

# Digitale Transformation industrieller Wertschöpfung bei KMU

Warum die Digitalisierung von Wertschöpfungsfunktionen nicht ausreicht

*3. Treffen ZIM-Netzwerk „Optische Messtechnik & Sensorik für Industrie 4.0“ am 20.03.2018*

*Fraunhofer IOSB-INA, Centrum Industrial IT, Lemgo*

Industrie 4.0 - Entwicklungspfad

Allgemeine Trends der Sensorik

Verschwendung messen

Transformation der Wertschöpfung

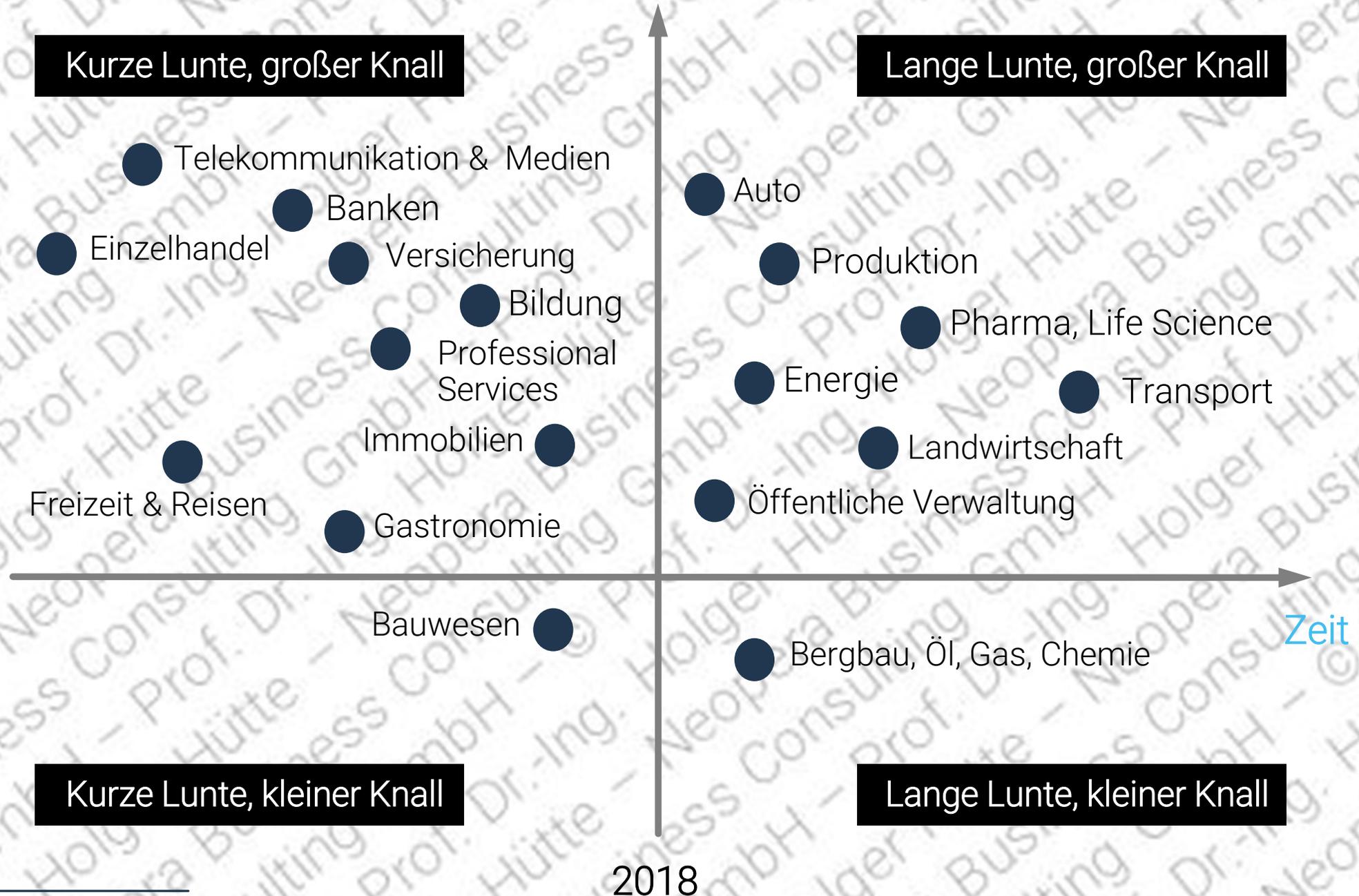
Vom Prozess zum Modell

Sensor Value Proposition

Sensorik-Lösung als Geschäftsmodell

Handlungsempfehlungen

Auswirkung (in % des Wandels am bestehenden Geschäft)



Anforderungen



Nutzen  
Wert

Wie Daten austauschen?  
„vernetzen“

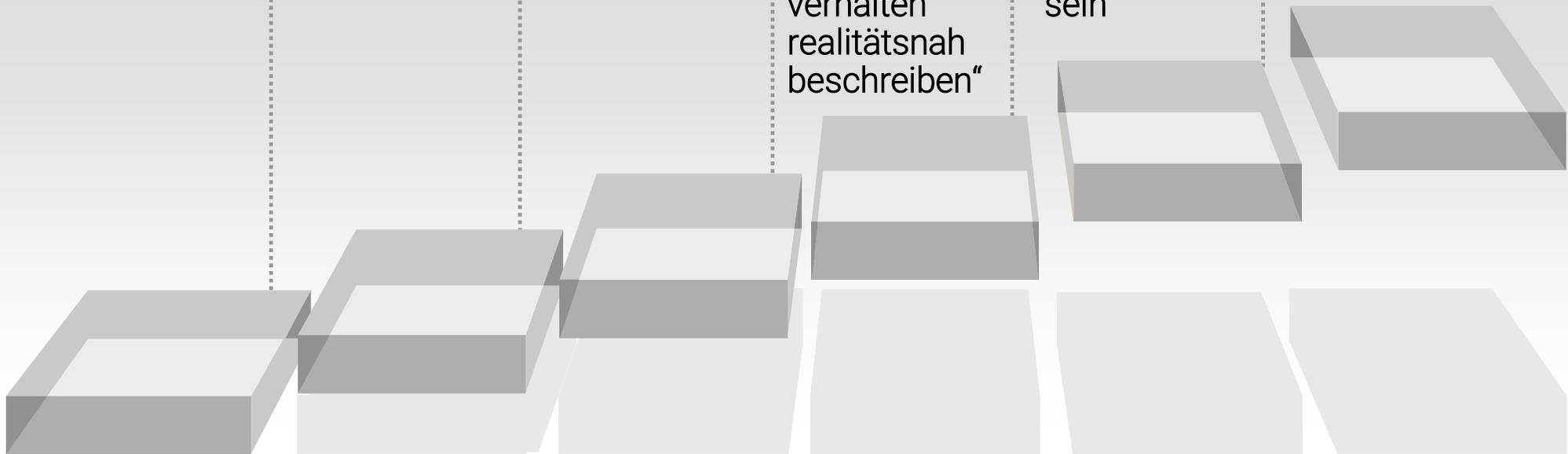
Was passiert?  
„sehen“

Warum passiert es?  
„verstehen“

Wie abbilden, was passiert?  
„Systemverhalten realitätsnah beschreiben“

Was wird passieren?  
„vorbereitet sein“

Wie kann autonom reagiert werden?  
„selbstoptimierend“



1

Näheres Heranführen der Sensoren an die Messgröße

- weitere 3D-Miniaturisierung
- berührungslose Messprinzipien

2

Einführung neuartiger Messverfahren, z.B. zur Erfassung räumlich verteilter Messdaten

- Tomografie für industrielle Anwendungen
- Impedanzspektroskopie

3

Zunehmender Einsatz von energieautarken, drahtlos kommunizierenden Sensoren

- Zuschalten nur bei "Bedarf"
- Einsatz unterschiedlicher Mikro-Generatorprinzipien zur autarken Energieerzeugung: Piezoelekt., thermoelekt., elektromagnetisch, kapazitiv, (bio)chemisch (Brennstoffzelle),
- photovoltaisch (Solarzelle)
- Zu Netzwerken zusammengefasste miniaturisierte Messstellen, deren Netzwerke die Messwerte kollektiv erfassen und weiterleiten

4

Zunehmende Systemintegration bei mechatronischen Anwendungen

- Übergang zu direkt gekoppelten Sensor-Aktor-Systemen zur Erfassung und Steuerung/Regelung von örtlichen Prozessparametern (Lokalisierung)

5

Zunehmend ganzheitlicher  
Sensorentwurf

- Nutzung neuer 3D-Entwurfswerkzeuge, FEM-Berechnung, Matlab/Simulink,
- Nutzung umfassenderer u. exakterer Materialdaten

6

Zunehmende Integration „smarter“  
Funktionen für autonome  
Entscheidungsprozesse

- Mustererkennung, zus. Informationsgewinnung
- Selbstüberwachung (→ sicherer)
- Störungserkennung und -diagnose
- Selbstkalibrierung (Selbstjust.) & Rekonfiguration
- Ableitung von Informat. z. vorbeugenden Wartung
- integrierte Kom.-Schnittstelle (TEDS, IEEE1451)
- Plug&Play
- Lokalisierung (Ortung)
- Hochauflösende und schnelle A/D-Wandler
- Einchip-Mikrorechner  $\mu$ C, FPGA, DSSP (digitaler Sensor-Signal-Prozessor)
- Programmierbare Logikbausteine (PLDs)
- Halbleiter-Zusatzspeicher
- Koppelmodule für elektrische Schnittstellen (drahtgebunden, drahtlos)

7

Nutzung hochintegrierter  
Bauelemente für echtzeitfähige  
Signalverarbeitung

8

Kopplung von physikalischen, chemischen und biologischen Sensoren auf einem Sensorelement

- z.B. Druckmessung, pH-Wertmessung (Tierzucht), Lab on a Chip, Lab on a Disc

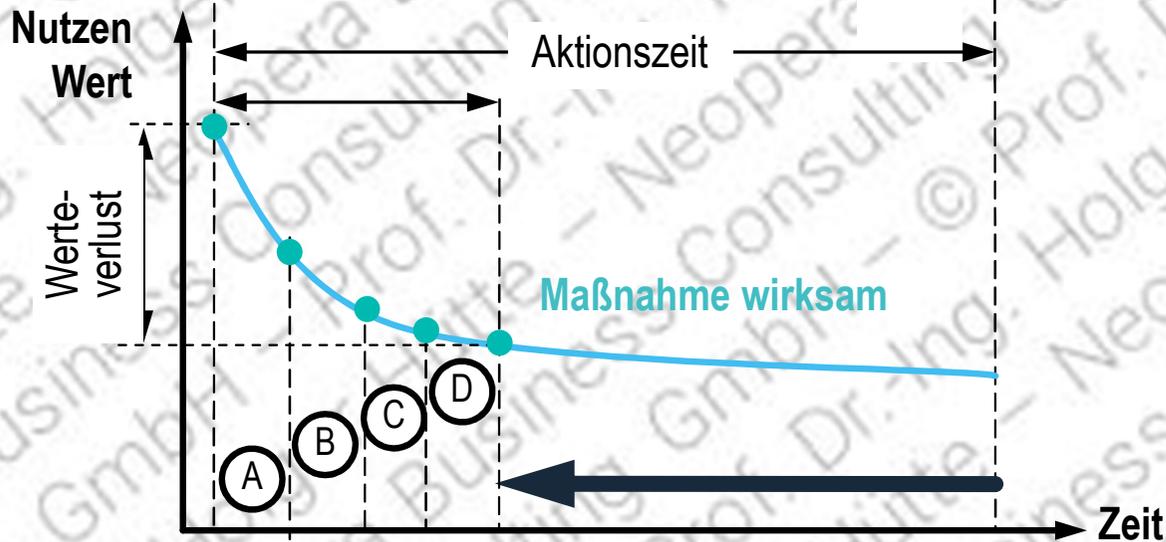
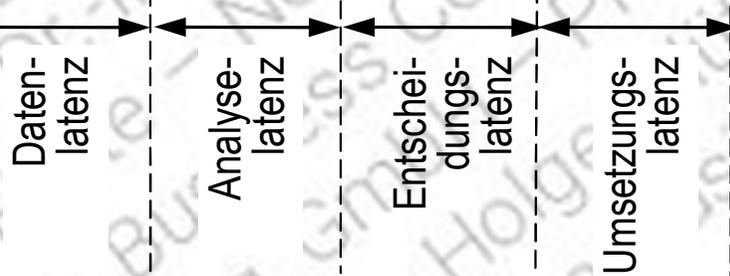
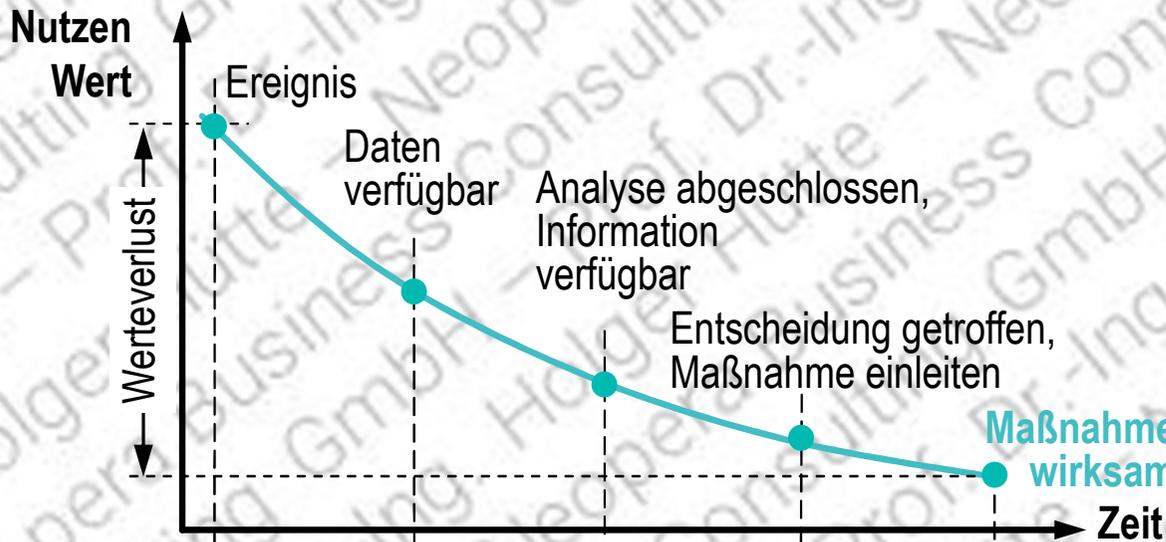
9

Zunehmende Herstellung von Sensorelementen durchspezialisierter Hersteller (Foundrys)

- hiermit einhergehend wird die Herstellung von kompletten Sensoren, zunehmend lukrativ für den Mittelstand

Transformation zu mehr Sensorintelligenz hat für **optische Sensoren** zusammengefasst folgende Herausforderungen:

- Messung immer kleinerer Strukturen bei gleichzeitig großen Substratabmessungen
- Höchste Positioniergenauigkeiten der Messaufnehmer
- In-Situ Messtechnik während der Fertigung
- Vermessung neuer Materialien/Oberflächen
- Erweiterung messtechnischer Möglichkeiten z.B. durch neue Frequenzbereiche
- Digitale Messketten mit immer höheren Geschwindigkeiten
- Dateninterpretation im Zuge von Big Data



## Technologische Elemente von Industrie 4.0

- (A)**
- Echtzeitfähigkeit
  - Integration von Systemen

- (B)**
- Big Data Analytics (bekannte Hypothesen)
  - Machine Learning und Künstliche Intelligenz (neue Zusammenhänge)

- (C)**
- Entscheidungsunterstützungssysteme (Visualisierung)
  - Automat. Entscheidungsfindung

- (D)**
- Vertikale u. horizontale Integration von Prozessen und Systemen
  - Cyber-physische Systeme

nach R. Hackathorn, Bolder Technology Inc. (BTI)  
<sup>1</sup> Latenzen = Verzögerungen

Anforderungen



Konnektivität	Sichtbarkeit	Transparenz	Modelierung	Prognosefähigkeit	Adaptierbarkeit
---------------	--------------	-------------	-------------	-------------------	-----------------

Nutzen  
Wert

Wie Daten austauschen?  
„vernetzen“

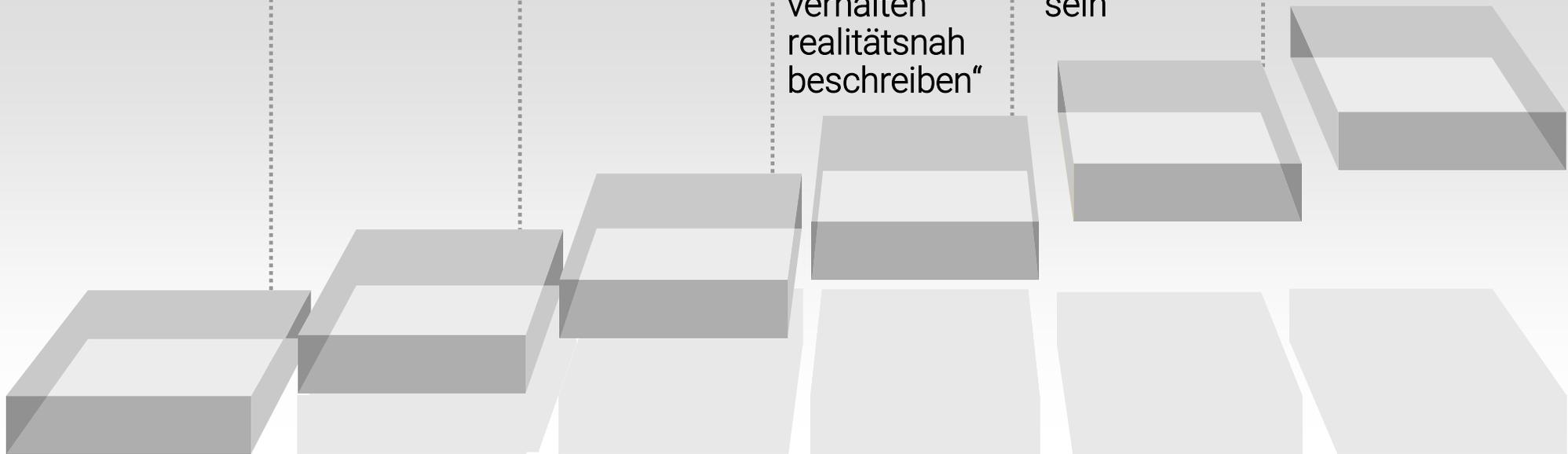
Was passiert?  
„sehen“

Warum passiert es?  
„verstehen“

Wie abbilden, was passiert?  
„Systemverhalten realitätsnah beschreiben“

Was wird passieren?  
„vorbereitet sein“

Wie kann autonom reagiert werden?  
„selbstoptimierend“



# 8 Arten der Verschwendung („Muda“)

– Direkter Bereich (Produktion) –



## #1 Fehler/Nacharbeit

Aufwand verursacht durch Nacharbeit, Verschrottung und falschen Informationen



## #2 Überproduktion

Einkauf/Produktion von etwas (noch) nicht benötigtem



## #3 Wartezeiten

Zeit, die mit nichtwert-schöpfenden Tätigkeiten verbracht wird



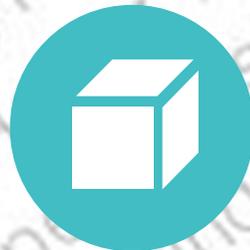
## #4 Ungenutzte Talente

Nicht-Nutzen von Kreativität, Motivation, Wissen der Mitarbeiter



## #5 Transport

Unnötige Wege, Transporte von Rohmaterial, Ware-in-Arbeit (WIP) & Fertigprodukte



## #6 Bestände

Rohmaterial, Ware-in-Arbeit (WIP) und Fertigprodukte



## #7 Bewegungen

Unnötige Bewegung/en von/m Personal

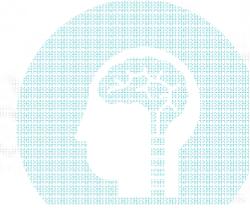
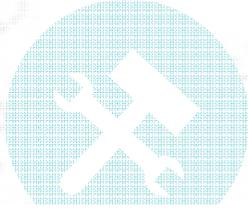
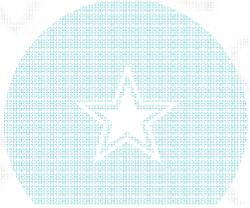


## #8 Überbearbeitung

Mehr Arbeit oder Qualität als vom Kunden benötigt und bezahlt

Die Verschwendungsarten lassen sich auch in andere Bereich z.B. die Entwicklung, den indirekten Bereich (Administration) übertragen. Weitere Verschwendungsarten betreffen die Organisation/Mitarbeiter und Ressourcen wie Material/Energie

– Direkter Bereich (Produktion) –



Können optische Sensoren „Verschwendung“ sehen ?

- Keine Probleme bei der Anbindung älterer Maschinen?!
- Überwachung von Flächen, Bewegungsprofilen etc.
- Systematische Verbindung der Messgrößen mit den Kennzahlen der Verschwendungsarten in den jeweiligen Effizienz-Logikbäumen

## #5 Transport

Unnötige Wege, Transporte von Rohmaterial, Ware-in-Arbeit (WIP) & Fertigprodukte

## #6 Bestände

Rohmaterial, Ware-in-Arbeit (WIP) und Fertigprodukte

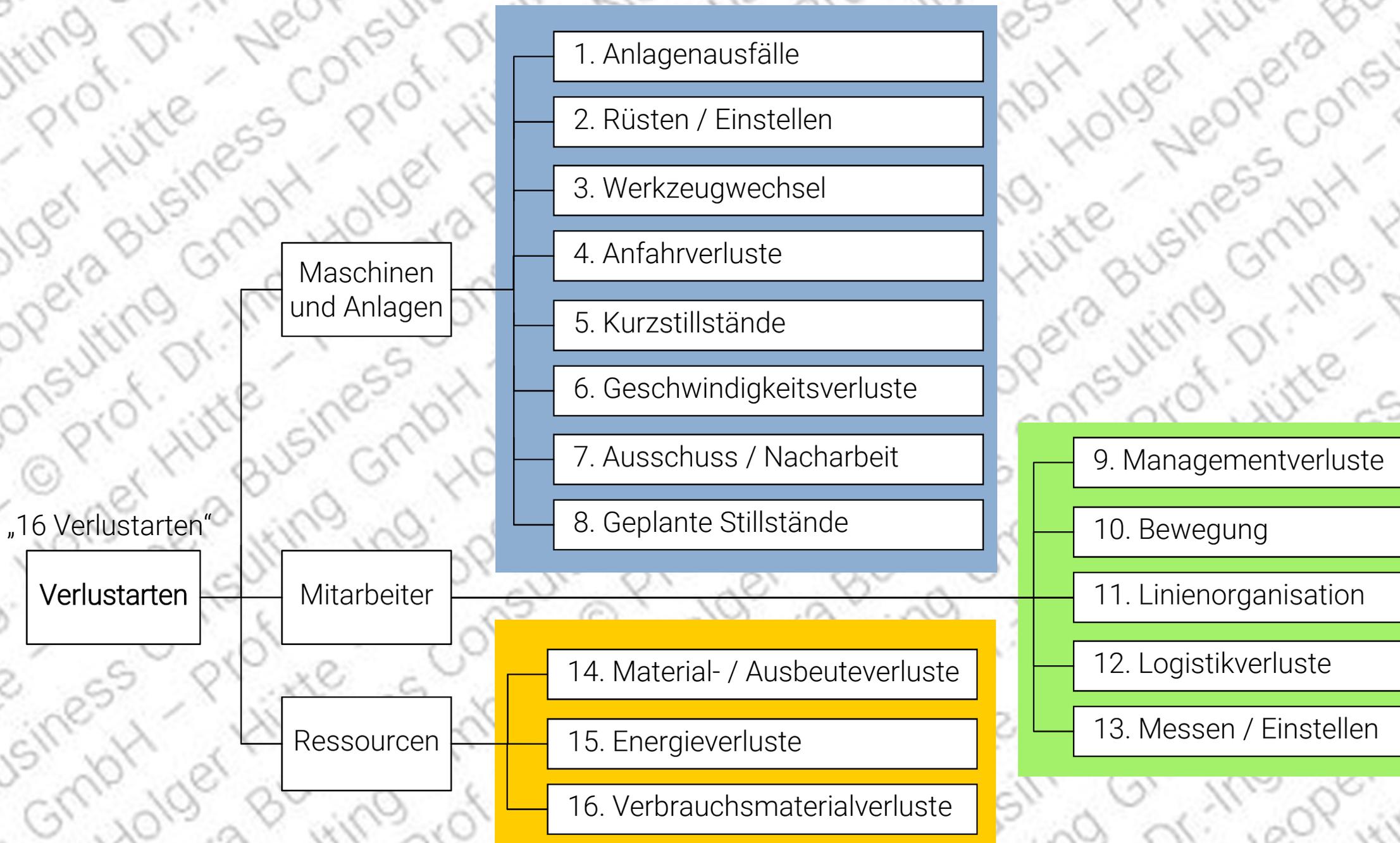
## #7 Bewegungen

Unnötige Bewegung/en von/m Personal

## #8 Überbearbeitung

Mehr Arbeit oder Qualität als vom Kunden benötigt und bezahlt

Die Verschwendungsarten lassen sich auch in andere Bereich z.B. die Entwicklung, den indirekten Bereich (Administration) übertragen. Weitere Verschwendungsarten betreffen die Organisation/Mitarbeiter und Ressourcen wie Material/Energie

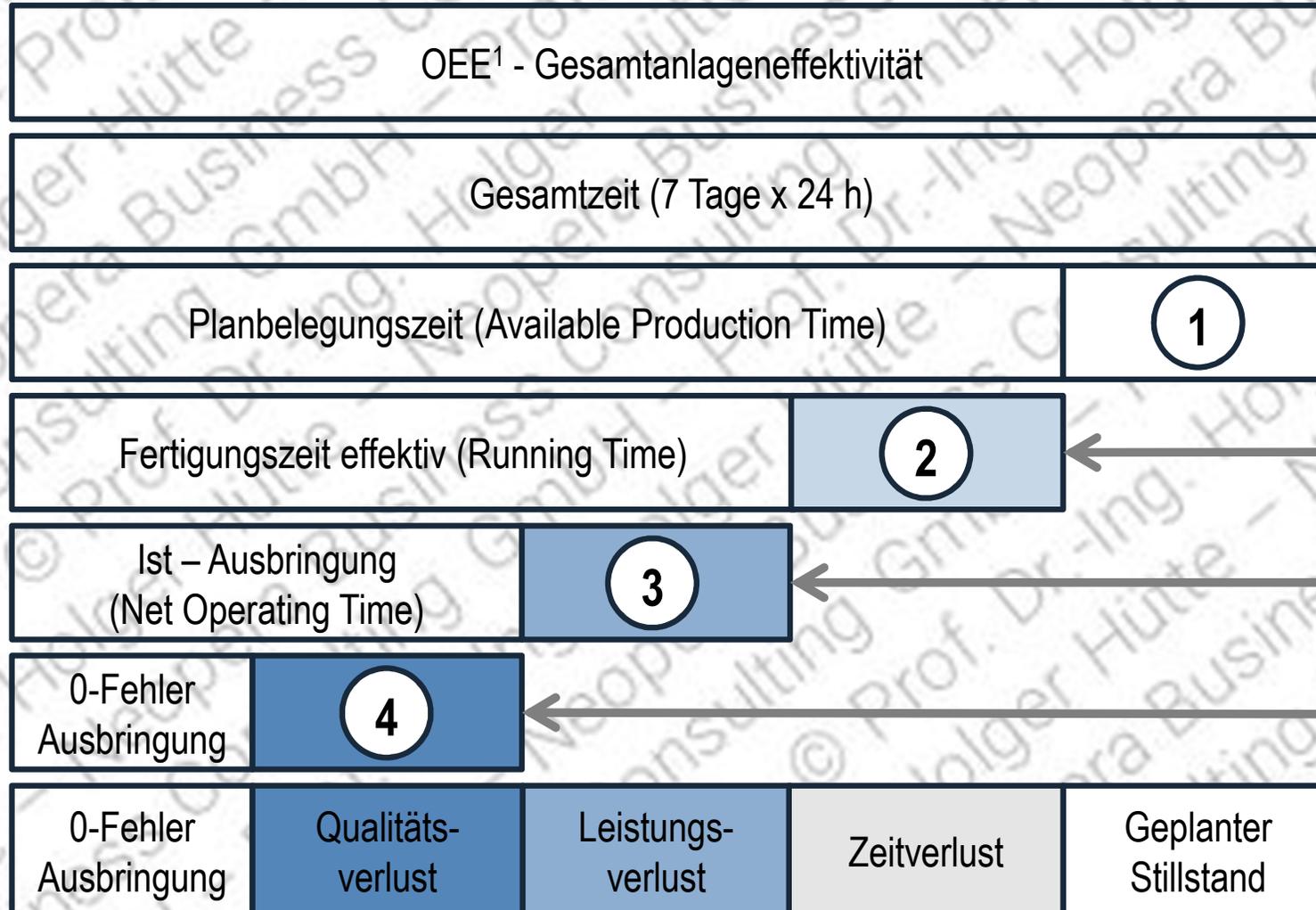


## Strukturierter Ansatz zur Reduzierung und Vermeidung von Produktivitätsverlusten auf dem Shopfloor

### BEISPIEL

Transparenz

Maschinen- und anlagenbedingte Verluste



- Geplante Stillstände (Wochenenden etc.), Wartung, Projekte
- Anlagenausfälle / Störungen  
Rüsten/Einstellen, Mat./Pers.-Mangel, Werkzeugwechsel
- Anfahrverluste, Kurzstillstände, Geschwindigkeitsverluste
- Ausschuss / Nacharbeit

$$\text{OEE} = \text{Qualitätsfaktor} \times \text{Leistungsfaktor} \times \text{Verfügbarkeitsfaktor}$$

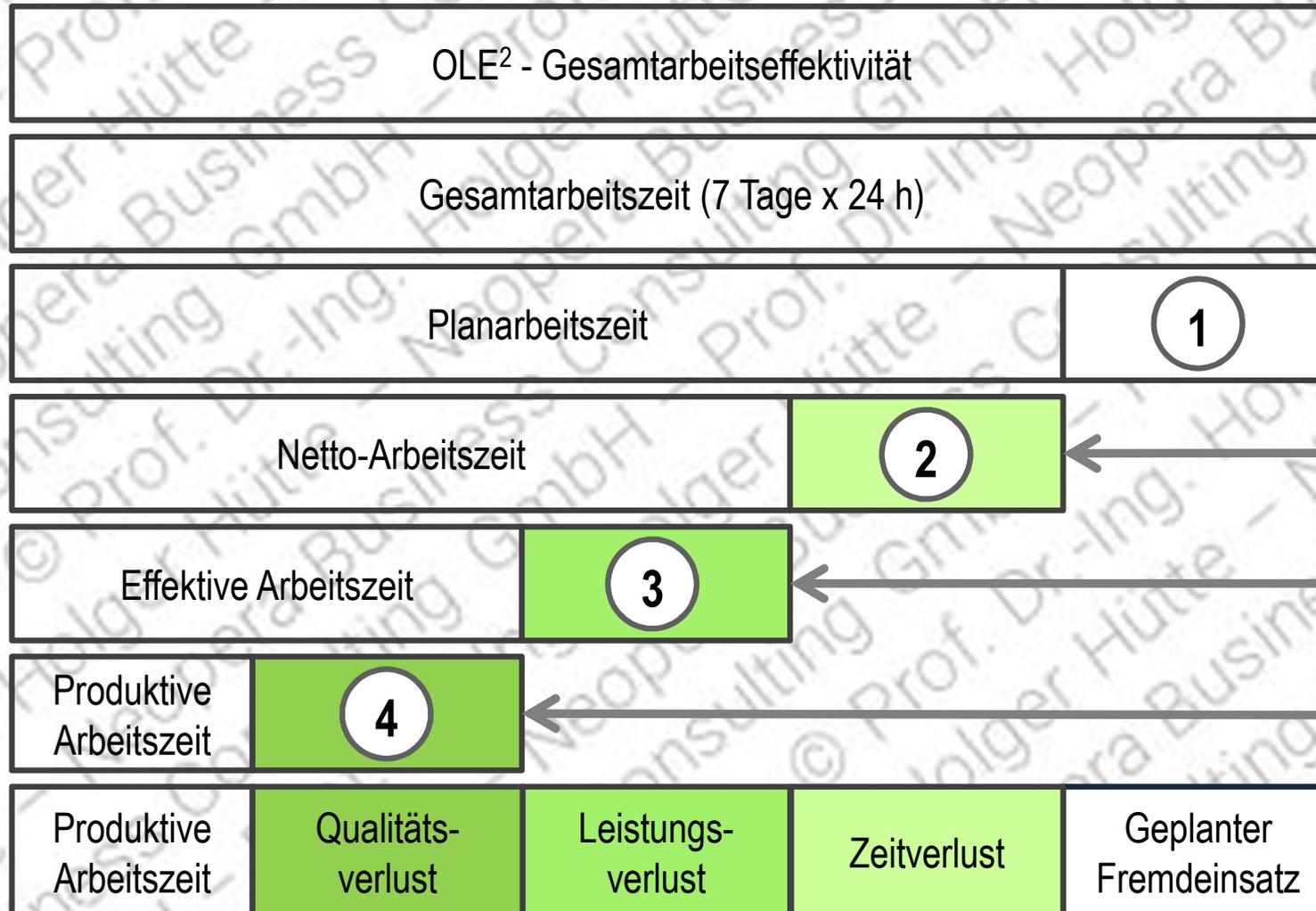
<sup>1</sup> Overall Equipment Effectiveness (OEE)

## Strukturierter Ansatz zur Reduzierung und Vermeidung von Produktivitätsverlusten auf dem Shopfloor

### BEISPIEL

Transparenz

Organisations- und mitarbeiterbedingte Verluste



Einsatz außerhalb des Bereichs, Personalmangel  
Planungs- und Managementverluste\*, Bewegungsverluste  
Verluste durch mangelhafte Arbeits-/Linienorganisation, Training, Int. Logistikverluste  
Verluste durch Messen/Einstellen, Rüst-/Einricht-, Bedienung-, Wartungsfehler

\* Überproduktion, zu hohe Lagerbestände, mangelhafte Planungsprozesse

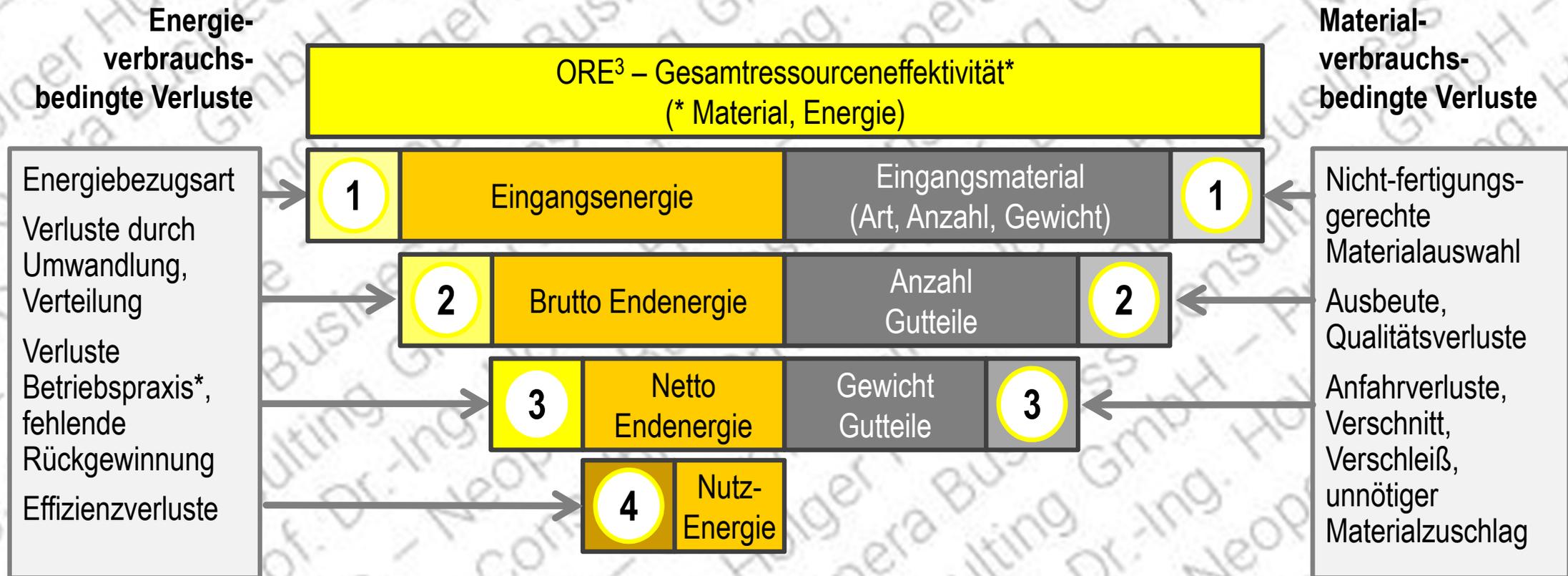
<sup>2</sup> Overall Labor Effectiveness (OLE)

$$OLE = \text{Qualitätsfaktor} \times \text{Leistungsfaktor} \times \text{Verfügbarkeitsfaktor}$$

## Strukturierter Ansatz zur Reduzierung und Vermeidung von Produktivitätsverlusten auf dem Shopfloor

### BEISPIEL

Transparenz

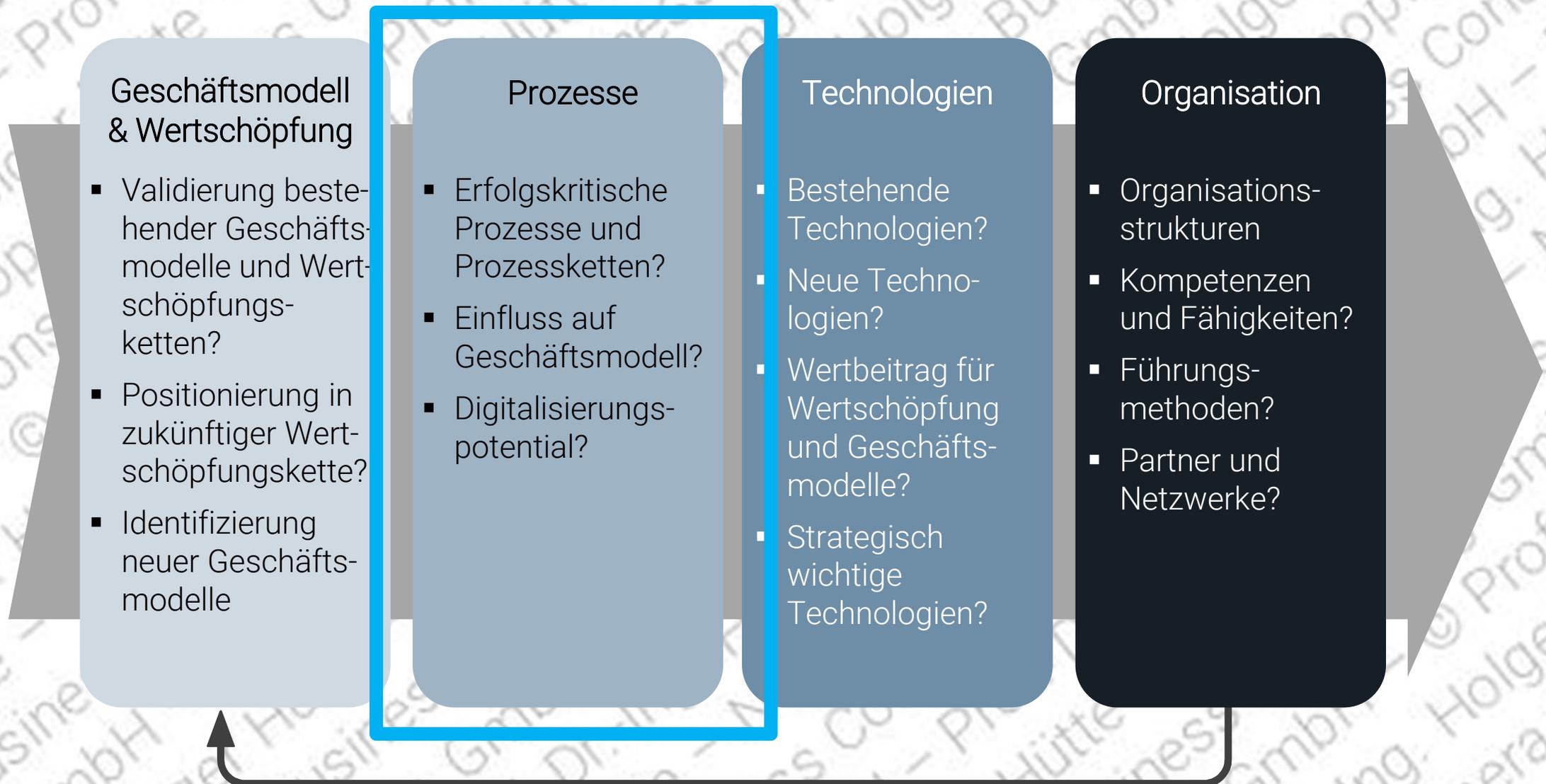


Im Juni 2017 hat das VDI Zentrum Ressourceneffizienz (VDI ZRE) die Studie „[Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0 - Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes](#)“ veröffentlicht

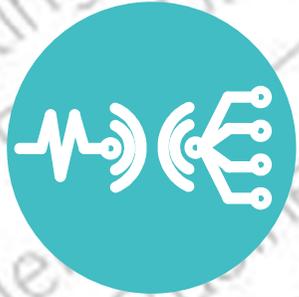
<sup>3</sup> Overall Resource Effectiveness (ORE)

\* Überdimensionierung, Anfahrverluste, Fahrweise, Stand-by-Betrieb

## Schrittweise Veränderung der Wertschöpfungsprozesse und Geschäftsmodelle



Anforderungen



Konnektivität

Sichtbarkeit

Transparenz

Modelierung

Prognosefähigkeit

Adaptierbarkeit

Nutzen  
Wert

Wie Daten austauschen?

„vernetzen“

Was passiert?

„sehen“

Warum passiert es?

„verstehen“

Wie abbilden, was passiert?

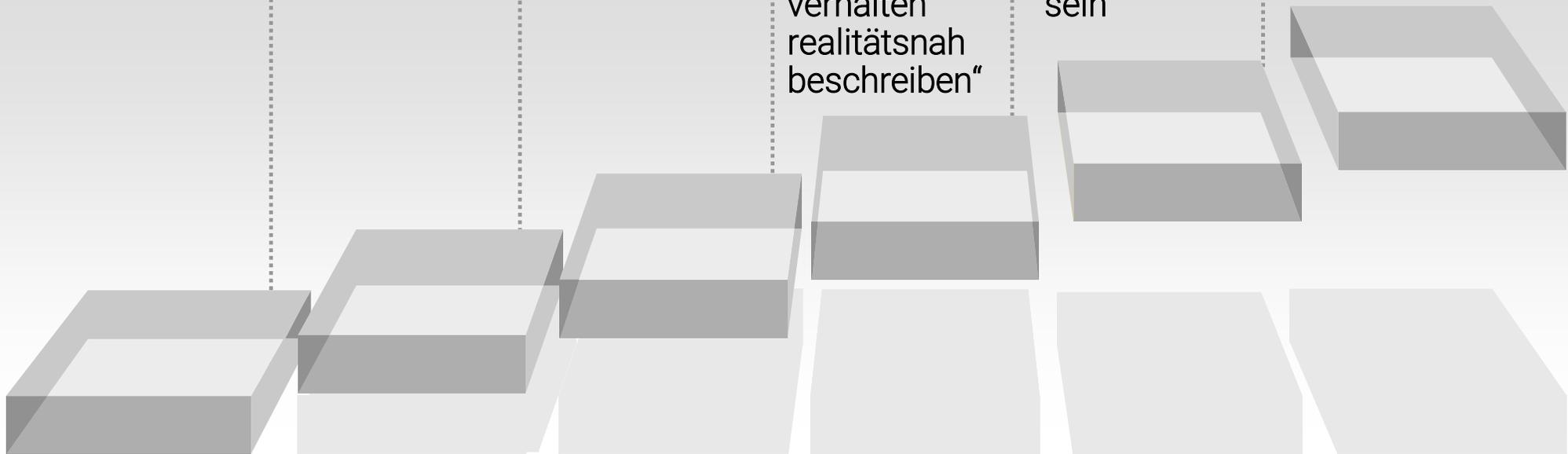
„Systemverhalten realitätsnah beschreiben“

Was wird passieren?

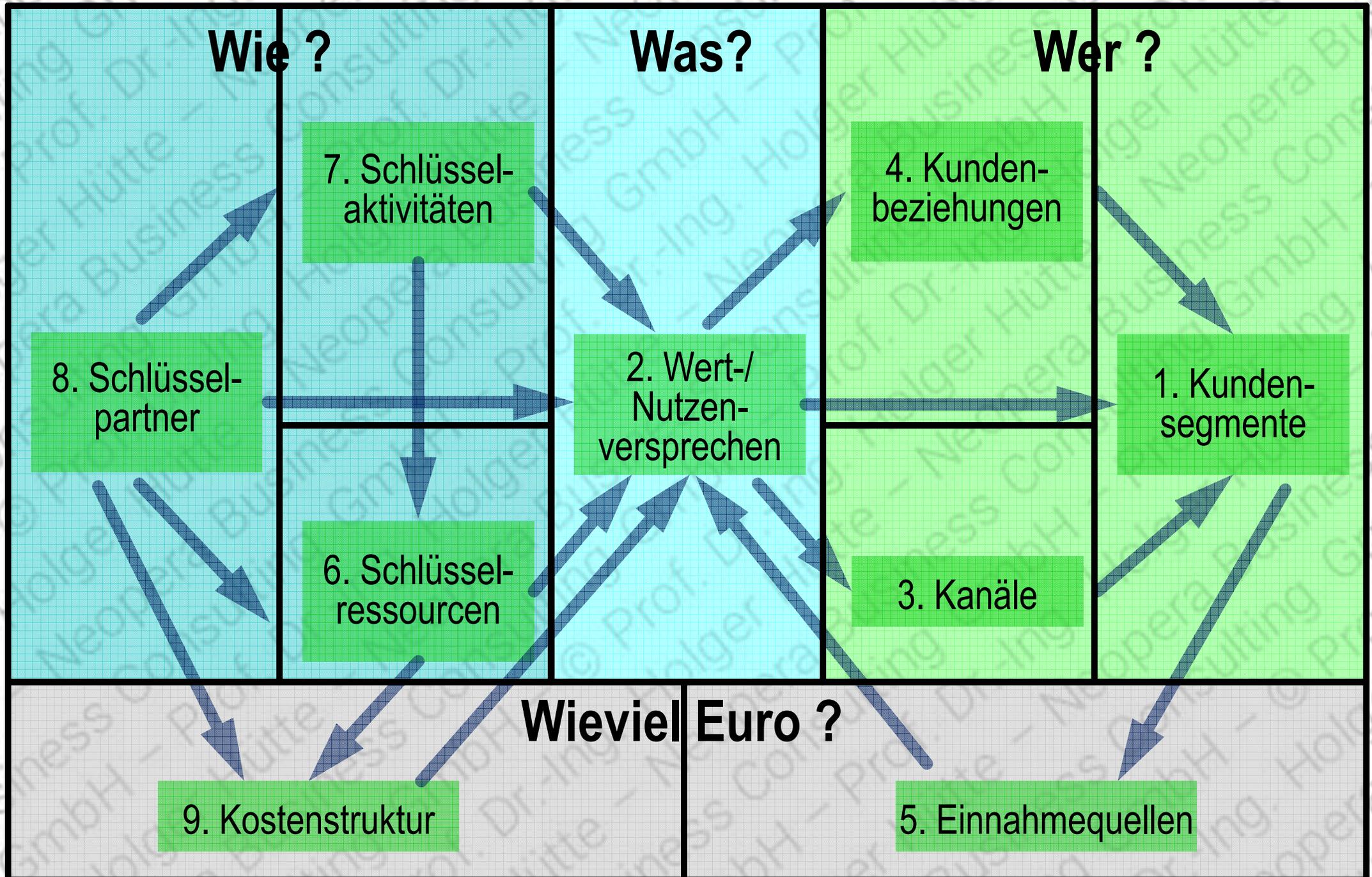
„vorbereitet sein“

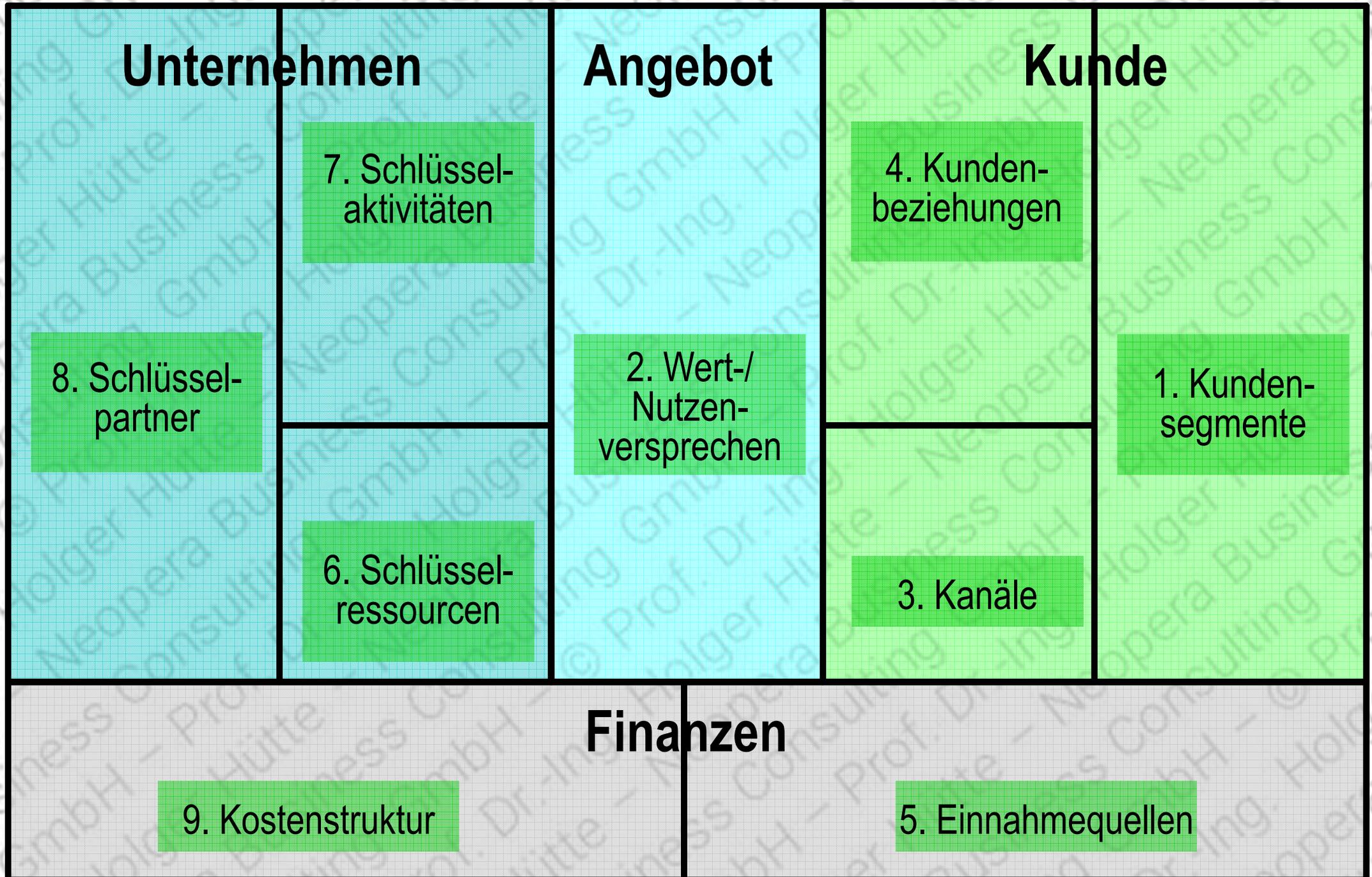
Wie kann autonom reagiert werden?

„selbstoptimierend“

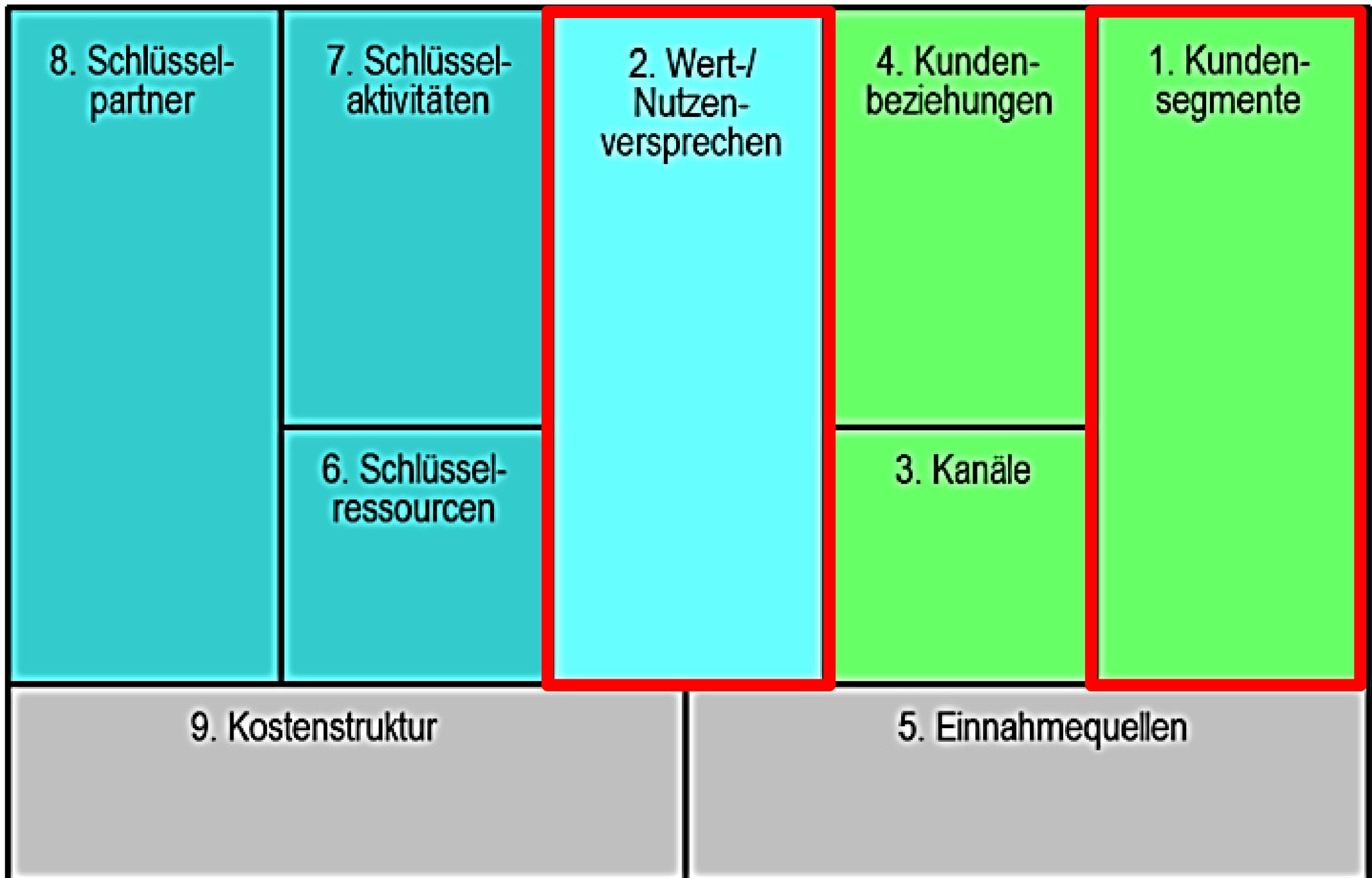


# 4 Kernelemente des Geschäftsmodells

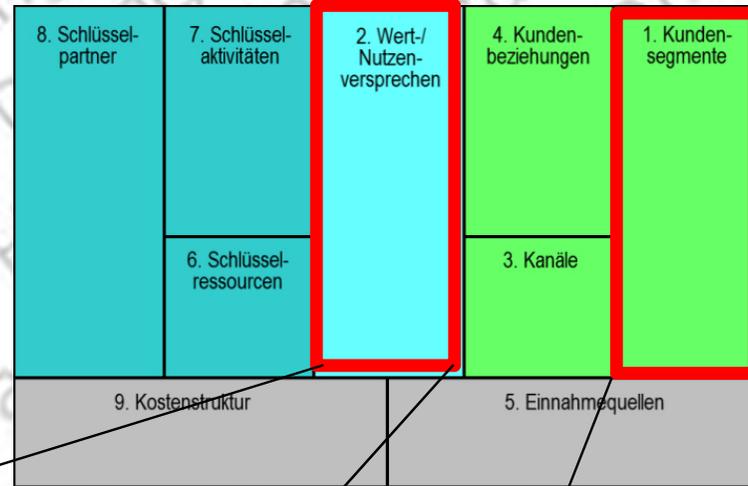




# 9 Bestandteile des Geschäftsmodells

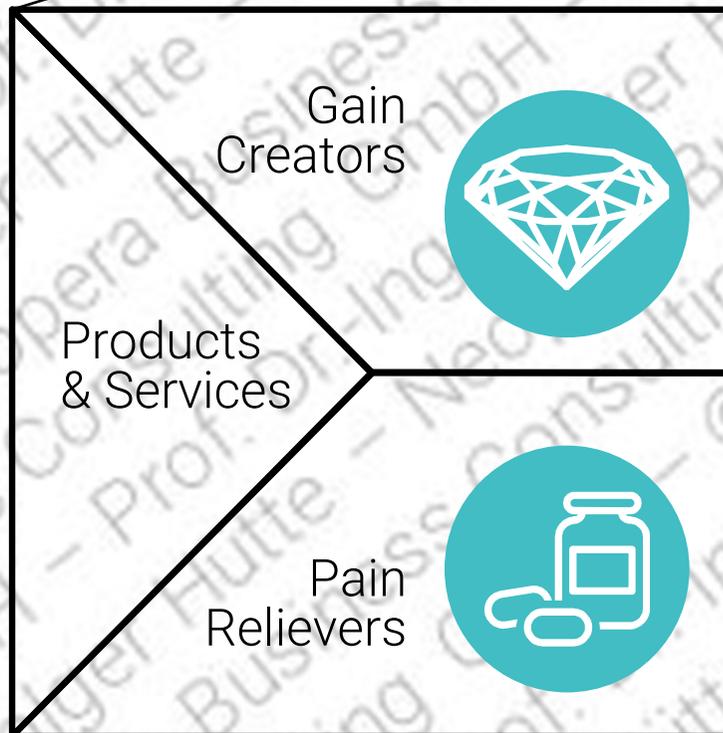


# Sensor Value Proposition

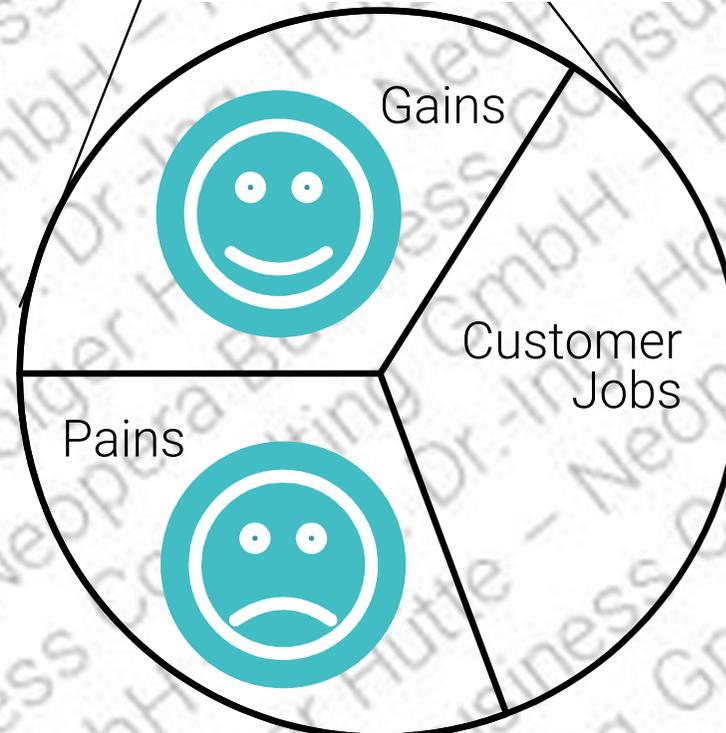


Nutzenversprechen

Kundensegment



=

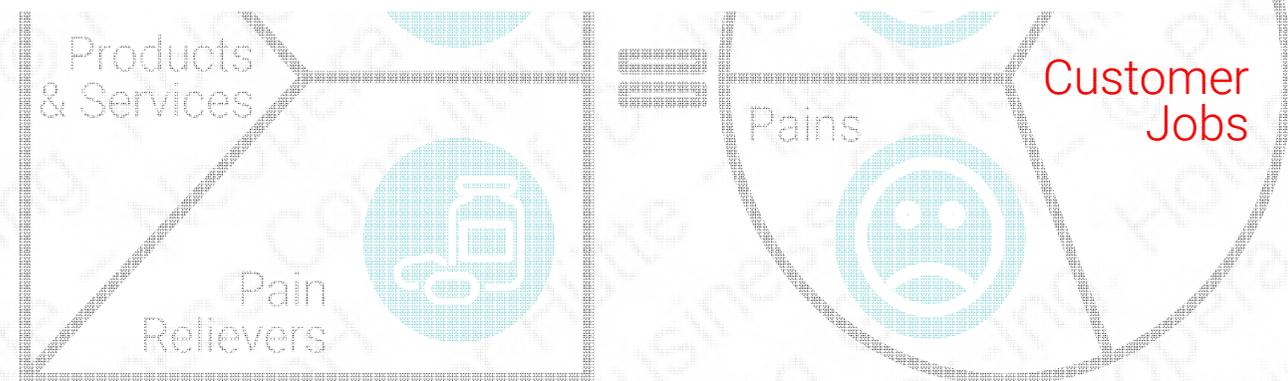


Neudefinition des Nutzenversprechens  
für jedes einzelne Kundensegment:

Beispiel eines „Customer Jobs“:

- Optoelektronische 3D-Sensoren erfassen und werten die Füllstände von Müllcontainern in Echtzeit aus
- je nach Sensor wird die Zusammensetzung des Mülls analysiert
- Neben der höheren Transparenz beim Ressourceneinsatz (primäre Effizienzpotentiale) ...
- ... könnte eine Reihenfolge- bzw. Routenoptimierung der Entleerungsfahrten (sekundäre Effizienzpotentiale) erfolgen.

- datengetriebene F&E
- F&E „vor-Ort“ (Resident Scientist)
- neue Mitarbeiter-Kompetenzprofile



- Welchen Teil der Wertschöpfung ihrer Kunden übernehmen optische Sensorhersteller?
- Wie können optische Sensoren „wertvolle“ Daten erfassen oder Daten in erfolgskritische Informationen umwandeln?
- Wo sind (nicht-)wertschöpfende Kundenprozesse (Effizienz)?
- Wo erfolgt zukünftige Wertschöpfung der Kunden (Effektivität)?
- Welche Informationen sind erfolgskritisch für zukünftige Kunden-Geschäftsmodelle?
- Wie kann das Kunden-Geschäftsmodellverständnis verbessert werden? → **Sensor Value Proposition**
- Wie kann das Kunden-Prozessverständnis verbessert werden? → **Customer (Process-) Journeys**

Sensoranwendung entstehen?

Welche Daten erfasst werden?

Messgrößen		Werkzeugkasten Informationsgenerierung		Werkzeugkasten mechanische Integration		Werkzeugkasten Datenverarbeitung		Werkzeugkasten Kommunikationstechnologien							
Temperatur / Wärmestrahlung	$\Delta T$	Schritte zum Erzeugen und „Verstehen“ der Daten	Festlegung der Vorgehensweise zur initialen Datengenerierung	Sensorpositionierung zur Bestimmung der Messgröße	Messung des primären Effekts an der Wirkstelle	Messung von sekundären Effekten an der Wirkstelle	Einflüsse auf Leistung der Datenverarbeitung	Auflösung des Messsignals	Topologie	Max. Leitungslänge/Reichweite*	Übertragungsgeschwindigkeit*	Zykluszeit*	Fehlererkennung	Bemerkungen	
Durchfluss	Flügelrad-Durchflüssen	Optionen zur Vorverarbeitung der Sensordaten	Linearisierung / Fehlerkompensation der Messwerte	Auf Sensor wirkende äußere Einflüsse	Temperaturen	Vibrationen, Stöße, Kräfte	Ort der Datenverarbeitung	<b>An der</b>	Industrial Ethernet	Ca. 500 m (<4 km mit Sternkoppler / >100km mit Switching) <sup>[1]</sup>	100 Mbit/s bis 1 Gbit/s (CC-Link IE Field) <sup>[2]</sup>	Bis <1 millisek <sup>[2]</sup>	32 Bit CRC <sup>[3]</sup>	Leistungsfähiges Kommunikationssystem mit Echtzeitfähigkeit (Beispiel-Protokolle: Profinet, Sercos III) <sup>[2]</sup>	
Kraft (inkl. Druck, Moment)	Piezoresistiver Sensor	Optionen zur Modellierung des Zusammenhangs	Modellierung durch den Menschen (z.B. statistisch / physikalisch / erfahrungsbasiert)	Beeinflussung der Messung durch das Gehäuse	Mechanische Beeinflussung / Dämpfung (z.B. Vibration)	Magnetische / elektrische Schirmung	Bereitstellung der generierten Informationen / Daten	<b>A</b>	Sercos III	Vgl. Ethernet	100 Mbit/s (redundante Datenübertragung bei Doppelring) <sup>[3]</sup>	31,25 microsec bis 65 millisek <sup>[3]</sup>	CRC-Check (Sercos Safety), Fehlertoleranz gegen Kabelbruch <sup>[3,2]</sup>	Weiterentwicklung von Sercos auf Basis Standard-Ethernet <sup>[2]</sup>	
Beschleunigung	Piezoelektrischer Sensor	Maschinelles Lernen (Zielsetzungen)		Gehäuseintegration	<b>Zusätzliches Gehä</b>		Anzeige direkt am Sensor	<b>Au</b>	Profibus-DP	Bis 1200 m (geschirmte, verdrehte Zweidrahtleitung), bis 3 km (Glasfaser) <sup>[2]</sup>	bis 12 Mbaud (meist RS485 Technologie) <sup>[2]</sup>	6 millisek <sup>[2]</sup>	Paritätsprüfung von Sercos auf Basis Blockcheck (LRC) <sup>[3]</sup>	Breiter Anwendungsbereich in Fertigungs- und Prozessautomatisierung <sup>[2]</sup>	
Hörschall / Körperschall	Piezo-Mikrofon	Schritte zur Evaluation	Feldtest des Sensorsystems mit Datenverarbeitung und Interpretationsmodell	Mechanischer Schutz des Messfühlers	Entkoppeln von Gehäuse und Platine von Komponente	Vergießen oder Verschäumen der Komponenten	Zugriffsrechte auf Sensordaten	<b>Nu</b>	Interbus	12,8 km (Kupferkabel) bis 80 km (Glasfaser) <sup>[2]</sup>	Bis 16 Mbit/s <sup>[2]</sup>	<4 millisek <sup>[2]</sup>	16 Bit CRC <sup>[3]</sup>	Feldbus für industrielle Automation <sup>[2]</sup>	
Position / Abstand / Winkel und ihre Änderungen (z.B. Geschwindigkeit)	Lineare / rotatorische Encoder (z.B. Potentiometer/ optisch)			Gehäusefertigung	<b>Kleinere Stückzahl</b> ← → <b>Gr</b>		Nur für Maschine/ Prozess (gekapselt)	<b>AS</b>	CAN-Bus	Bis 1 km <sup>[1]</sup>	1 Mbaud <sup>[1]</sup>	160 microsec <sup>[3]</sup>	15 Bit CRC <sup>[3]</sup>	Schneller Bus, Nutzung in Fahrzeugtechnik oder Antriebstechnik <sup>[4]</sup>	
Füllstand	Schwimmer, Ultraschallsensor, Radar/ Mikrowelle			Energieübertragung	<b>Versorgung notwendig</b> ← → <b>Au</b>		Drahtgebundene Energieübertragung	<b>AS-Interface</b>	IO-Link	max. 20 m, (ungeschirmt) <sup>[5]</sup>	4,8 kbaud bis 230,4 kbaud <sup>[5]</sup>	400 millisek <sup>[5]</sup>	24V-Pegel (Kommunikationsabbruch nach 2 Wiederholversuchen) <sup>[5]</sup>	Standard zur Anbindung von Sensoren und Aktoren (Standard für Anschlüsse und Kommunikation) <sup>[5]</sup>	
Identifikation von Objekten	Bildsensoren, Barcode-/ QR-Code-Scanner, RFID / NFC				3D-Druck	Spanende Einzelfertigung	Spanende Serienfertigung	Umformen, z.B. Tiefziehen	RS232	Punkt-zu-Punkt <sup>[1]</sup>	bis 900 m <sup>[1]</sup>	Bis zu 19,2 kbaud <sup>[1]</sup>	n.a.	Paritätsbit <sup>[3]</sup>	Erdungssymmetrische Schnittstelle (Signalpegel wird zur Masse gemessen) <sup>[1]</sup>
					Drahtlose Energieübertragung (insb. induktiv)	Drahtlose Energieübertragung (insb. induktiv)	Akku	Lebensdauerbatterie	RS485	Mehrpunktverbindung, z.B. für Profibus geeignet <sup>[1]</sup>	Bis 1200 m <sup>[1]</sup>	93,75 kbaud <sup>[1]</sup>	n.a.	Paritätsbit möglich (vgl. Profibus <sup>[2]</sup> )	Einfach und oft kostengünstig, bevorzugt für hohe Übertragungsraten <sup>[2]</sup>
									Analog (...20 mA)	Zweipunktverbindung <sup>[1]</sup>	Max. 1000 m <sup>[1]</sup>	9,6 kbaud <sup>[1]</sup>	n.a.	Paritätsbit <sup>[1]</sup>	Analogsignal in Form von Stromstärke <sup>[2]</sup>
									WLAN	Infrastrukturnetz oder Ad-hoc-Netz (vermaschte Topologie mit Router) <sup>[6]</sup>	Ca. 10-20 m (für 11 Mbit) <sup>[7]</sup>	11 Mbit bis max. 6,9 Gbit/s bei 5GHz Frequenzband (abhängig vom genutzten Standard) <sup>[7]</sup>	n.a.	Barker Code (Wandlung von 1Bit in 11 Chips ermöglicht Lesen von fehlerhaften Bits für erhöhte Redundanz) <sup>[7]</sup>	Drahtlose Datenübertragung, Verschlüsselung notwendig <sup>[7]</sup>
									Bluetooth	Ad-hoc-Netz (benötigt keine Infrastruktur) <sup>[8]</sup>	10-100 m je nach Endgerät <sup>[7]</sup>	Bis zu 3 Mbit/s (Bluetooth 2.0, EDR) <sup>[7]</sup>	625 microsec (min.) <sup>[7]</sup>	Forward Error Correction Algorithmus reduziert Übertragungsfehler <sup>[7]</sup>	Drahtlose Datenübertragung im Nahbereich mit geringem Energieverbrauch <sup>[8]</sup>

Quelle: VDMA Forum Industrie 4.0, Karlsruher Institut für Technologie (KIT) - wbk Institut für Produktionstechnik; Leitfaden Sensorik für Industrie 4.0 – Wege zu kostengünstigen Sensorsystemen, März 2018

- Den VDMA-Werkzeugkasten für Sensoranwender kennen
- Lösungen (nicht Produkte) entwickeln
- Zukunftsträchtige Leitanwender/-anwendungen identifizieren, frühe Kooperation suchen → **Trendmap, Wertschöpfungsszenarien**
- Welche Aspekte des Consumer-Sektors sind übertragbar?  
→ **Anforderungen prüfen und ggf. reduzieren, Blue Ocean suchen, Customer Journeys --> Lean Design!**
- Einfachere Lösungen schneller umsetzen  
→ **Ökosysteme, Entwicklungsplattformen von Consumer-Elektronik Herstellern nutzen**
- Branchenübergreifende (skalierbare!) Lösung senkt Sensorkosten  
→ **Kostenfunktion  $f$  (Stückzahl) und Kosteneinflussfaktoren in allen Entwicklungsschritten über Design to Cost\* entwickeln**



## NEOPERA BUSINESS CONSULTING GMBH



**Prof. Dr.-Ing. Holger Huette**



+49 (0)1575 79 40 412



[www.neoperabc.com](http://www.neoperabc.com)



[huette@neoperabc.com](mailto:huette@neoperabc.com)



Am Lehester Deich 101d | 28357 Bremen

## Fragen ?