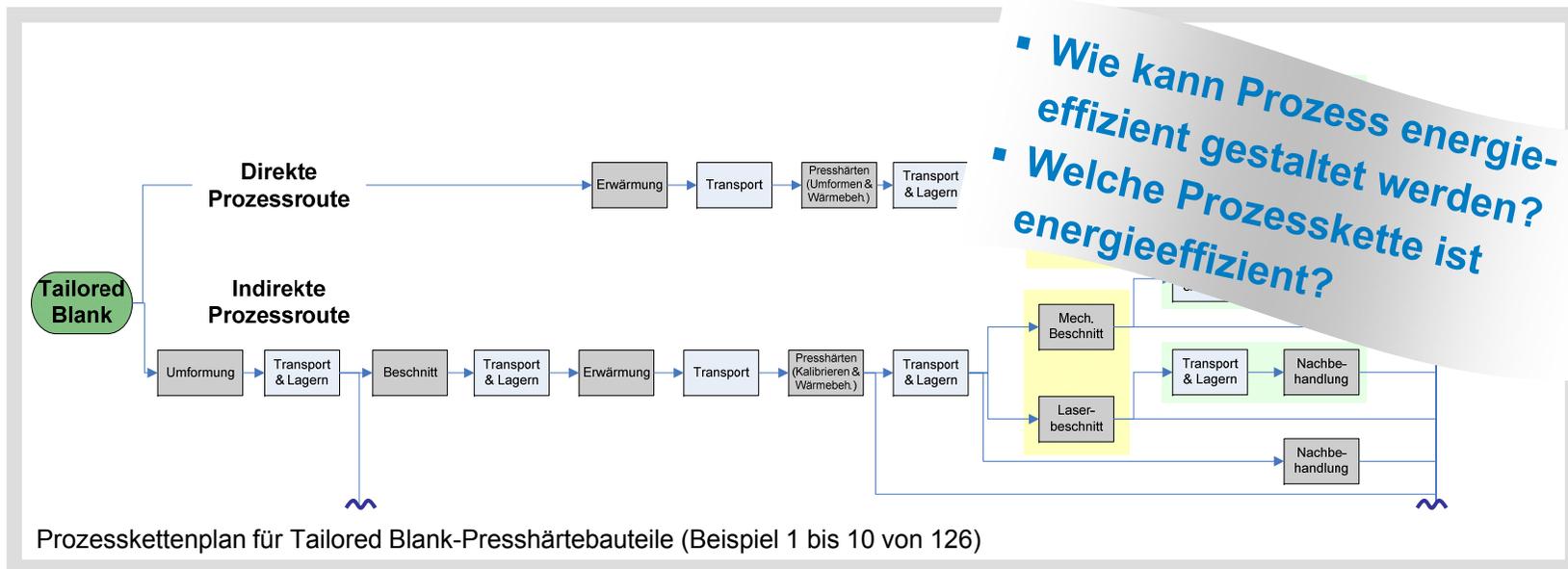
Entwicklung von **Methoden, Standards und Gestaltungswerkzeugen** für die energetische Bewertung von Prozessen und Prozessketten

- 1 Presshärtebauteil → **126 technisch sinnvolle Prozessketten**
- Prozesskettenauswahl basiert auf **8 technischen Entscheidungen**
- **energiesensitive Prozessparameter** nur abschätzbar



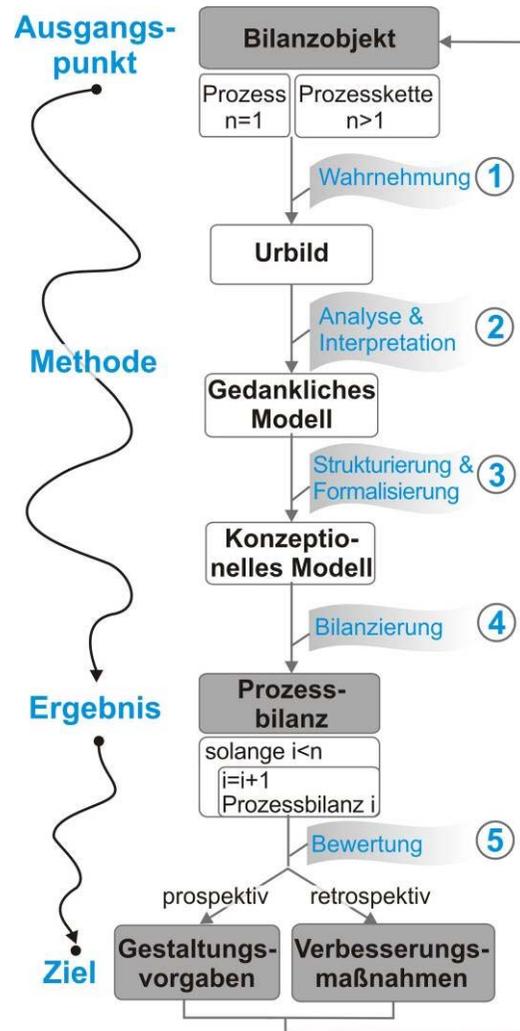
Entwicklung von **Methoden, Standards und Gestaltungswerkzeugen** für die energetische Bewertung von Prozessen und Prozessketten

- 1 Presshärtebauteil → **126 technisch sinnvolle Prozessketten**
- Prozesskettenauswahl basiert auf **8 technischen Entscheidungen**
- **energiesensitive Prozessparameter** nur abschätzbar



eniPROD: Prozesskette Zellstrukturen

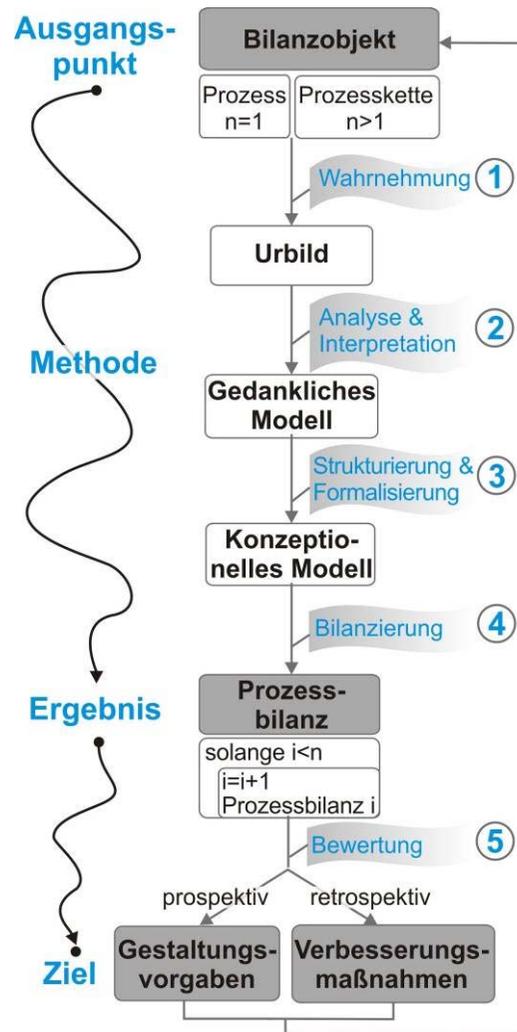
Prozedur zur
Energie- und
Materialfluss-
bilanzierung
(PEMB)



n ... Anzahl der Prozessschritte
i ... Zählindex mit $i_0=1$

eniPROD: Prozesskette Zellstrukturen

Prozedur zur
Energie- und
Materialfluss-
bilanzierung
(PEMB)



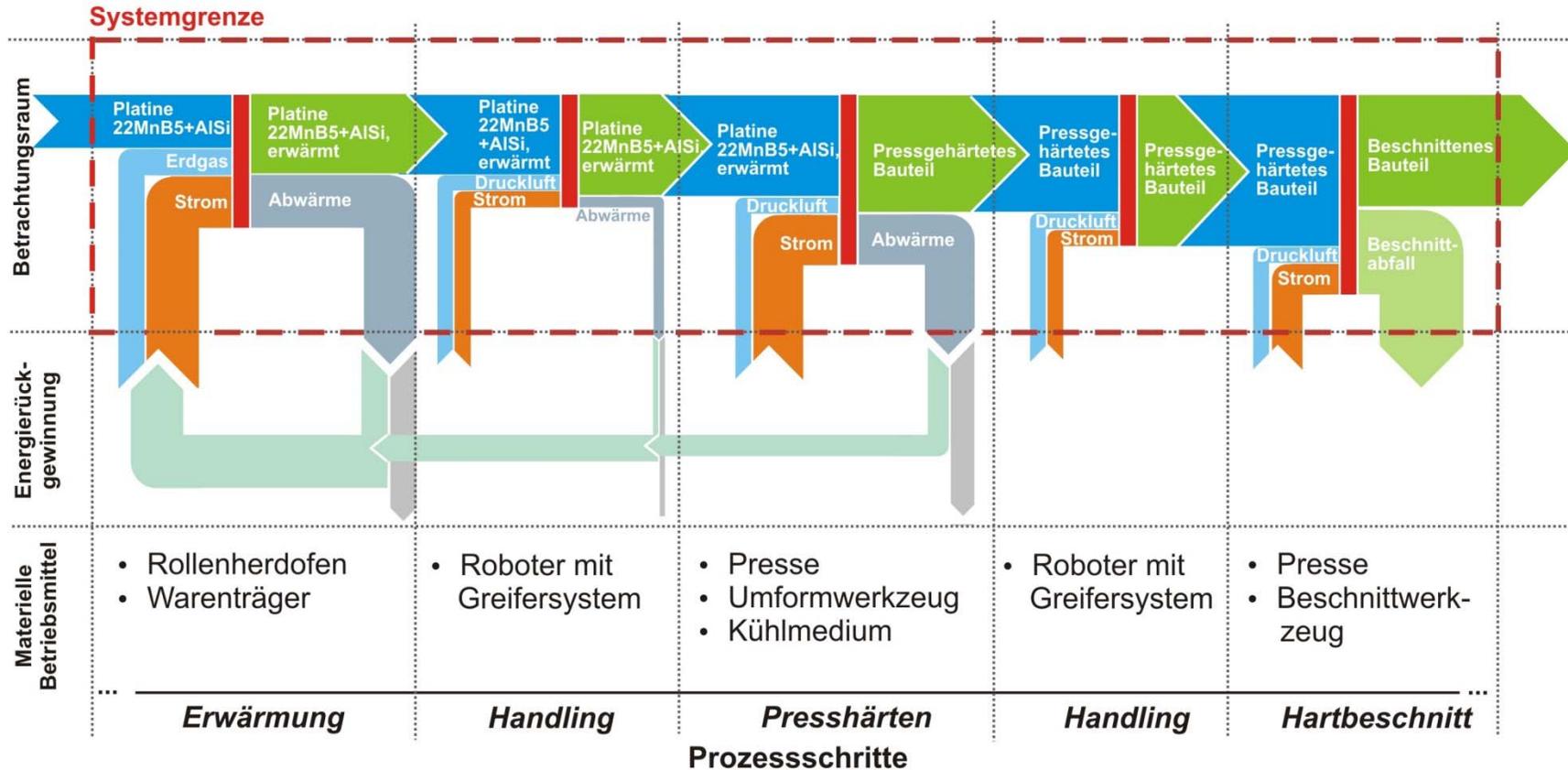
n ... Anzahl der Prozessschritte
i ... Zählindex mit $i_0=1$

1. Teil:
Erfassen & Abbilden

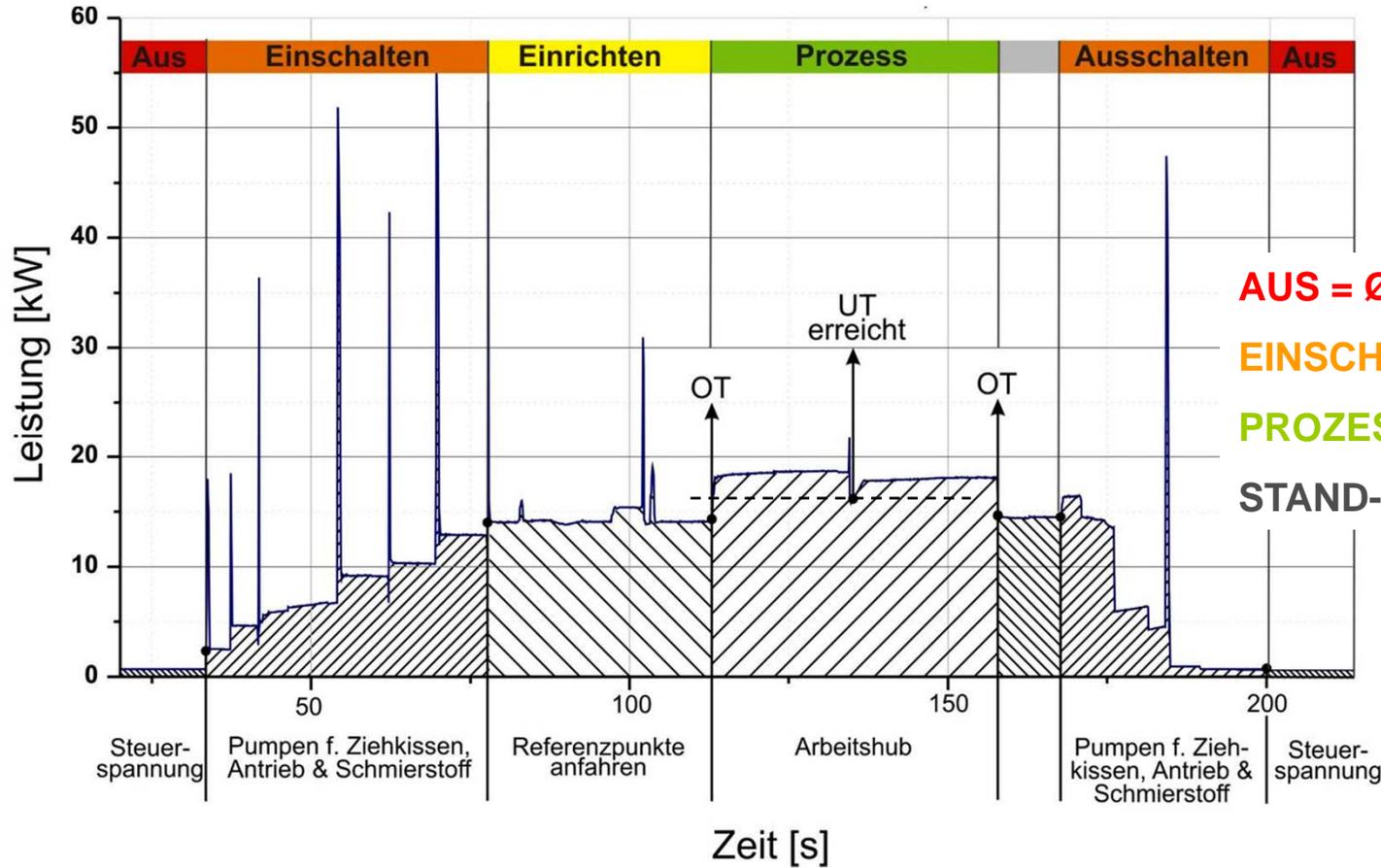
2. Teil:
Bilanzieren

3. Teil:
Bewerten

Prinzipieller Energiefluss beim Presshärten



Leistungs-Zeit-Verlauf der hydraulischen Presse PYZ



AUS = Ø 0,7 kW

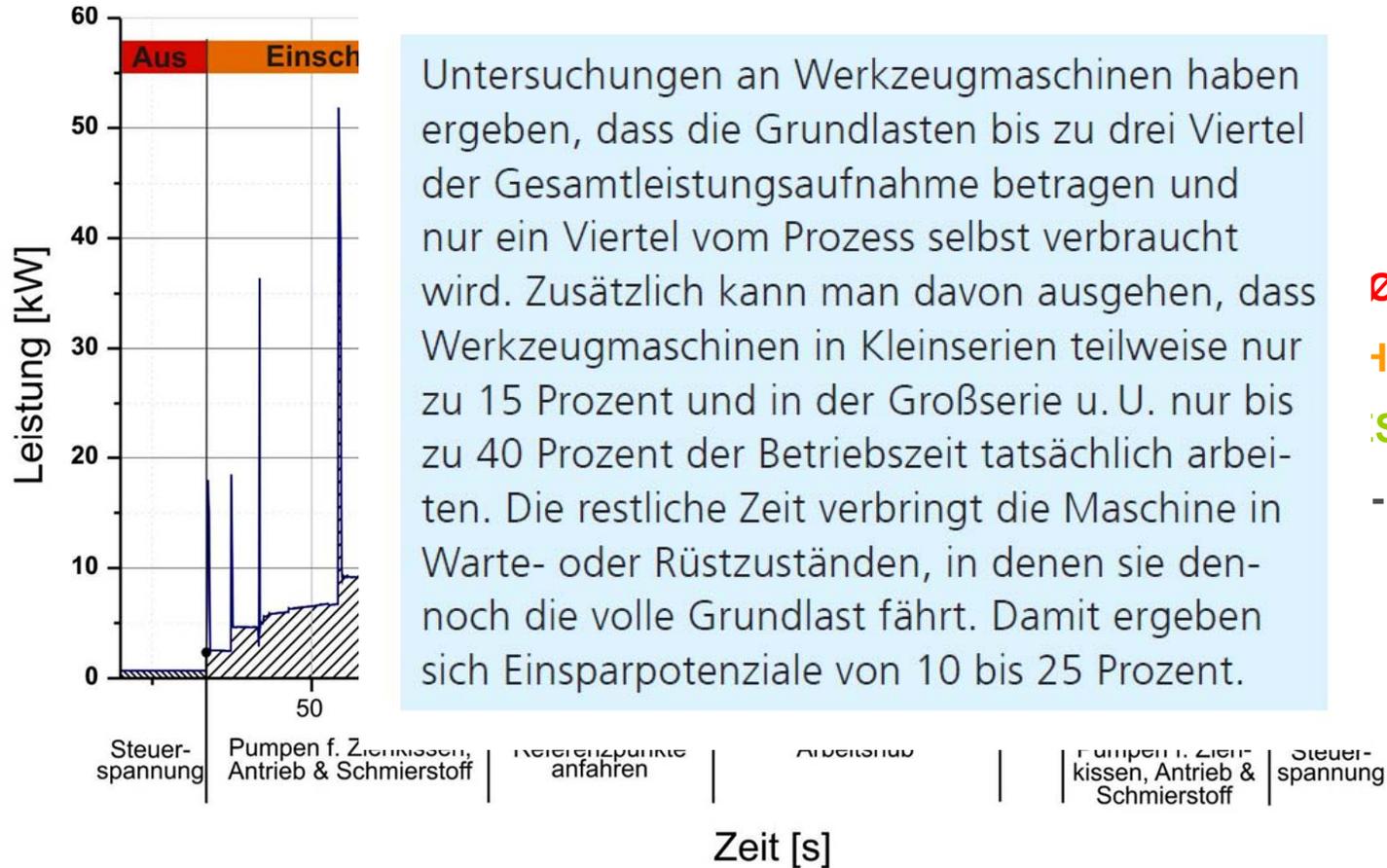
EINSCHALTEN = max. 55 kW

PROZESS = Ø 18,5 kW

STAND-BY = Ø 14,6 kW

Hydr. Zweiständerpresse PYZ
 Typ: 250/1600x1250/750
 Anschlussleistung: 110 kW
 Weggesteuerter Leerhub
 Hubweg: 670 mm
 Hubzahl: 0,9 min⁻¹

Leistungs-Zeit-Verlauf der hydraulischen Presse PYZ



Untersuchungen an Werkzeugmaschinen haben ergeben, dass die Grundlasten bis zu drei Viertel der Gesamtleistungsaufnahme betragen und nur ein Viertel vom Prozess selbst verbraucht wird. Zusätzlich kann man davon ausgehen, dass Werkzeugmaschinen in Kleinserien teilweise nur zu 15 Prozent und in der Großserie u. U. nur bis zu 40 Prozent der Betriebszeit tatsächlich arbeiten. Die restliche Zeit verbringt die Maschine in Warte- oder Rüstzuständen, in denen sie dennoch die volle Grundlast fährt. Damit ergeben sich Einsparpotenziale von 10 bis 25 Prozent.

- Ø 0,7 kW
- HALTEN = max. 55 kW
- SS = Ø 18,5 kW
- BY = Ø 14,6 kW

Hydr. Zweiständerpresse PYZ
 Typ: 250/1600x1250/750
 Anschlussleistung: 110 kW
 Weggesteuerter Leerhub
 Hubweg: 670 mm
 Hubzahl: 0,9 min⁻¹

Vergleich von Pressenkonzepten und Prozessparametern

E_{MuA} ... Grundenergie
 E_{Proz} ... Wirkenergie
 t_{Takt} ... Taktzeit
 P_L ... Leerlaufleistung

Prozesswirkungsgrad $\eta_{Proz} = \frac{E_{Proz}}{E_{Scher}} = \frac{E_{Proz}}{(E_{Proz} + E_{MuA})}$
 mit $E_{MuA} = P_L \cdot t_{Takt}$

Hydraulische Zweiständerpresse PYZ

$P_L = 14,6 \text{ kW}$
 (unabhängig von Hubzahl)
 $E_{proz} = 1,65 \text{ kJ}$
 $E_{MuA} = 175,2 \text{ kJ}$

$n = 5 \text{ min}^{-1}$

$\eta_{Proz PYZ} = 0,93 \%$

+ 46 %



Mechanische Stufenpresse PE4-HHTr

$P_{L,5} = 10 \text{ kW}; P_{L,20} = 32 \text{ kW}$
 (abhängig von Hubzahl)
 $E_{proz} = 1,65 \text{ kJ}$
 $E_{MuA,5} = 120,0 \text{ kJ}; E_{MuA,20} = 96,0 \text{ kJ}$

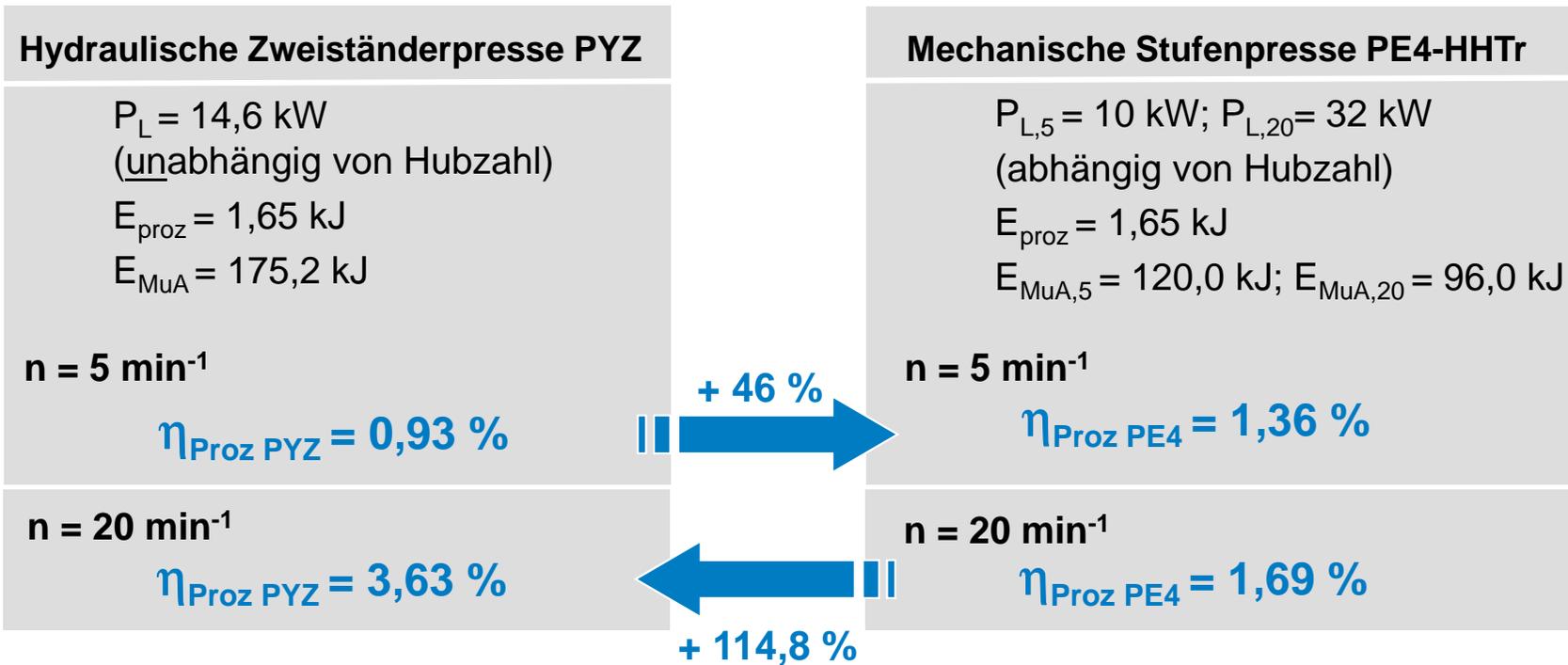
$n = 5 \text{ min}^{-1}$

$\eta_{Proz PE4} = 1,36 \%$

Vergleich von Pressenkonzepten und Prozessparametern

E_{MuA} ... Grundenergie
 E_{Proz} ... Wirkenergie
 t_{Takt} ... Taktzeit
 P_L ... Leerlaufleistung

Prozesswirkungsgrad $\eta_{Proz} = \frac{E_{Proz}}{E_{Scher}} = \frac{E_{Proz}}{(E_{Proz} + E_{MuA})}$ mit $E_{MuA} = P_L \cdot t_{Takt}$



Vergleich von Pressenkonzepten und Prozessparametern

E_{MuA} ... Grundenergie
 E_{Proz} ... Wirkenergie
 t_{Takt} ... Taktzeit
 P_L ... Leerlaufleistung

Prozesswirkungsgrad $\eta_{Proz} = \frac{E_{Proz}}{E_{Scher}} = \frac{E_{Proz}}{(E_{Proz} + E_{MuA})}$ mit $E_{MuA} = P_L \cdot t_{Takt}$

Hydraulische Zweiständerpresse PYZ

$P_L = 14,6 \text{ kW}$
 (unabhängig von Hubzahl)
 $E_{proz} = 1,65 \text{ kJ}$
 $E_{MuA} = 175,2 \text{ kJ}$

$n = 5 \text{ min}^{-1}$

$\eta_{Proz PYZ} = 0,93 \%$

$n = 20 \text{ min}^{-1}$

$\eta_{Proz PYZ} = 3,63 \%$

Mechanische Stufenpresse PE4-HHTr

$P_{L,5} = 10 \text{ kW}; P_{L,20} = 32 \text{ kW}$
 (abhängig von Hubzahl)
 $E_{proz} = 1,65 \text{ kJ}$
 $E_{MuA,5} = 120,0 \text{ kJ}; E_{MuA,20} = 96,0 \text{ kJ}$

$n = 5 \text{ min}^{-1}$

$\eta_{Proz PE4} = 1,36 \%$

$n = 20 \text{ min}^{-1}$

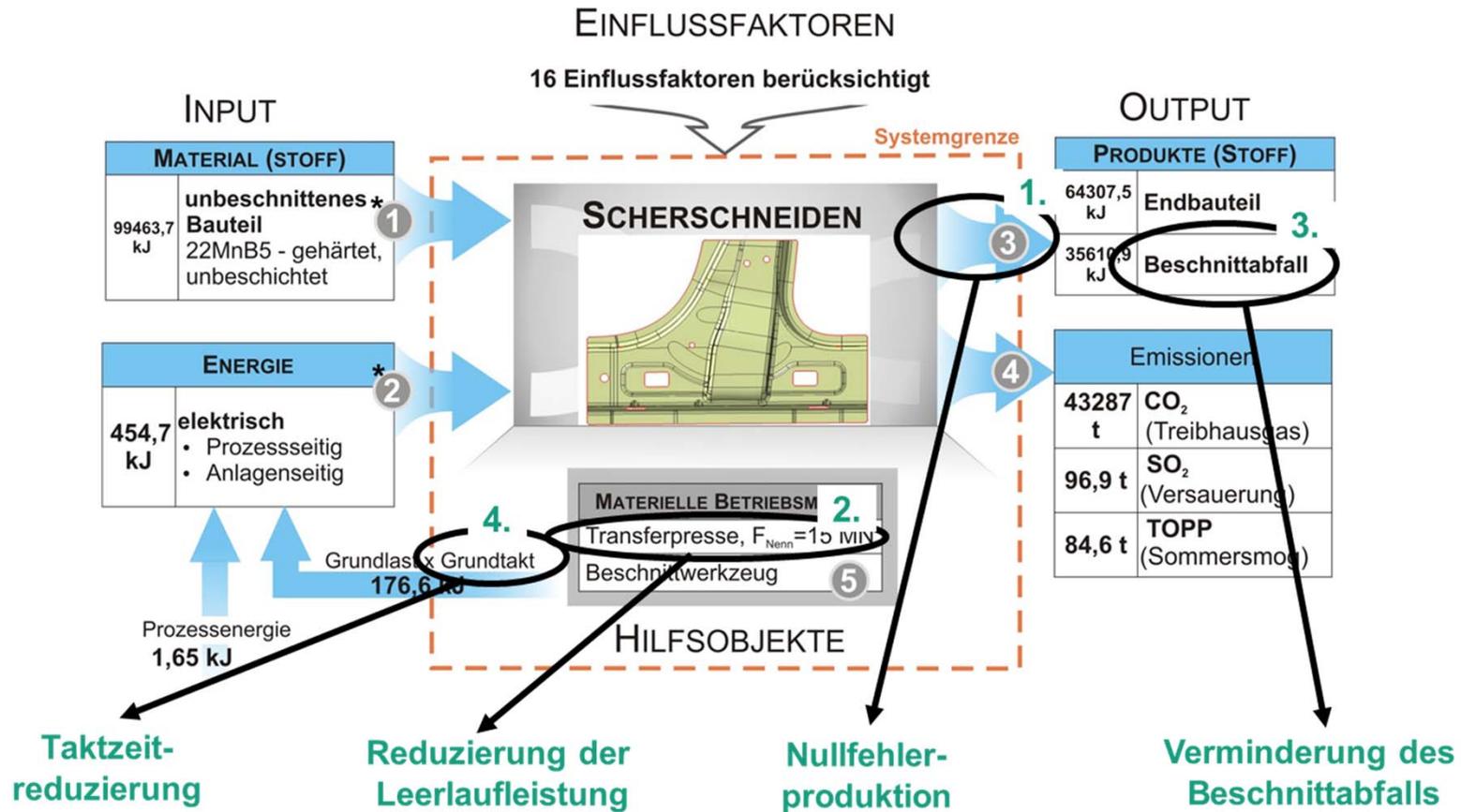
$\eta_{Proz PE4} = 1,69 \%$

+ 46 %



+ 114,8 %

Blechwarmumformung – Energie- und Ressourceneffizienz



* unter Beachtung der für den gesamten Aufwand an Energieressourcen (Primärenergien) zur Bereitstellung eines Produkts benötigten Energie → Kumulierter Energieaufwand (VDI 4600 und Datenbank ProBas)

TOPP ... quantitativer Ausdruck des bodennahen Ozonbildungspotenzials

Optimierte Prozessketten für die Blechwarmumformung

... leisten insbesondere mit Blick auf die Ressourceneffizienz einen Beitrag für:

- Realisierung einer **Nullfehlerproduktion**
z. B. hohe Prozesssicherheit
- Reduzierung des **Ressourceneinsatzes**
z. B. optimierte Bauteilgeometrie, verminderter Schmierstoffeinsatz
- **Energieeffiziente** Werkzeug-, Maschinen- und Anlagentechnik
z. B. intelligente Werkzeugtechnik
- Reduzierung der Verluste
z. B. Erhöhung des **Materialausnutzungsgrades**
- Optimierung der **Taktzeit**
z. B. Ermittlung geeigneter Prozessfenster

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dieses Projekt wird gefördert von der Europäischen Union aus Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) sowie aus Landesmitteln des Freistaats Sachsen.



Gefördert aus Mitteln
der Europäischen Union

STAATSMINISTERIUM
FÜR WISSENSCHAFT
UND KUNST

Europa fördert Sachsen.



Europäischer Fonds für
regionale Entwicklung

