ACOD Kongress 2010

Matthias Putz

Energieeffizienz
– Potentialsuche in der Prozesskette

Leipzig, 18. Februar 2010

© Fraunhofer IWU
Prof. Neugebauer

Fraunhofer IWU

Energieeffizienz
– Potentialsuche in der Prozesskette

1 Herausforderung – Klimawandel und Ressourcenbegrenztheit

2 Relevanz für die Produktionstechnik

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung
   3.1 Werkzeugbau, Umformtechnik und Presswerk
   3.2 Karosseriebau
   3.3 Powertrain

4 IWU-Forschungsfabrik „Energieeffiziente Produktion“

5 Zusammenfassung

© Fraunhofer IWU

1 Herausforderung – Klimawandel und Ressourcenbegrenztheit

Täglicher Weltverbrauch – Fossile Brennstoffe

10 Mio. t Erdöl

12,5 Mio. t Kohle

7,5 Mrd. m^3 Erdgas

BEGRENZTE verfügbare Reserven !

ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

Neue Wettbewerbsfaktoren für die Produktionstechnik

- **Rohstoffverfügbarkeit + Rohstoffpreise**
  = „Volkswirtschaftliche Spielberechtigung“

- **Geschäftserfolg =**
  f (Qualität, Produktivität, Flexibilität + Energiekosten)

- **Nur Effizienztechnologien führen zu nachhaltigen Wettbewerbsvorteilen**

© Fraunhofer IWU

Energieeffizienz
– Potentialsuche in der Prozesskette

1 Herausforderung – Klimawandel und Ressourcenbegrenztheit

2 Relevanz für die Produktionstechnik

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung
3.1 Werkzeugbau, Umformtechnik und Presswerk
3.2 Karosseriebau
3.3 Powertrain

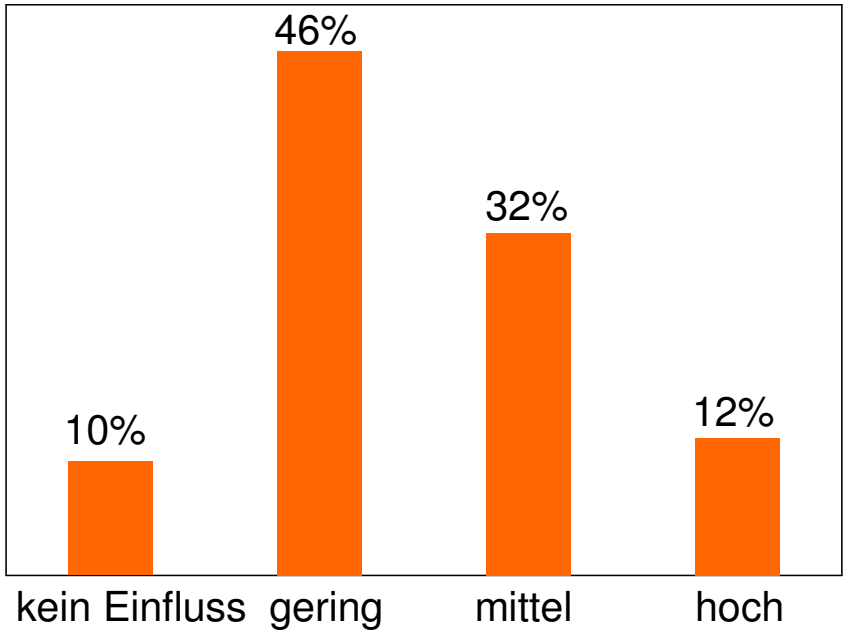
4 Forschungsfabrik „Energieeffiziente Produktion“

5 Zusammenfassung

© Fraunhofer IWU

„Entscheidersicht“ *heute*

1. Einfluss der **Energiekosten** auf **Investitionsentscheidungen**



Quelle: Fraunhofer Gesellschaft, Expertenbefragung, „Untersuchung zur Energieeffizienz in der Produktion“, 2008

2. **Amortisationszeiten** für ressourcensparende Investitionen
   ⇨ **1-3 Jahre**

3. **Ressourcen-Sensibilität/** Änderungsmotivation
   ⇨ **stark unterschiedlich**
   - Energieversorger 2/3
   - **Produktion 1/3**

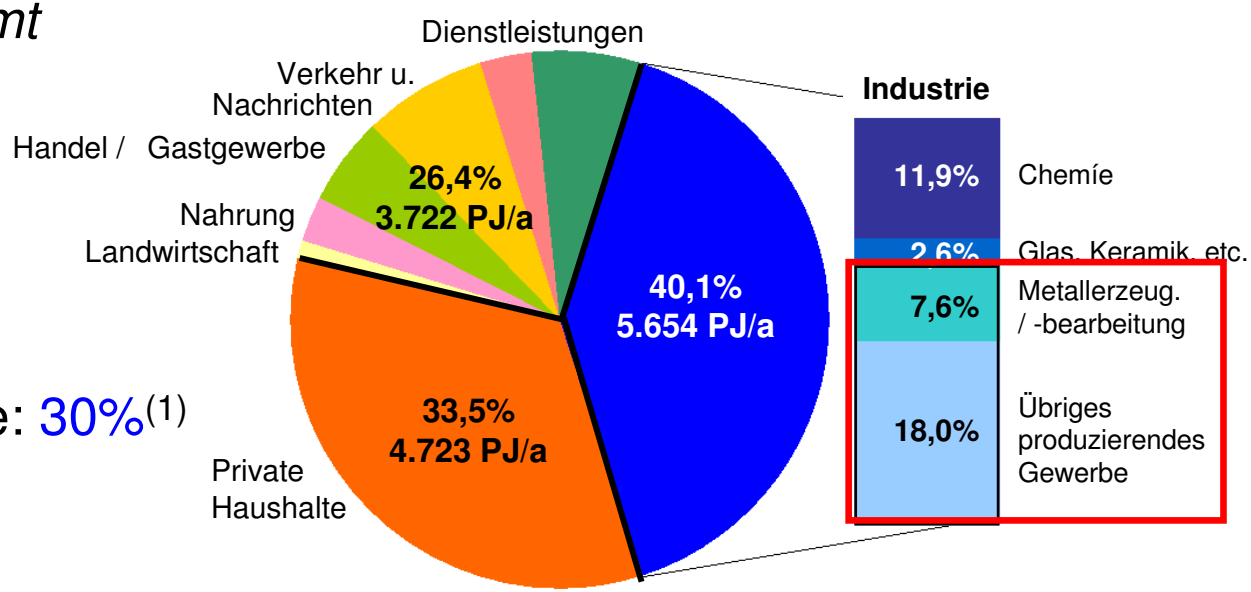
ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

Verbrauchsanteile der Energie in Deutschland

- **verarbeitende Industrie** jährlich:
  → 25,6 % Deutschland - *gesamt*

- **Einsparpotenzial** der Industrie: 30%[1]

Absoluter Primärenergieverbrauch in Deutschland: 14.101 PJ/a
(2005)



Quellen: Statistisches Bundesamt 2007; Fraunhofer Gesellschaft;
[1] Abschätzung aus dem Betrachtungsraum der Untersuchung "Energieeffizienz in der Produktion" 2007

© Fraunhofer IWU

Relevanz für die Produktionstechnik

Beispiel: Automobilindustrie

zu berücksichtigende Forderungen (EU-Kommission): „3-Liter-Auto“, 120 g CO_2 per km

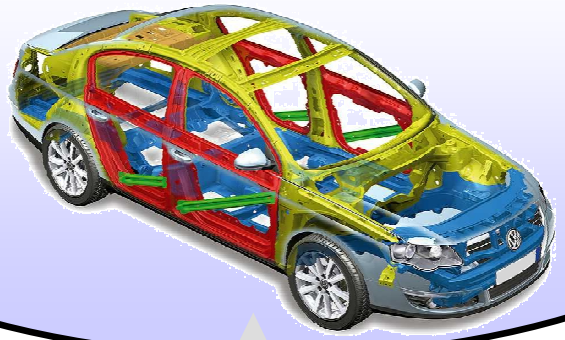
Ressourcenverknappung

Steigende Energie-/Treibstoffkosten
Gesetzliche Bestimmungen
Steigendes Umweltbewusstsein

Nutzung:
Reduzierung
Verbrauch
Emissionen

Herstellung:
bis zu 20 %
des Gesamtenergie-verbrauches
(Lebenszyklus)
!

Fahrzeugfertigung



Widerspruch

Widerspruch

Orientierung zum
Individualismus
(Komplexität ⇧, Varianten ⇧)

ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

Fraunhofer IWU

Relevanz für die Produktionstechnik

Energieaufwand für die Fahrzeugherstellung – Iststand

Bauteilherstellung
- Prozesse
- Einrichtungen
- Werkzeuge

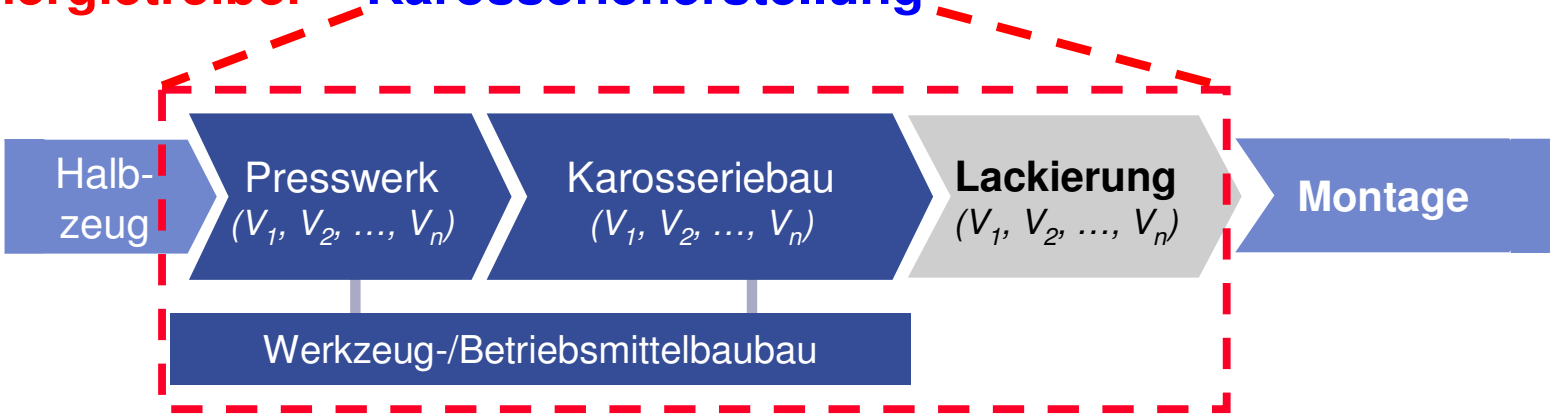
Fabrikbetrieb
- Infrastruktur
- Logistik

Karosserie → 26,6 %
Fahrwerk → 21,4 %
Antrieb → 21,9 %
Ausstattung → 25,7 %
Elektrik → 4,4 %

KEA_H = 71,1 GJ

Kumulierter Energieaufwand (KEA_H) bezogen auf Gesamtfahrzeug [TU M]

Wesentlicher Energietreiber – Karosserieherstellung



© Fraunhofer IWU

INNOVATIONSALLIANZ „GREEN CARBODY TECHNOLOGIES“

Ganzheitlicher Handlungsansatz

Ressourceneffiziente Optimierung der **Prozesskette lackierte Karosserie**

HEUTE

50% Blechabfall (Verschnitt)

12% Ausschuss, Nacharbeit; 65% Energieverl. im Ziehkissen

Energiebedarf Fügen kalt/warm =1/3

Energiebedarf Lackierung Blank/Struktur =1/5

Produktionsplanung: Objektbezug → ganzheitlicher Systembezug

Grenze Betrachtungsraum

Ganzheitliche Planung

Werkzeug-Bau → **Presswerk** → **Karosserie-Bau** → **Lackierung**

MORGEN

→ kosten-, termin- und **ressourcengesteuerte** Karosseriefertigung !

→ **50 % weniger** Energieeinsatz realisierbar ?

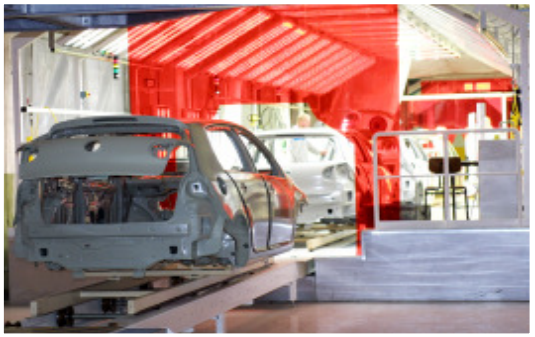
© Fraunhofer IWU

Fraunhofer IWU

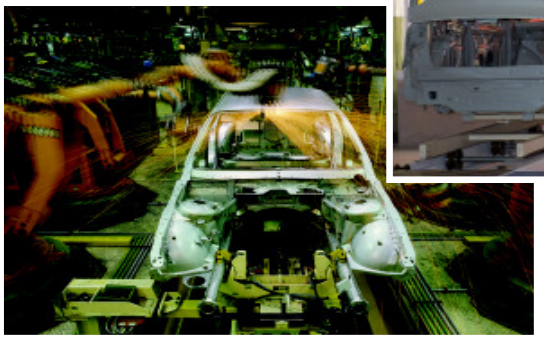
INNOVATIONSALLIANZ „GREEN CARBODY TECHNOLOGIES“

Allianz und **Technologieverbund:**
→ vom Blech-Coil zur lackierten Karosserie

Anwendungsfeld **Karosseriefertigung**

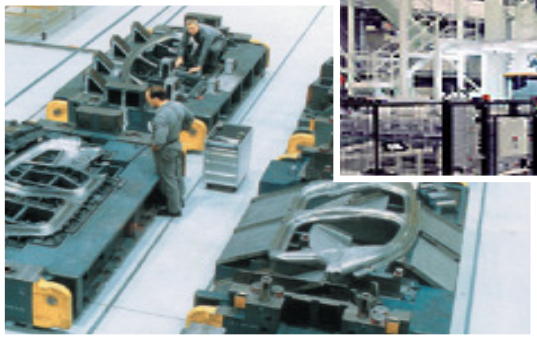


Lackierung



Karosseriebau

Presswerk



Werkzeugbau

Halbzeug Blech

übergreifende Dienstplattform „Planung“

→ **Ganzheitliche** Planung und Steuerung
der Produktionsprozesse

ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

Energieeffizienz
– Potentialsuche in der Prozesskette

1 Herausforderung – Klimawandel und Ressourcenbegrenztheit

2 Relevanz für die Produktionstechnik

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung
3.1 Werkzeugbau, Umformtechnik und Presswerk
3.2 Karosseriebau
3.3 Powertrain

4 Forschungsfabrik „Energieeffiziente Produktion“

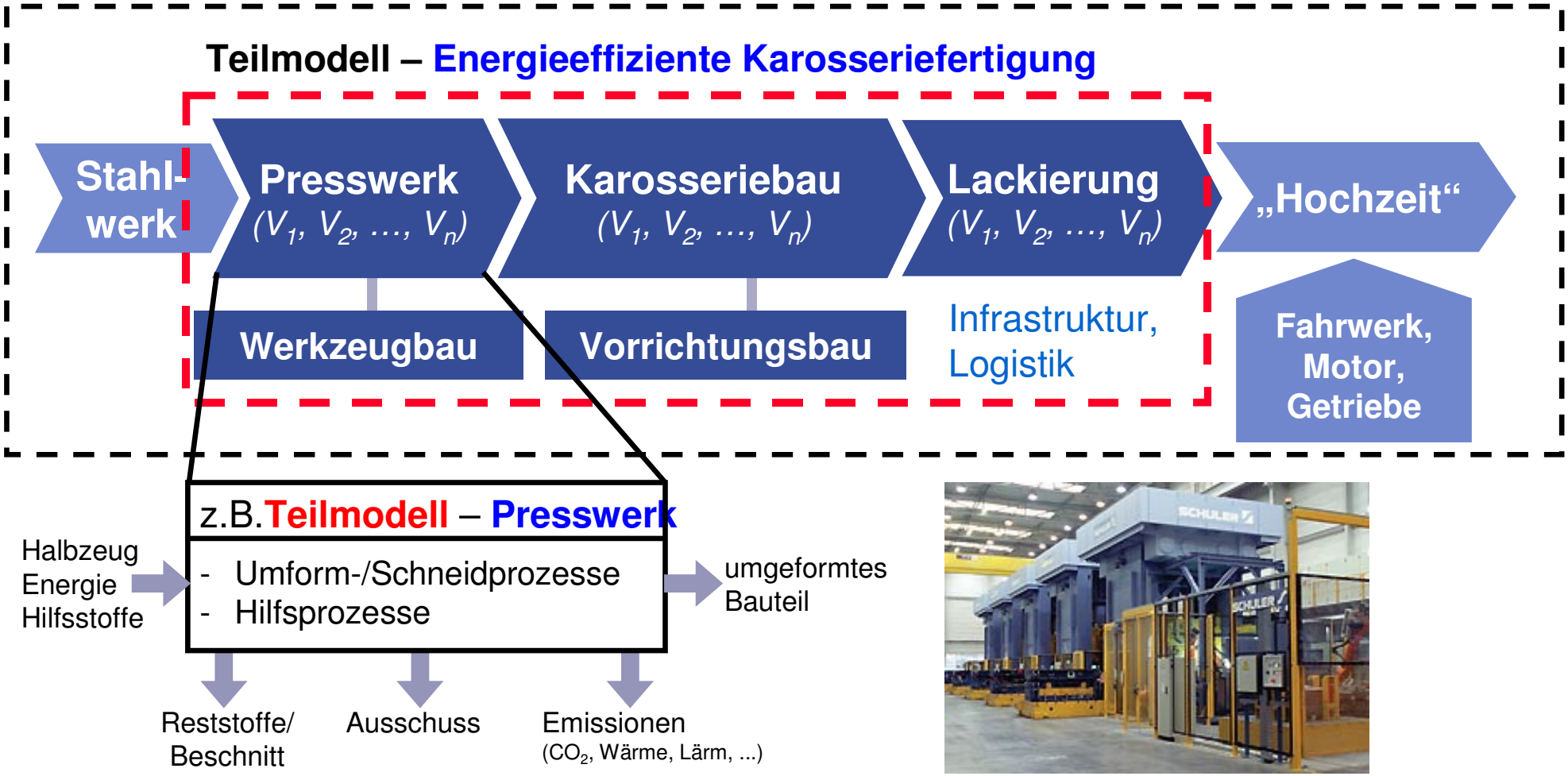
5 Zusammenfassung

© Fraunhofer IWU

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.0 Gesamtfabrik – **Benchmark-Modell**

Betrachtungsraum – Beispiel **Karosseriefertigung**



ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.0 Gesamtfabrik – **Benchmark-Modell**

Teilmodell – **Presswerk**

Methode zur energetischen Bewertung von Prozessketten

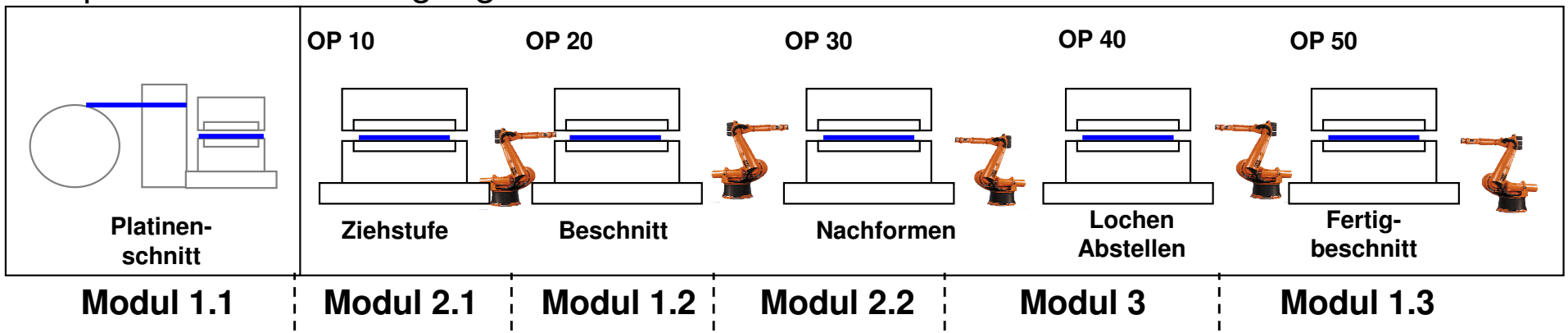
- ⇨ **Analyse** derzeitiger Prozessketten
- ⇨ **Identifizierung** (Energieverbraucher, „Verlust"-Energiequellen)
- ⇨ **Bewertung** auf Basis von allgemeingültigen Kennzahlen ⇨ **Definition**, **Ermittlung**

  anwendbare **Strategien**: Energieeintrag, Verlustenergie, „spezifischer" Wirkungsgrad

- ⇨ **Berücksichtigung: Werkzeuge/Betriebsmittel, Logistik, Infrastruktur, Personalbedarf, ...**

Basis: Prozessstufenbewertung ⇨ **Modulbildung**

Beispiel Großserienfertigung



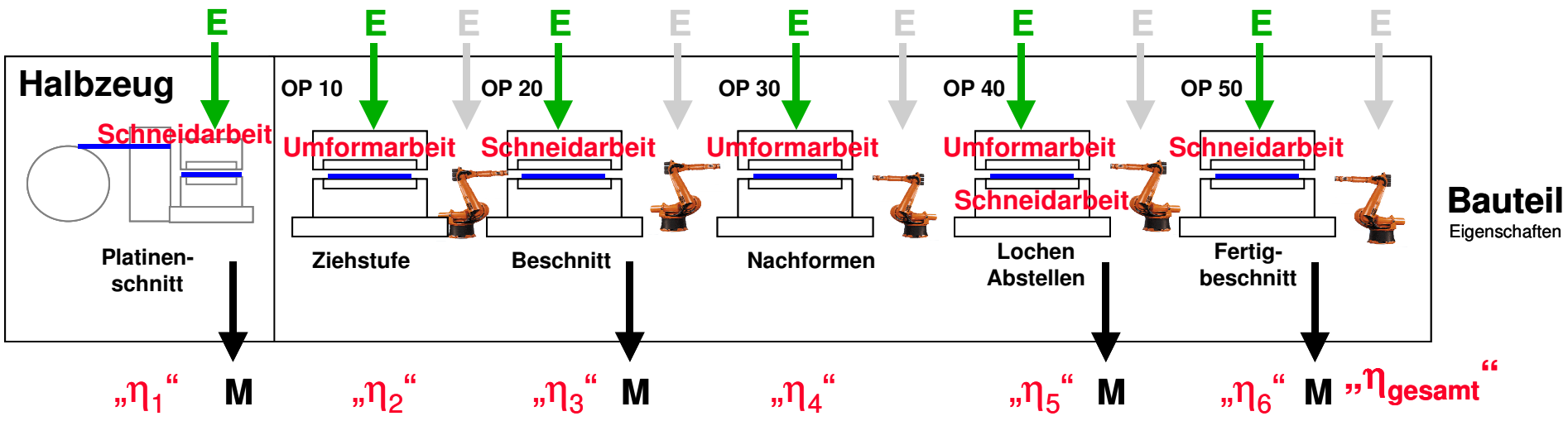
ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.0 Gesamtfabrik – **Benchmark-Modell**

E ...elektrische Energieeintrag – Hauptprozess
E ...elektrische Energieeintrag – Nebenprozess
M ...Abfall (Beschnitt)
η ...Wirkungsgrad

Beispielprozesskette für Großserienfertigung



Potenziale, basierend auf

- **Materialeffizienz**technologien ⇨ „Null“-Abfall
- Erhöhung der **Prozessstabilität**/-sicherheit ⇨ „Null“-Ausschuss
- **Prozesskettenoptimierung**, -verkürzung ⇨ Redundanzfreiheit
- **Niedrigenergie-Fertigungsanlagen** ⇨ Anschlussleistung = Fertigungsleistung

ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.1 Gesamtfabrik – **Steigerung der Prozessstabilität**

Prozesskettenoptimierung im **Werkzeug-Tryout**

Tryout-Presse

Qualitätsbewertung des Bauteils → Gutteil

n Mal

Manuelle Nacharbeit des Werkzeugs

Ziel:
- **Senkung** der **Optimierungsschleifen** (Zeit, Kosten)
- **Objektivierung** des Einarbeitungsprozesses
  Reduzierung der **Handarbeit;**
  derzeit bis zu **20 % der Werkzeugkosten**

Randbedingungen

- Untersuchung des Zusammenhangs
  „Bearbeitungsgenauigkeit – Bauteilqualität“
- Berücksichtigung der Presseneigenschaften
- Entwicklung Datenbasis, Expertensystem

ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.1 Gesamtfabrik – **Steigerung der Prozessstabilität**

Ausgangssituation – Karosserieteilfertigung

Qualitätsprüfung am **Fertigteil** ⇨ n fehlerbehaftete Teile

⇨ hohe Nacharbeits- bzw. Ausschussrate

im Produktionsanlauf bis zu 10 %

Handlungsbedarf

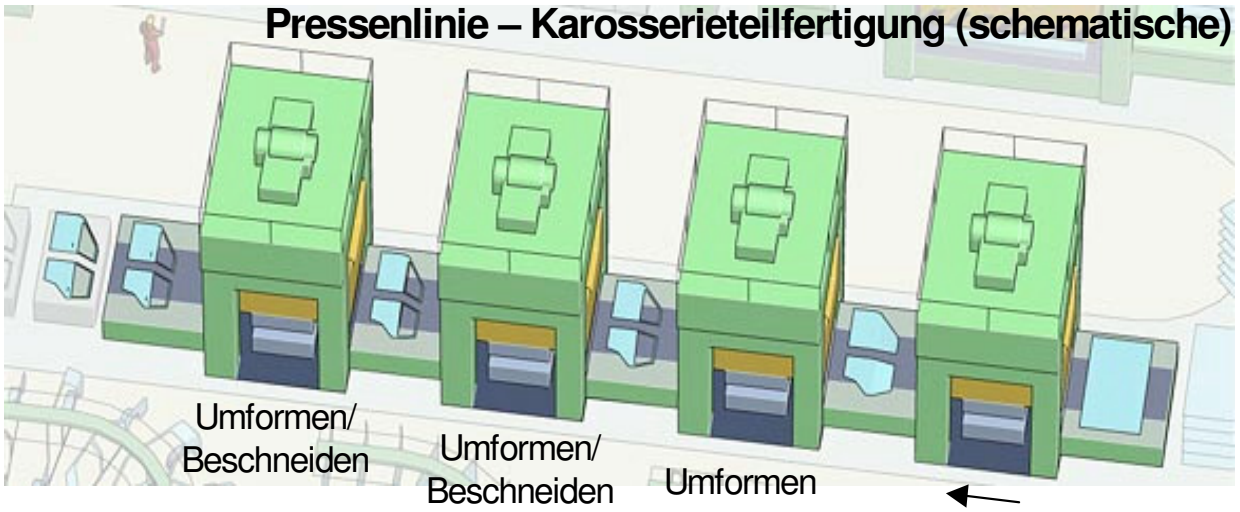
Ausschussrate ⇩

Potenzial (ermittelt aus Studie)

Ausschuss: < 5 % durch geeignete Maßnahmen

Ausschuss
- **Reißer**
- **Falten**
- **Oberflächen-fehler**
- **...**

Qualitäts-überwachung



ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.1 Gesamtfabrik – **Steigerung der Prozessstabilität**

Intelligente **Prozessüberwachung**

Ausgangssituation

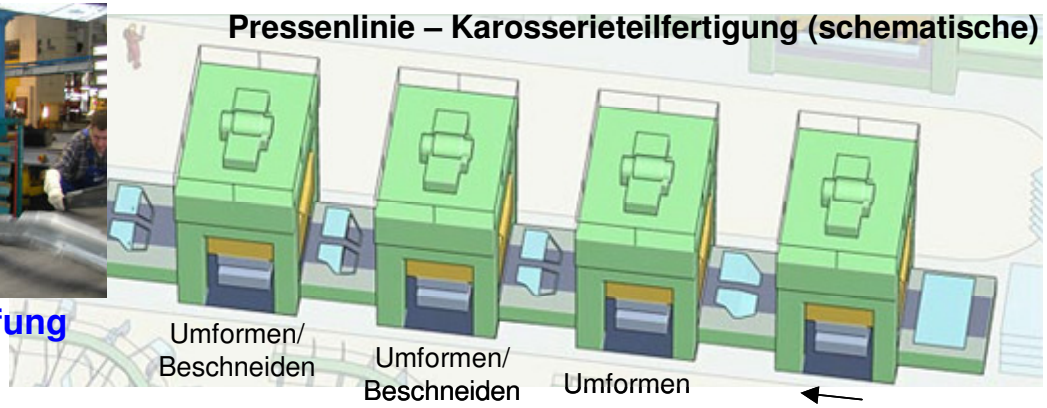
Off-Line-Qualitätsprüfung am Fertigte

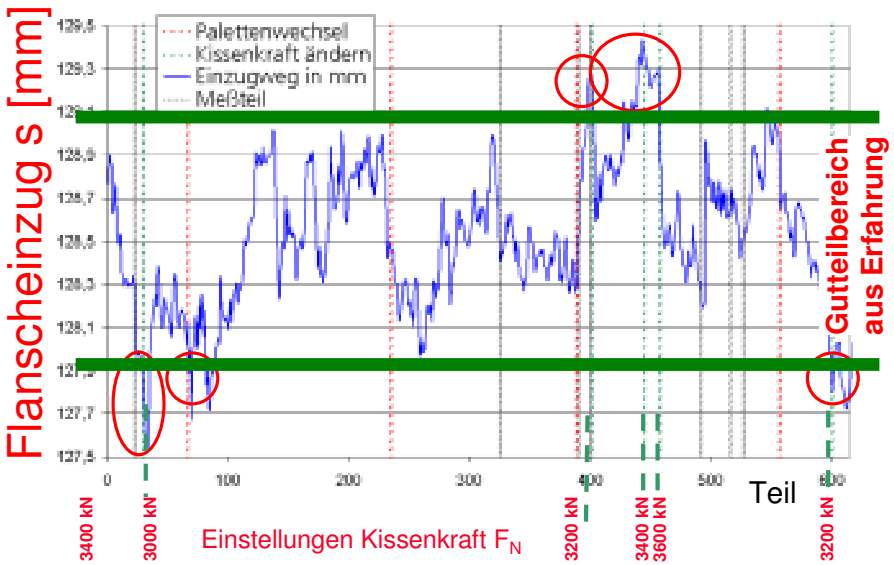
⇨ n fehlerbehaftete Teile

Beispiel: Längsträger

⇨ 12,3 % Ausschuss
(77 Teile von 622)

Sichtprüfung





Lösungsansatz

On-Line-Prozessüberwachung

⇨ Detektierung von Tendenzen

⇨ frühzeitiges Reagieren auf Prozessänderungen

⇨ Festlegung von Maßnahmen, oder Basis für geregelten Prozess

Erreichte Effekte

Ausschussreduzierung ⇨ < 2 %

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.1 Werkzeugbau – **Modulare Werkzeugkonzepte**

Zielstellung

Flexible Herstellung individuelle Bauteilgeometrien

Lösungsansatz

Werkzeug-**Systembaukasten**

➔ Realisierung unterschiedlicher Geometrien durch variable Aktivteil-Anordnung

Weiteres Potenzial

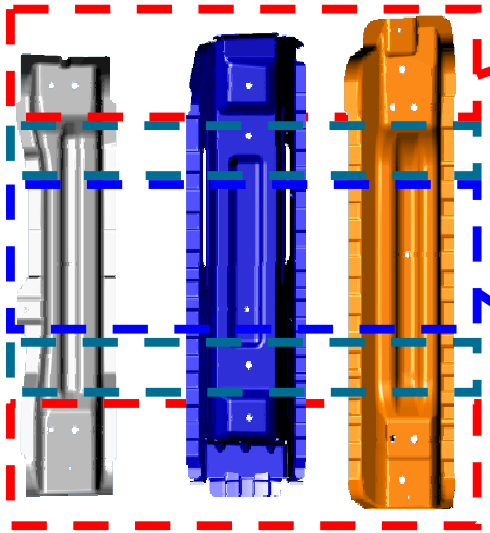
- umformgerechte Bauteilgestaltung
- Vereinheitlichung von Nichtfunktions-bereichen

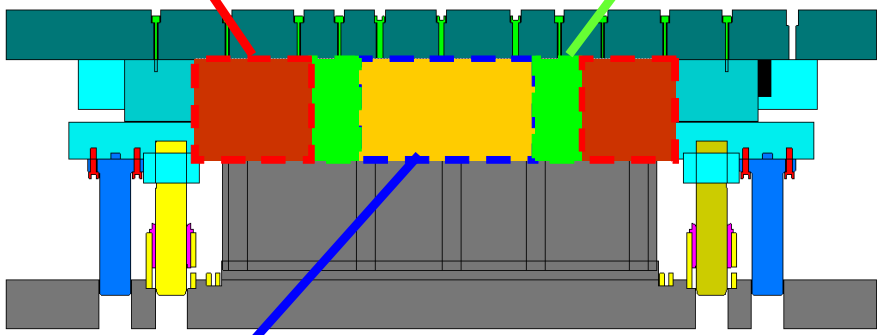
Ergebnisse

(Wiederverwendbarkeit)

- Basiswerkzeug-Komponenten
  ➔ bis zu **80%**
- Aktivteile
  ➔ bis zu **50%**

Beispiele unterschiedlicher Sitzquerträger





3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.1 Umformtechnik – **Effiziente Umformtechnologien**

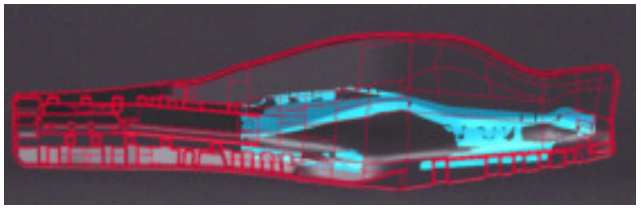
Effiziente **Fertigung** von **„low volume“ Blechteilen** (z.B. Derivate, Kleinserien)

➔ **Inkrementelle Blechumformung**

Beispiel: **Getriebekonsole links**

Umformstufe 1 ⇨ uniforme Vorform (Tiefziehen)

Umformstufen 2 u. 3 ⇨ Endformgebung/Derivat-Realisierung
(inkrementelles Nachformen)



Nachzuformende Bauteilbereiche

Inkrementelles Nachformen

Fertigform

Uniforme Vorform

Effekte

- bisher 2 x 5 Werkzeuge
- Reduzierung auf **6 Werkzeuge**
- weiteres Potenzial:
  Reduzierung auf **4** Werkzeuge
  (prozessoptimale Bauteilauslegung)

⇨ **Werkstoffeinsparung**

ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

Energieeffizienz
– Potentialsuche in der Prozesskette

1 Herausforderung – Klimawandel und Ressourcenbegrenztheit

2 Relevanz für die Produktionstechnik

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung
- 3.1 Werkzeugbau, Umformtechnik und Presswerk
- **3.2 Karosseriebau**
- 3.3 Powertrain

4 Forschungsfabrik „Energieeffiziente Produktion“

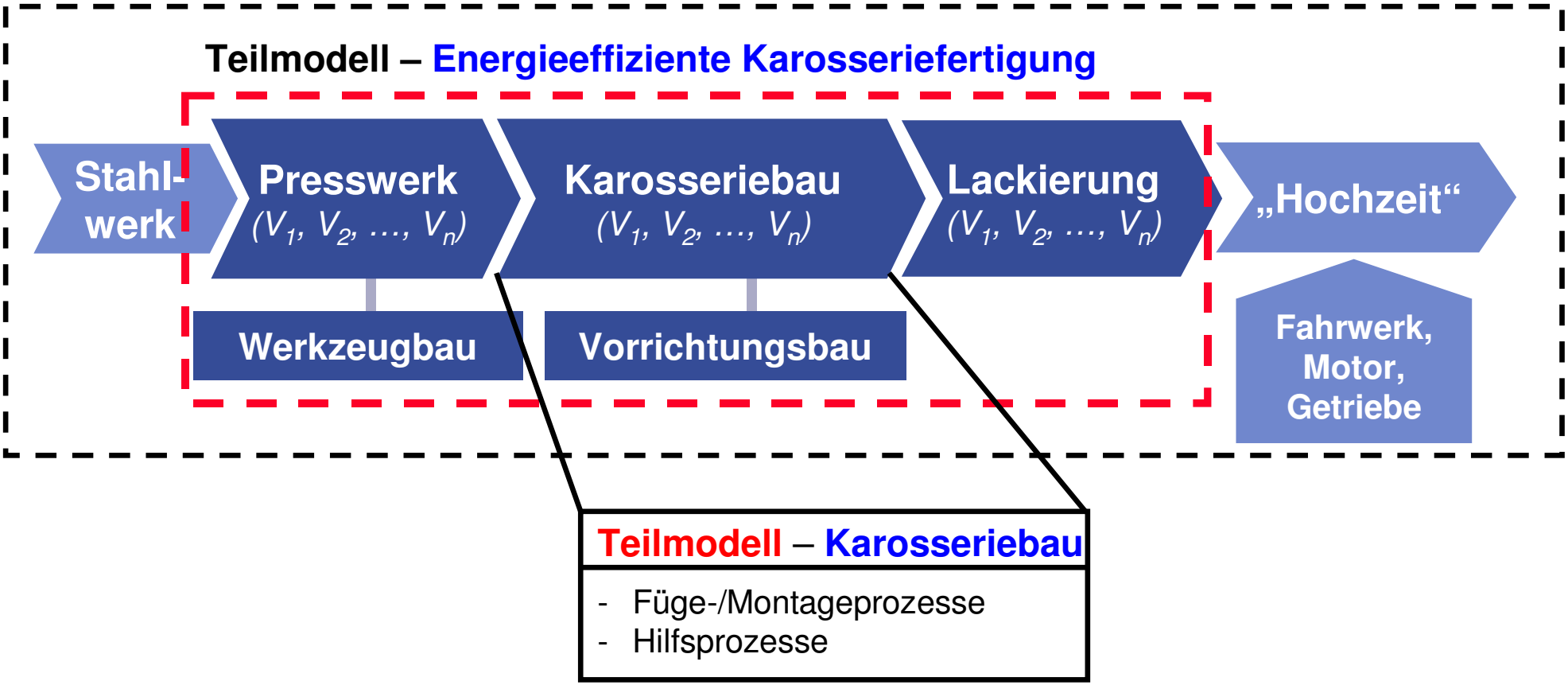
5 Zusammenfassung

© Fraunhofer IWU

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.0 Gesamtfabrik – **Benchmark-Modell**

Betrachtungsraum – Beispiel **Karosseriefertigung**



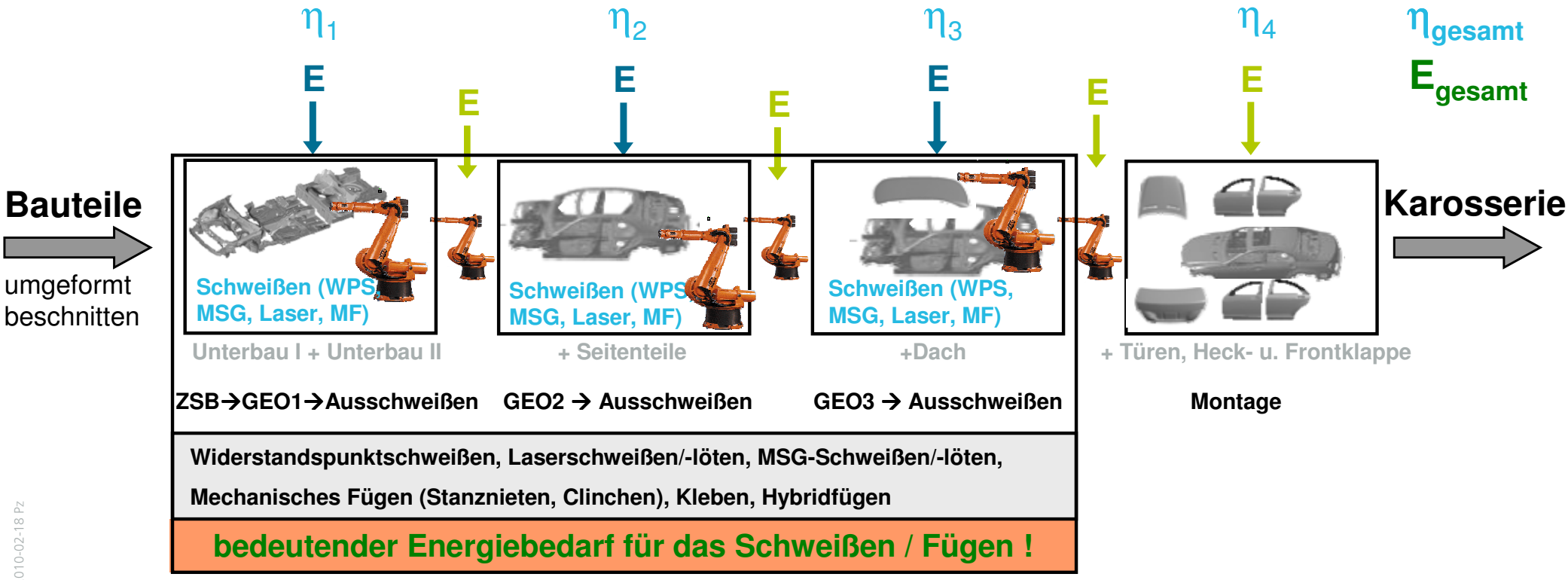
ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.0 Gesamtfabrik – **Benchmark-Modell**

Betrachtungsraum – Beispiel **Karosseriefertigung**

Prozesskette für Großserienfertigung



Ziele: Energiebedarf ↓, Wirkungsgrad ↑, Prozessschritte/-komplexität ↓, Fügeaufwand ↓

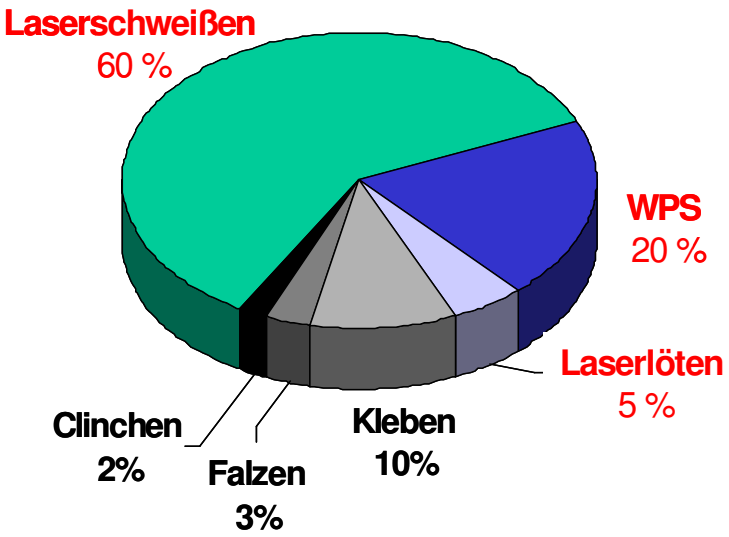
ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung
3.2 Karosseriebau – Energieeffiziente Fügeprozesse

Substitution thermischer durch mechanische Fügeverfahren

Ausgangssituation

ca. 85 % thermische Fügeoperationen im Karosseriebau



⇨ Einsatzfähigkeit (Werkstoffmix)

⇨ Energiebedarf

?

Exemplarische Fallstudie

thermisch | **mechanisch**

Energie pro Festigkeit

150 J/kN		50 J/kN
3	:	**1**

Flanschaufwand

1	:	1,7

Forschungsbedarf

- neue **Anwendungsszenarien**
- **Integrationsfähigkeit** in Prozessketten
- Multikriterielle **Einsatzbewertung**

ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.2 Karosseriebau – **mechanisches Fügen höchstfester Stähle**

Ergebnisse

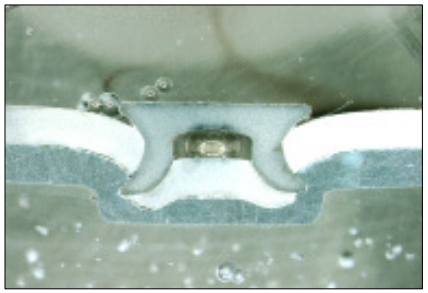
➔ **Machbarkeit** für untersuchte Strategien nachgewiesen
- Laser-Anlassen (vorhandene Infrastruktur)
- Induktion-Anlassen (geringste Investkosten)
- Widerstands-Anlassen (schärfste Begrenzung)

➔ Realisierte **Taktzeit** t ≈ 1 s ✓

Offene Fragestellungen

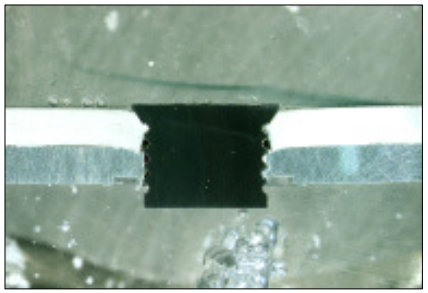
- **Sensitivität** gegenüber **Härte-**schwankungen
- Ermittlung **Prozess**-/Anwendungs-**grenzen**
- **Integrations-/Serienfähigkeit**

Stichversuche mechanische Fügeverfahren



Halbhohlstanznieten

Clinchen mit Formmatrize



Vollstanznieten

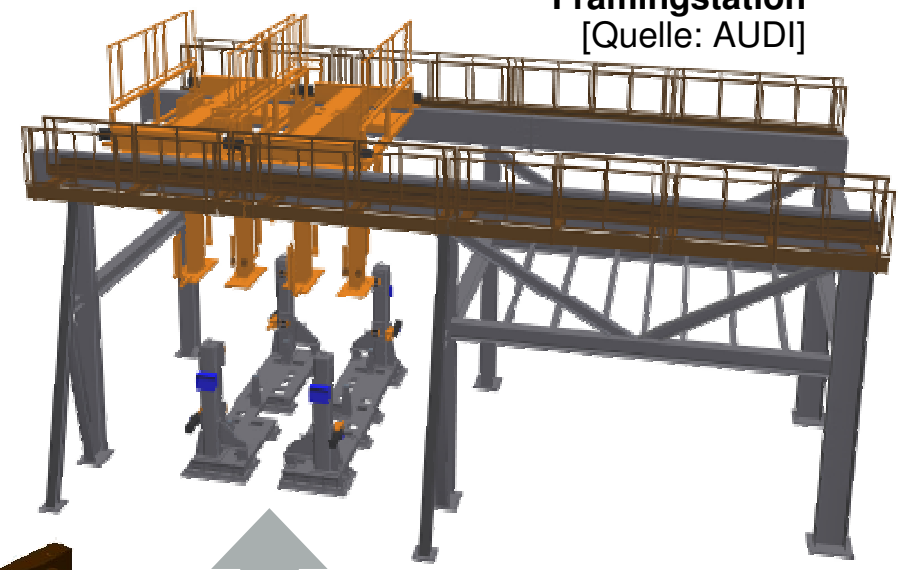
Clinchen mit Flachmatrize

ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.2 Karosseriebau – **Energieeffiziente Montageanlagen**

Framingstation
[Quelle: AUDI]



Ausgangssituation

➔ **Spannrahmenwechsel** bestimmt **Nebenzeit** im Fertigungstakt (Wechselzeit !)

➔ Bisher: **keine gewichtsoptimierte Bauweise** im Focus

Ziel

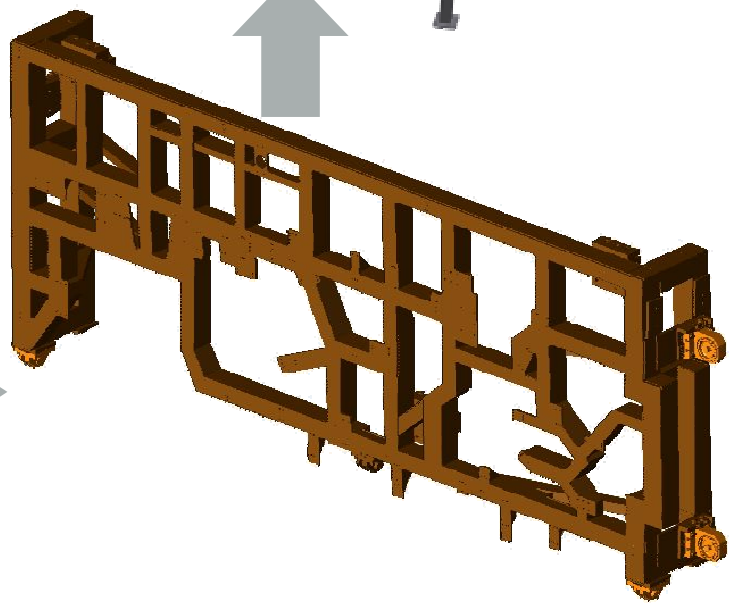
Gewichtsreduktion des Spannrahmens

➔ **50 %** (ohne Spanner)

(Voraussetzung: keine Steifigkeitseinbußen)

Referenz - Beispiel

Spannrahmengewicht: ~ 1200 kg



ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

Energieeffizienz
– Potentialsuche in der Prozesskette

1 Herausforderung – Klimawandel und Ressourcenbegrenztheit

2 Relevanz für die Produktionstechnik

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung
- 3.1 Werkzeugbau, Umformtechnik und Presswerk
- 3.2 Karosseriebau
- **3.3 Powertrain**

4 Forschungsfabrik „Energieeffiziente Produktion“

5 Zusammenfassung

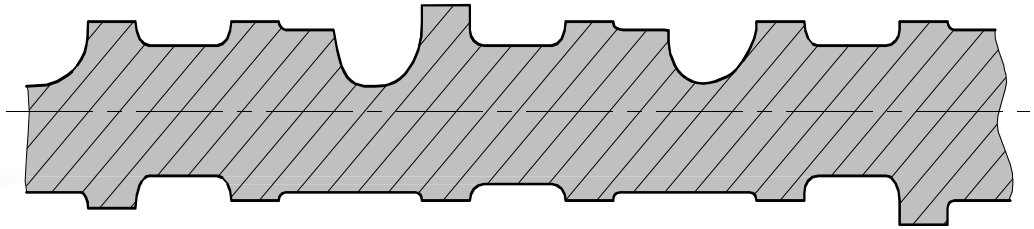
© Fraunhofer IWU

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung
3.3 Powertrain – Leichtbau-Nockenwellen

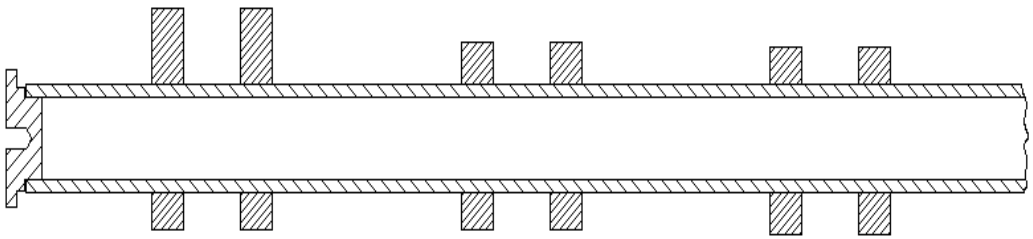
Gebaute Nockenwellen – Potenziale

⇨ Überarbeitung des konventionellen Design „MASSIVWELLE“ charakterisiert durch

- hohen Materialeinsatz
- hohe Herstellkosten



Herstellung gebauter Nockenwellen



Serienfertigung gebauter Nockenwellen seit 1993 (Thyssen Krupp Presta)

Effekte

signifikante Gewichtsreduktion ⇨ **35 %**
(basierend auf Hohlwelleneinsatz)

Herausforderungen

- hohe Genauigkeitsanforderungen
- aufwendiges Fügen der Nocken
- relativ hohe Fertigungskosten

© Fraunhofer IWU

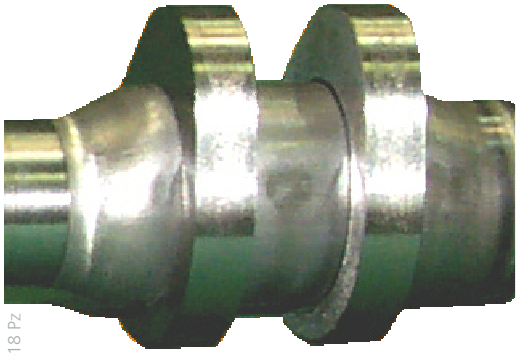
3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.3 Powertrain – **Leichtbau-Nockenwellen**

Gebaute IHU-Nockenwellen (1. Schritt)

Realisierung globaler/lokaler Formelemente (am Ausgangs-Halbzeug)

- ⇨ **Fügen Nocken** mit **Welle**
- ⇨ **Integration** zusätzlicher **Operationen** (z. B. Formgebung der Wellenenden)
- ⇨ **Fügen** von **Lagern**/Buchsen



- ⇨ relativ **dicke Nocken**
- ⇨ relativ **geringe** fertigungs-technische **Schwierigkeiten**

weitere Entwicklungen
optimiertes Bauteildesign

- ⇨ reduzierte Nockenstärke
- ⇨ steigende umformtechnische Herausforderungen
- ⇨ Einsparung von Umformstufen

Gewichtsreduzierung	≈ 50 %
Reduzierung Fertigungskosten	≈ 15 %

ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.3 Powertrain – **Leichtbau-Nockenwellen**

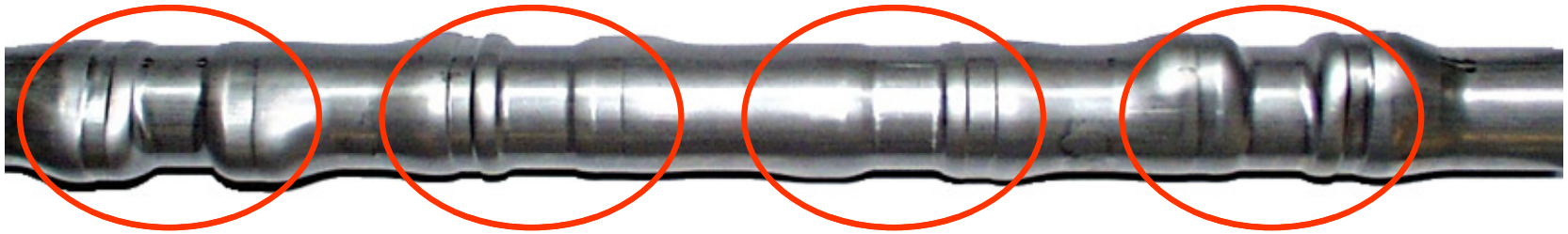
Weiter Gewichtsreduzierung von Nockenwellen (2. Schritt)

Lösungsansatz

Eliminierung/**Substitution** der zu fügenden **Nocken** durch

- realisierte **Geometrieelemente** auf **IHU-Basis**
- **verschleißfeste Schichten**

➔ Erzeugung der **Nockengeometrie** mittels **Hydroforming**



➔ Thermische **Spritzprozesse** zur **Wellenbeschichtung**

z. B.
- Flammenspritzen
- atmosphärisches Plasmaspritzen
- Vakuum-Plasmaspritzen

© Fraunhofer IWU

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.3 Powertrain – Leichtbau-Nockenwellen

Beschichtete IHU-Nockenwellen (3. Schritt)

Hydroforming
- ⇨ Nockengeometrie
- ⇨ Fügen der Lager

Fügen
- ⇨ Mitnahmerad, Endstück

Beschichten
- ⇨ reproduzierbare Layerdicke
- ⇨ Layerhaftung
- ⇨ Kontrolle des Wärmeeintrags

Schleifen
- ⇨ Unrundschleifen
- ⇨ Prozess-/Werkzeugdesign

Ergebnisse
- ➢ **zusätzliche Gewichtsreduzierung 20 %**
  (im Vergleich zur IHU-Serienwelle)
- ➢ **Kurzzeit-Tests** ⇨ **erfolgreich**
- ➢ **Langzeit-Tests** ⇨ **erforderlich**

© Fraunhofer IWU

Beschichtete IHU-Nockenwellen – Bewertung

Vorteile

- beliebige **Nockenorientierung** realisierbar
- gutes **Umformverhalten**
- relativ gering **Nockenabstände** realisierbar
- relativ geringe (Umform-) **Kosten**

Nachteile

- geringe **Festigkeit**
- begrenzte **Nockenhöhen**
- **Beschichtungskosten**

- **BESCHICHTUNG ERFORDERLICH ?**
- **ALTERNATIVEN ?**

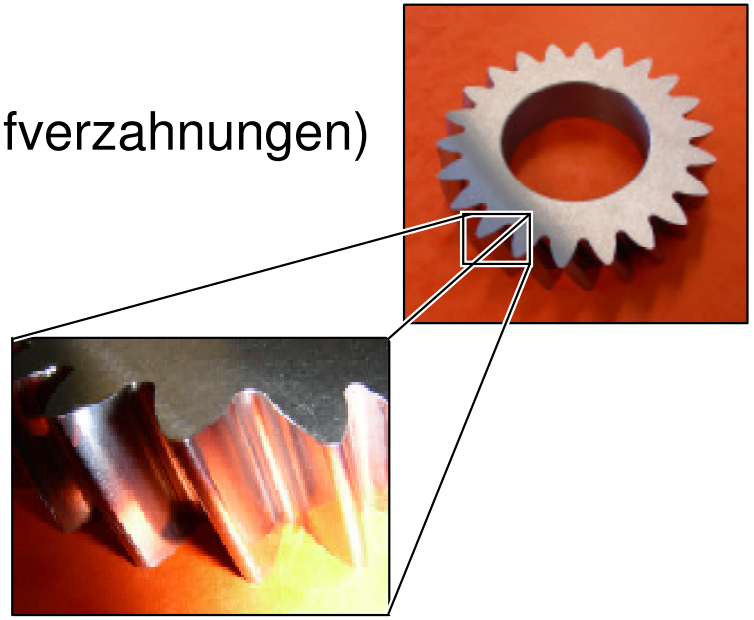
© Fraunhofer IWU

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.3 Powertrain – **Verzahnungswalzen**

Nachgewiesene Effekte (Vorbearbeitung von Laufverzahnungen)

Vorbearbeitung	Spanen	**Umformen**
Prozesszeit	100 %	bis **50 %**
Werkstoffeinsatz	100 %	bis **30 %**



Bsp. Rückwärtsgangrad - Losrad: z = 22; m 3,75

Handlungsbedarf

- ⇨ reale **Prozess**-/**Verfahrensgrenzen ?**
- ⇨ Nachweis der **Verzahnungsqualitäten**
- ⇨ realisierbares **Verzahnungssortiments**
- ⇨ **Standmengen** ? (Werkzeuge)
- ⇨ **Integration** in **Serien-Prozessketten**

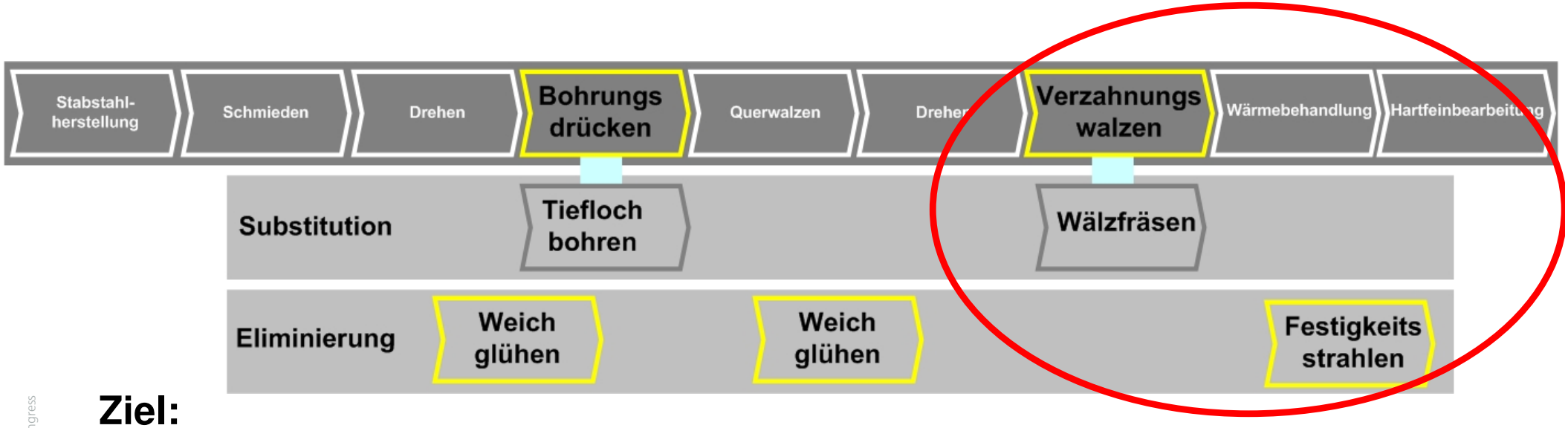
© Fraunhofer IWU

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung

3.3 Powertrain – **Verzahnungswalzen**

<u>Angestrebte Effekte</u> (im Vergleich zum spanenden Vorverzahnungs-Prozess)

- ➔ **Werkstoff**einsatz ⇩
- ➔ **Prozesszeit** ⇩
- ➔ **Festigkeit**/Tragfähigkeit ⇧
- ➔ **Prozesskettenverkürzung**



Ziel:

Verfahrenssubstitution/-eliminierung mittels **Verzahnungswalzen**

ACOD-Kongress

Energieeffizienz
– Potentialsuche in der Prozesskette

1 Herausforderung – Klimawandel und Ressourcenbegrenztheit

2 Relevanz für die Produktionstechnik

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung
3.1 Werkzeugbau, Umformtechnik und Presswerk
3.2 Karosseriebau
3.3 Powertrain

4 Forschungsfabrik „Energieeffiziente Produktion“

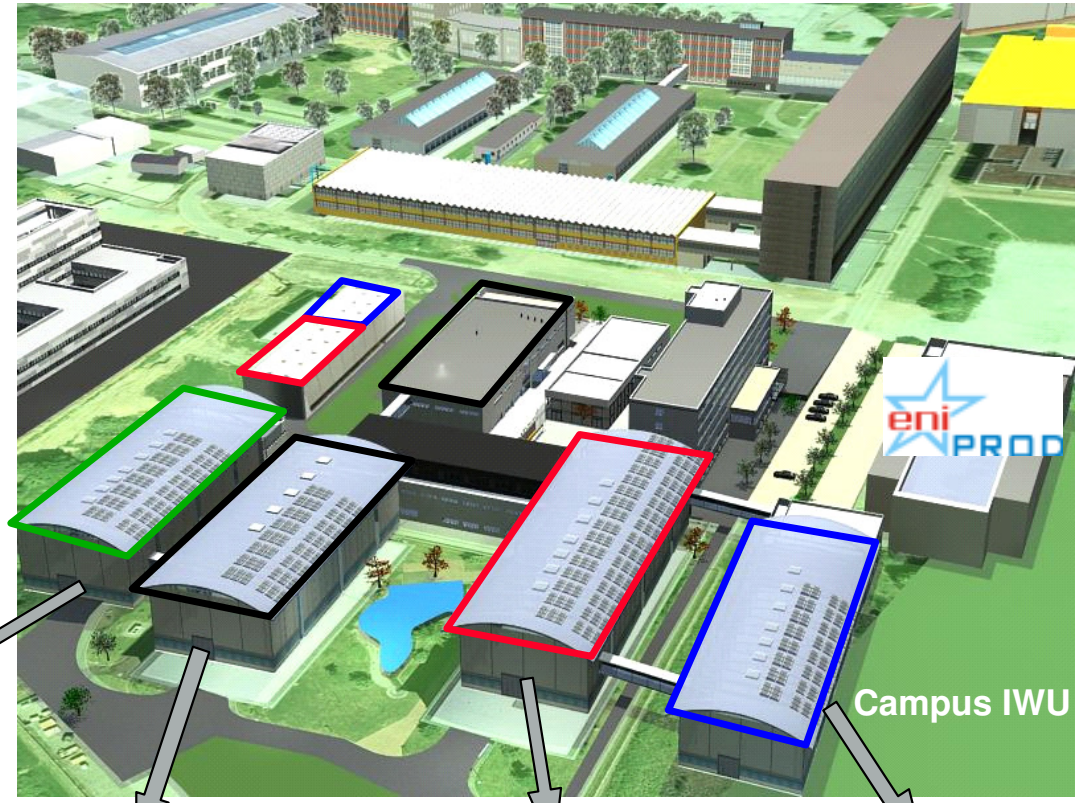
5 Zusammenfassung

© Fraunhofer IWU

4 IWU-Forschungsfabrik „**Energieeffiziente Produktion**“

Wirkungsgradoptimierte Produktion – EFFIZIENZ

- **wirkungsgradorientiertes** Prozess-/System**design**
- Energie**bilanzierung**
- Erhöhung **Prozessstabilität**
- **Effizienztechnologien**, -produktions**systems** (Energie, Werkstoff, andere Ressourcen)
- **Prozesskettenoptimierung**
- energiesensitive **Logistik**



Powertrain-Technologien
- Umformen/Spanen
- Surface engineering
- Maschinensysteme

Werkzeugbau
insbes. Spanende Bearbeitung und Maschinensysteme

Umformen
Technologien und Maschinen

Karobau
Technologien und Systeme

ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

4 IWU-Forschungsfabrik „Energieeffiziente Produktion“

Leitprojekte

Spitzentechnologiecluster **eniPROD**

- Vision: quasi energieautarke Fabrik
  - effizienz-optimiert
  - geschlossene Energiekreisläufe
  - erneuerbare Energien

Fraunhofer Future –
Energieeffiziente Powertrain-Technologien

- Schlüsselprodukte:
  - Niedrigenergie-Motor
  - Leichtbau-Getriebe
  - Leichtbau-Kardanwelle

Fraunhofer IWU
Forschungsfabrik Ressourceneffiziente Produktion

- Vision: „Energieautarke Fabrik”
  - Effizienz
  - Nachhaltigkeit
  - Substitution

Exzellenzzentrum **„Automobil-Produktion“**
(im Rahmen der Forschungsfabrik)

- Schwerpunkte:
  - Presswerk
  - Werkzeugbau
  - Karosseriebau

Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung

Ressourceneffizienz in der Production – JETZT

- Identifizierung von Einsparpotentialen und Bedarf für Forschungsaktivitäten

Innovationsallianz
Green Carbody Technologies

- ressourceneffiziente Optimierung von Prozessketten *Lackierte Fahrzeugkarosserie*

MAINE – **M**aschinen- und **A**utomobil-**I**nitiative **N**ext **E**conomy

- Innovationen für Karosserie und Antriebsstrang

ACOD-Kongress 2010-02-18 Pz

Energieeffizienz
– Potentialsuche in der Prozesskette

1 Herausforderung – Klimawandel und Ressourcenbegrenztheit

2 Relevanz für die Produktionstechnik

3 Aktuelles aus der Produktionsforschung
3.1 Werkzeugbau, Umformtechnik und Presswerk
3.2 Karosseriebau
3.3 Powertrain

4 Forschungsfabrik „Energieeffiziente Produktion“

5 Zusammenfassung

© Fraunhofer IWU

Ressourcen - effiziente - Produktion

Effiziente Produkt-herstellung X **Effizienter Produkt-betrieb**

= **Ressourceneffizienz²**