

Promotionsvortrag

Auswirkungen des Toyota-Produktionssystems auf den automobilen Produktentstehungsprozess

Aachen, 10. März 2009

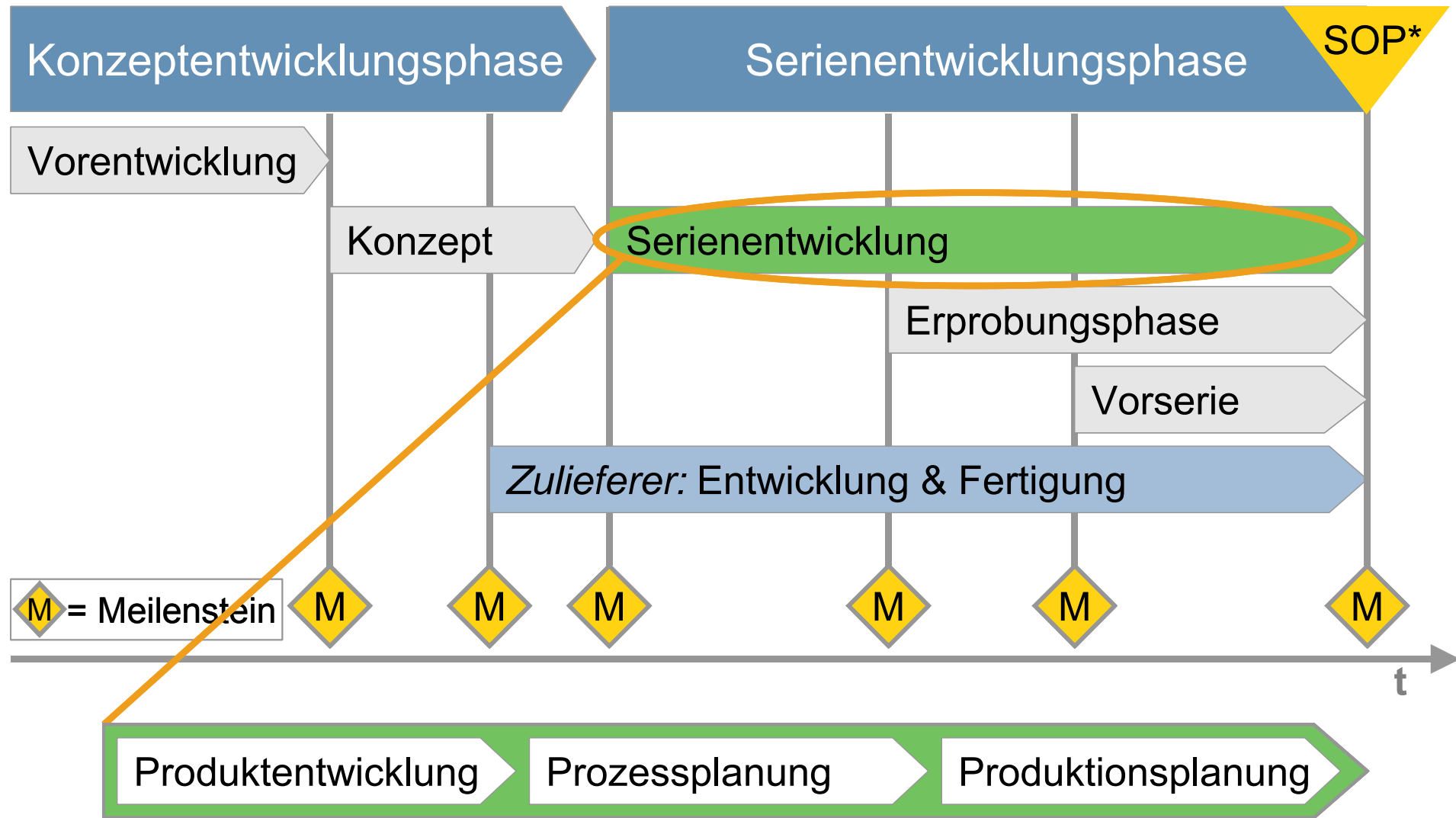
Dipl.-Ing. Arndt Freialdenhoven
Institut für Kraftfahrzeuge
RWTH Aachen University

Übersicht

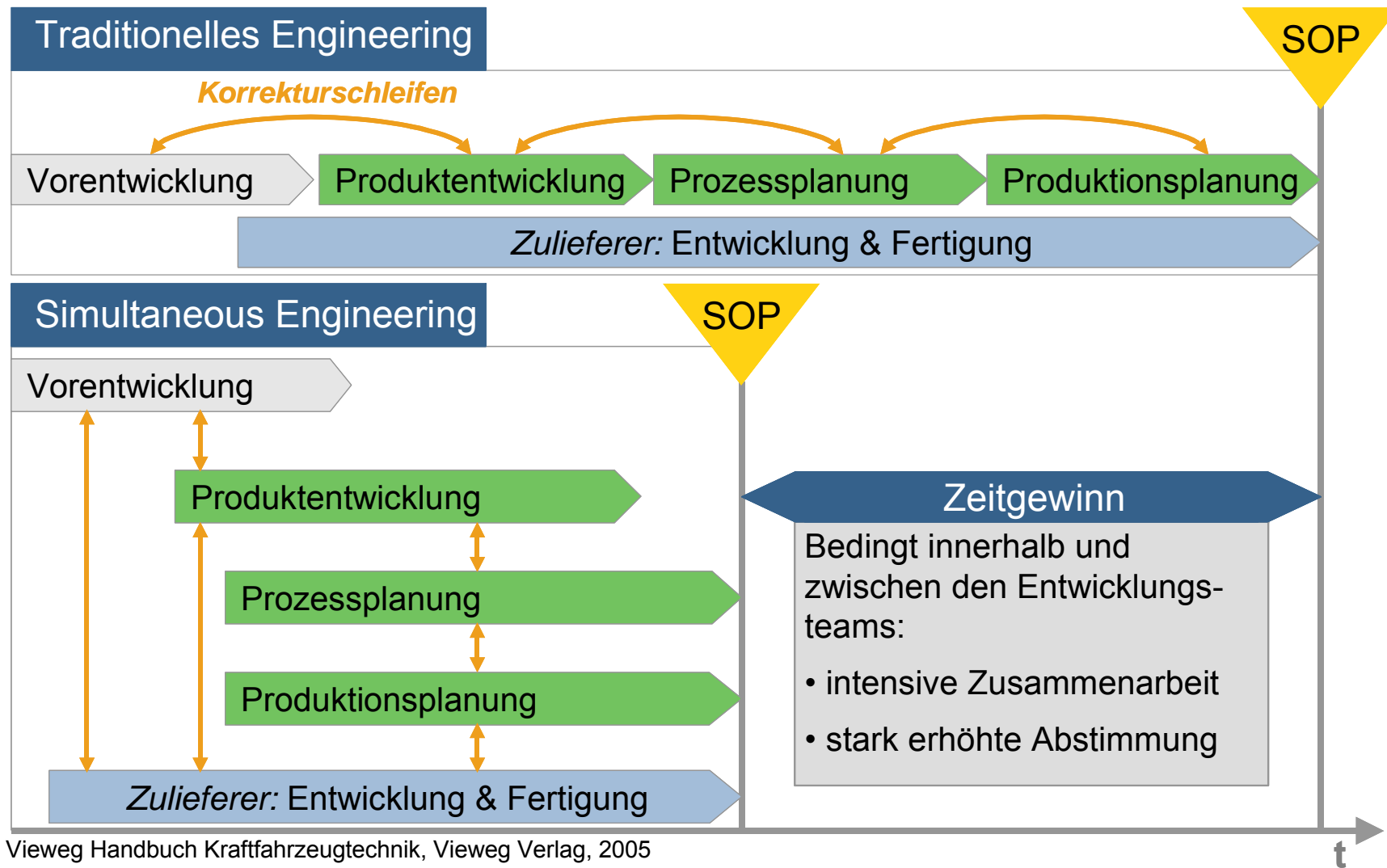
- Aktuelle Entwicklungsprozesse in der Automobilindustrie
- Grundlagen des Toyota-Produktionssystems
- Methodisches Vorgehen bei Verbesserungsprojekten
- Anwendung der Methodik am Beispiel der elektrischen Parkbremse
- Zusammenfassung

Traditioneller Produktentstehungsprozess

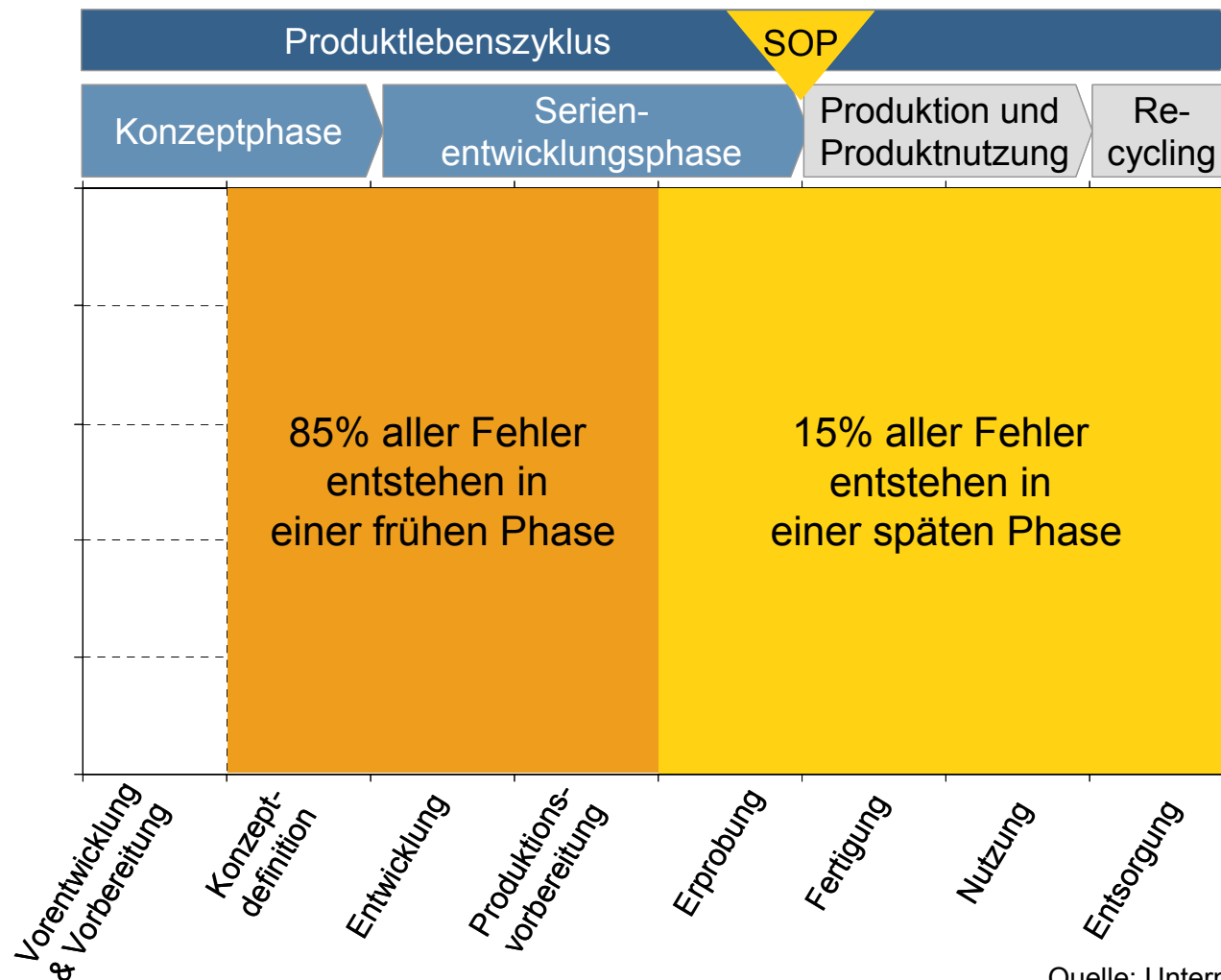
Sequentielle Entwicklungsphasen



Weiterentwicklung durch Simultaneous Engineering: Verkürzung durch parallelisierte Entwicklungsphasen

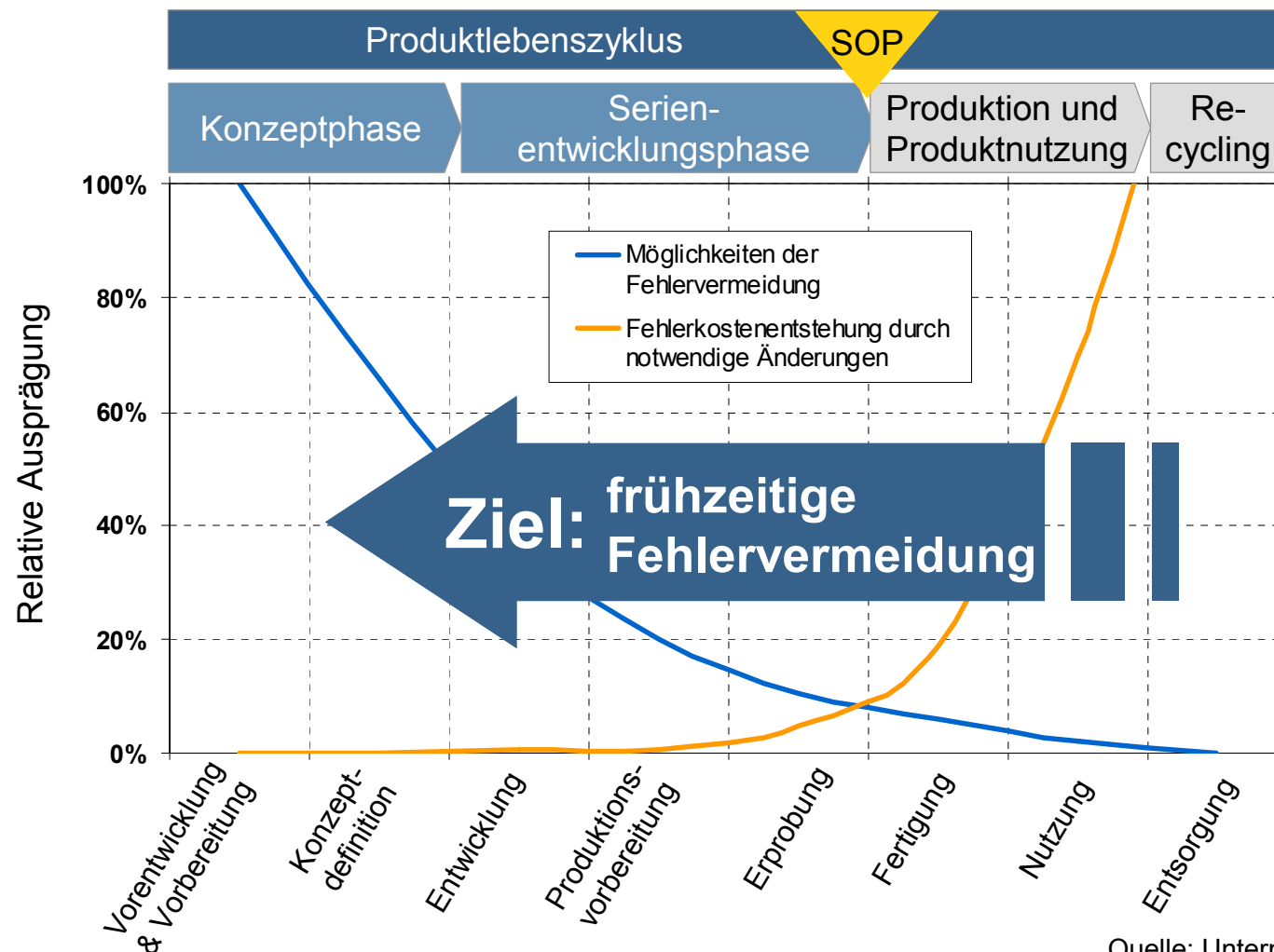


Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung: *Senkung der Fehlerkosten durch Fehlervermeidung*



Quelle: Unternehmensberatung Dietz, 2006

Qualitätsmanagement in der Produktentwicklung: Senkung der Fehlerkosten durch Fehlervermeidung



Quelle: Unternehmensberatung Dietz, 2006

Herausforderungen für den Entwicklungsprozess in Automobilindustrie

Allgemeine Herausforderungen im Entwicklungsprozess

- **Verkürzung der Entwicklungszeit** für Fahrzeughersteller und Zulieferer
- Systematische **Fehlervermeidung** bereits in der frühen Entwicklungsphase
- Sicherstellung **höchster Produktqualität** zu **minimalen Entwicklungskosten**

Konsequenzen für den automobilen Entwicklungsprozess

- Fokussierung auf die Erreichung drei übergeordneter **Schlüsselkriterien**:

Hohe Qualität

Niedrige Kosten

Kurze Zeit

- Erfüllung der gestiegenen Anforderungen erfordert eine **effiziente** und **zielorientierte Kommunikation** zwischen allen beteiligten Teams.

Übersicht

- Aktuelle Entwicklungsprozesse in der Automobilindustrie
- Grundlagen des Toyota-Produktionssystems
- Methodisches Vorgehen bei Verbesserungsprojekten
- Anwendung der Methodik am Beispiel der elektrischen Parkbremse
- Zusammenfassung

Grundlagen des Toyota- Produktionssystems: *Ausgangslage*

Situation der japanischen Automobilindustrie

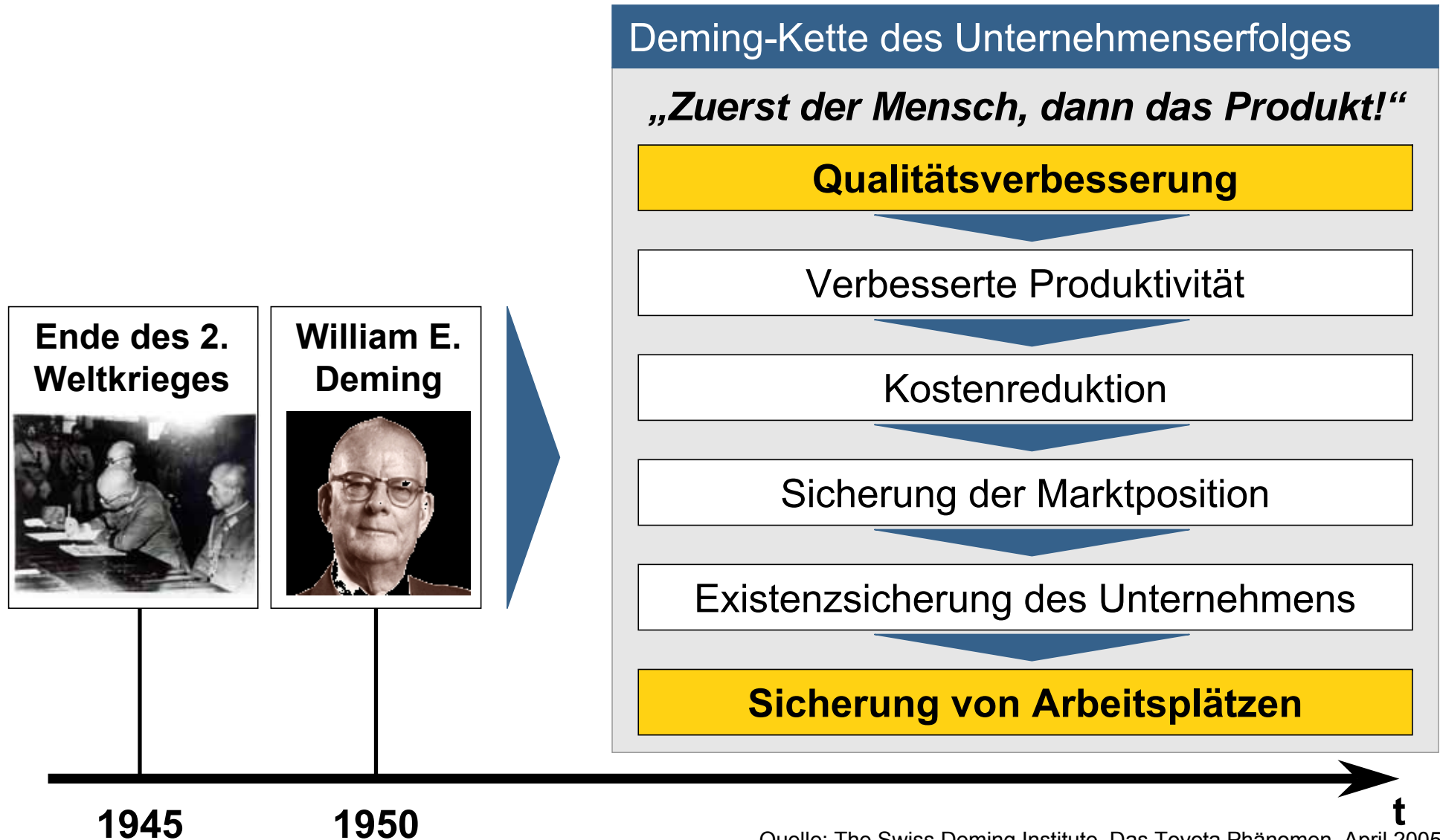
- Sehr kleiner japanischer Binnenmarkt
- Keine ausländischen Hersteller auf dem japanischen Markt vertreten
- Große Konkurrenz unter den lediglich drei japanischen Automobilherstellern (Toyota, Nissan und Isuzu)
- System der Massenproduktion nach amerikanischem Vorbild (z.B. Ford) ist für den japanischen Markt unwirtschaftlich, da Forderung nach
 - hoher Variantenvielfalt
 - geringen Stückzahlen

**Ende des 2.
Weltkrieges**

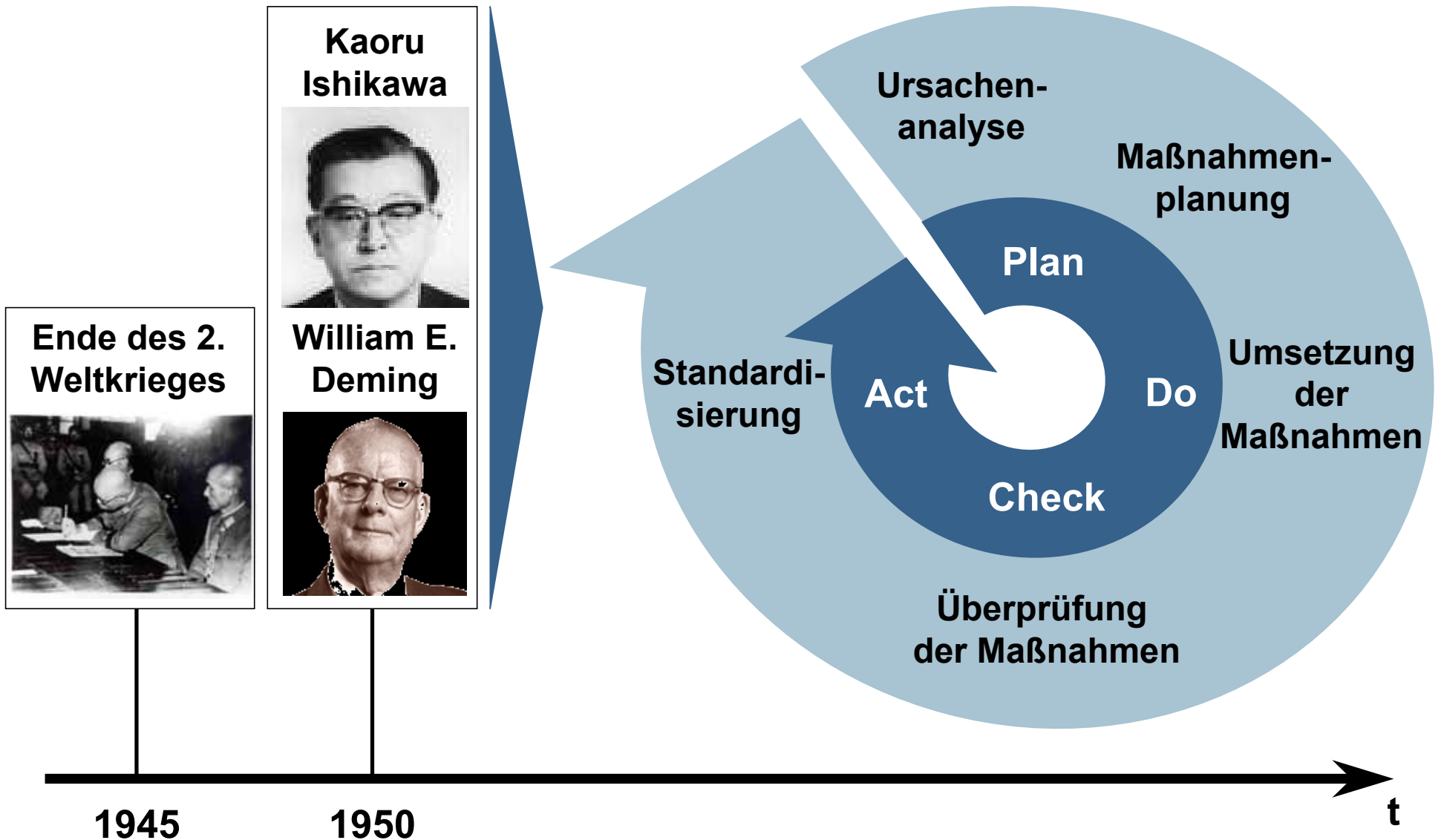


1945

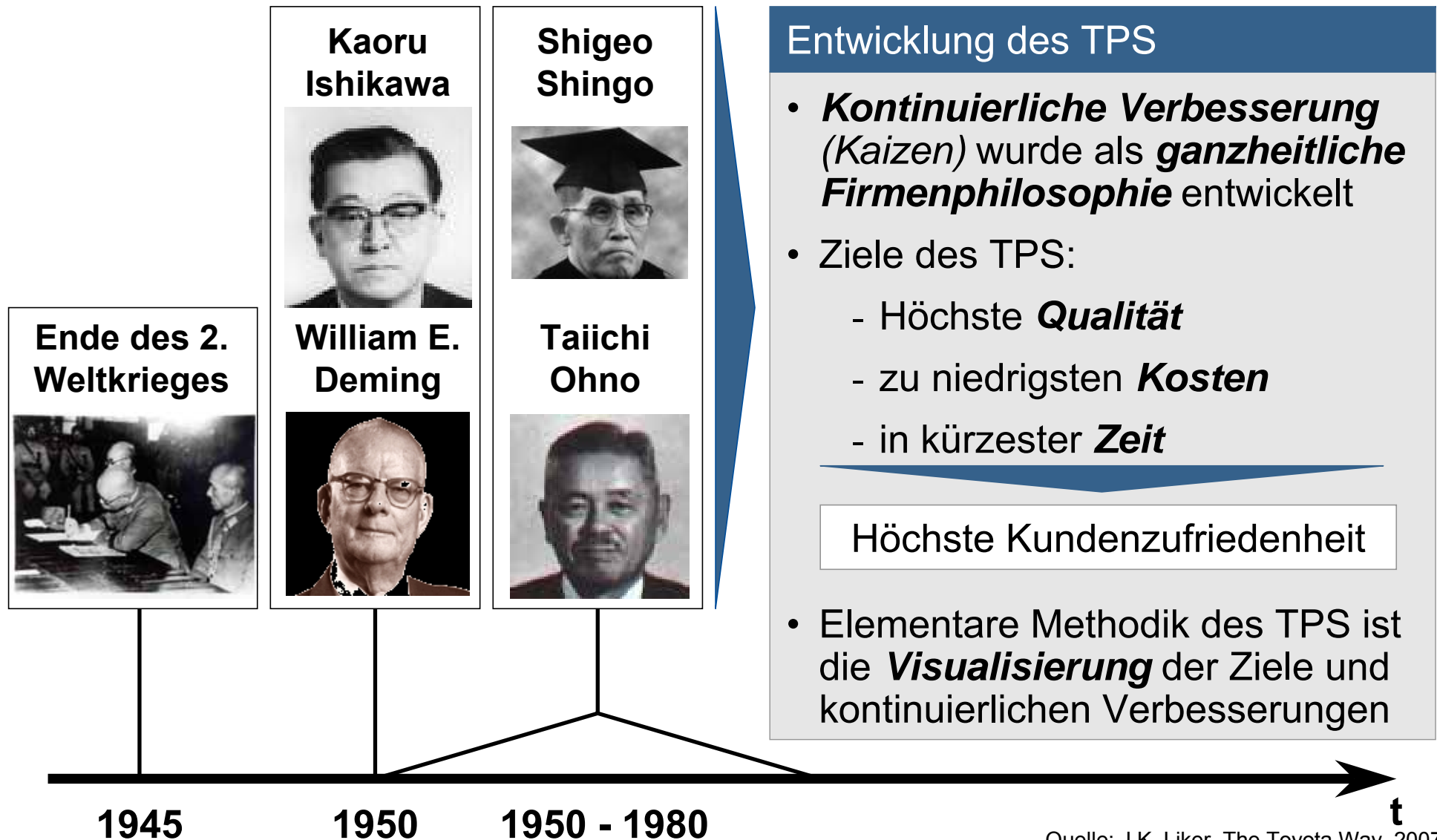
Grundlagen des Toyota-Produktionssystems: *Ursprung des TPS*



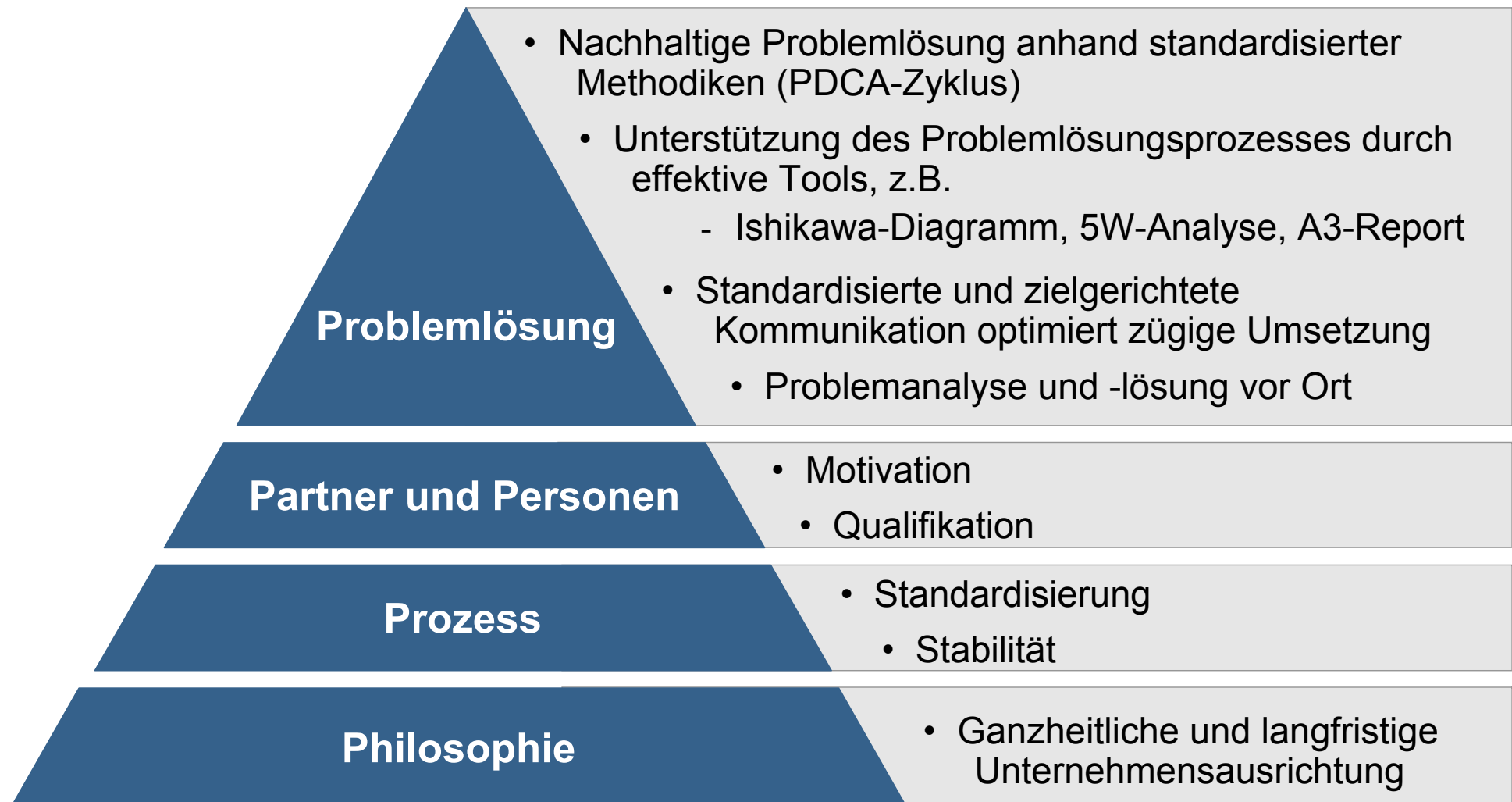
Grundlagen des Toyota-Produktionssystems: *PDCA-Zyklus*



Grundlagen des Toyota-Produktionssystems: *Philosophie und Ziele*



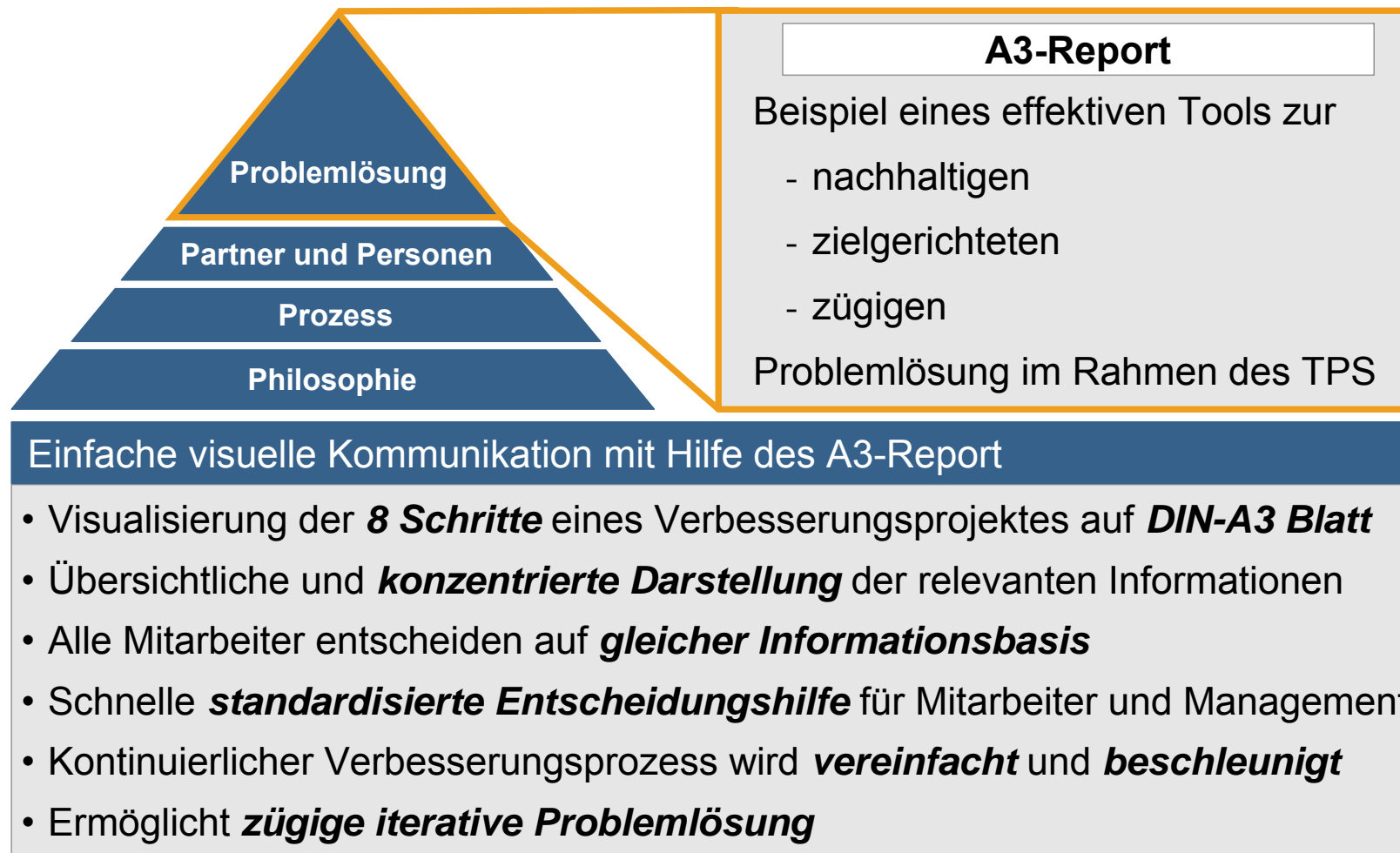
Grundlagen des Toyota- Produktionssystems: *Das 4P-Modell*



Übersicht

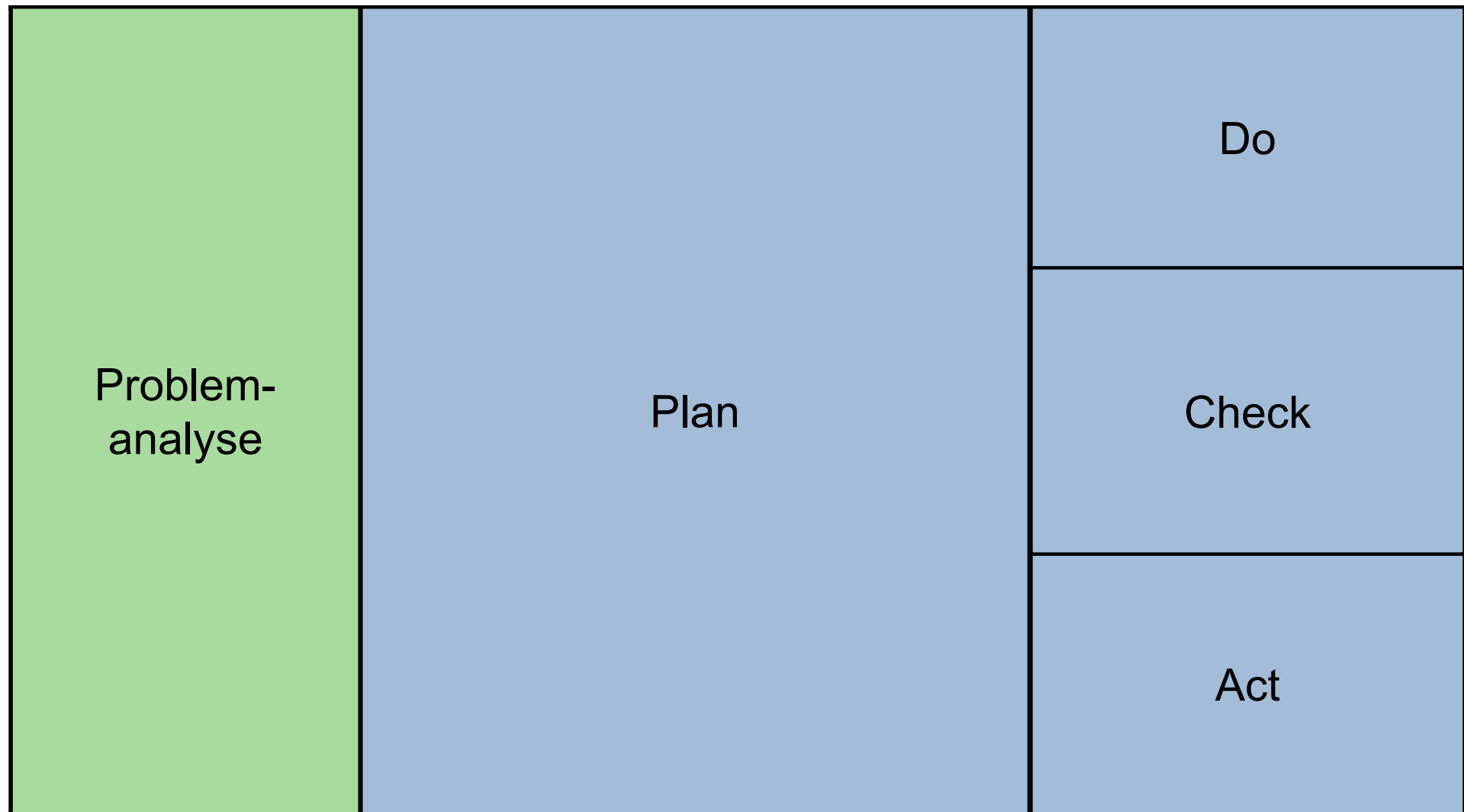
- Aktuelle Entwicklungsprozesse in der Automobilindustrie
- Grundlagen des Toyota-Produktionssystems
- Methodisches Vorgehen bei Verbesserungsprojekten
- Anwendung der Methodik am Beispiel der elektrischen Parkbremse
- Zusammenfassung

Methodisches Vorgehen bei Verbesserungsprojekten *Problemlösungsmethoden im TPS*



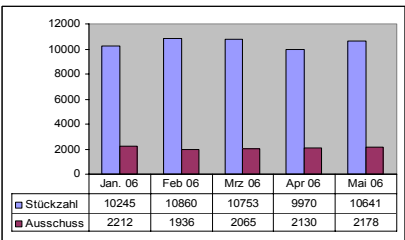
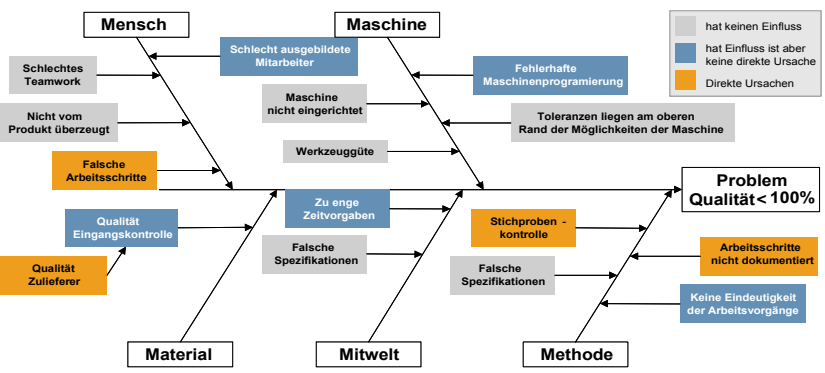

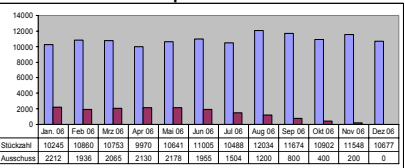
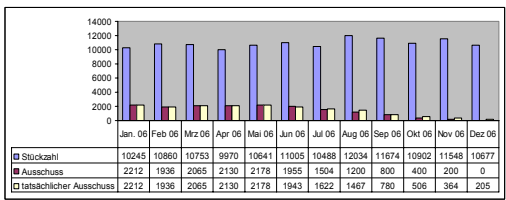
Problemlösung mit Hilfe des A3-Report

Systematisierung und Visualisierung des PDCA-Zyklus



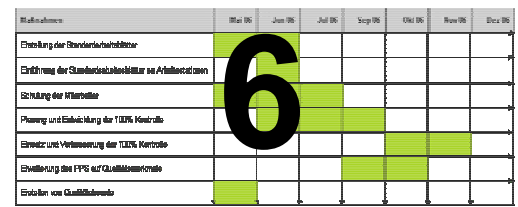
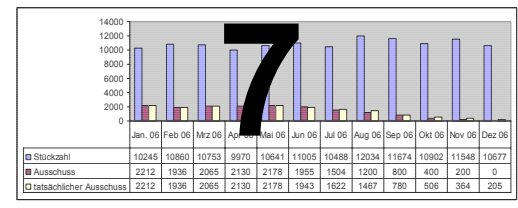
Problemlösung mit Hilfe des A3-Report

Systematisierung und Visualisierung des PDCA-Zyklus

<h3>1. Grund für Projektwahl</h3> <ul style="list-style-type: none"> Mangelhafte Qualität der Bauteile hoher Ausschuss Führt zu hoher Nachbearbeitungszeit- und kosten 	<h3>4. Analyse der Ursachen</h3> <p>Zusammen mit allen verantwortlichen Mitarbeitern Problem mit Hilfe des Ursache-Wirkungsdiagramm analysieren</p>	<h3>6. Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen</h3>																																																																																																							
<h3>2. Ist-Zustand</h3>  <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Jan. 06</th> <th>Feb. 06</th> <th>Mrz. 06</th> <th>Apr. 06</th> <th>Mai 06</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Stückzahl</td> <td>10245</td> <td>10860</td> <td>10753</td> <td>9970</td> <td>10641</td> </tr> <tr> <td>Ausschuss</td> <td>2212</td> <td>1936</td> <td>2065</td> <td>2130</td> <td>2178</td> </tr> </tbody> </table>		Jan. 06	Feb. 06	Mrz. 06	Apr. 06	Mai 06	Stückzahl	10245	10860	10753	9970	10641	Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178	 <p>Problem Qualität < 100%</p> <p>Legende: - hat keinen Einfluss (grau) - hat Einfluss ist aber keine direkte Ursache (blau) - Direkte Ursachen (orange)</p>	 <table border="1"> <thead> <tr> <th>Maßnahme</th> <th>Mai 06</th> <th>Jun 06</th> <th>Juli 06</th> <th>Sep 06</th> <th>Ok 06</th> <th>Nov 06</th> <th>Dez 06</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Erhebung der Standardabweichung</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Erhöhung der Standardabweichung von Arbeitsschritten</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bildung der Mitarbeiter</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Planung und Einführung der 100% Kontrolle</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Einführung und Verbesserung der 100% Kontrolle</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Erweiterung des PPS auf Qualitätsmerkmale</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Einführung von Qualitätsboards</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	Maßnahme	Mai 06	Jun 06	Juli 06	Sep 06	Ok 06	Nov 06	Dez 06	Erhebung der Standardabweichung								Erhöhung der Standardabweichung von Arbeitsschritten								Bildung der Mitarbeiter								Planung und Einführung der 100% Kontrolle								Einführung und Verbesserung der 100% Kontrolle								Erweiterung des PPS auf Qualitätsmerkmale								Einführung von Qualitätsboards																												
	Jan. 06	Feb. 06	Mrz. 06	Apr. 06	Mai 06																																																																																																				
Stückzahl	10245	10860	10753	9970	10641																																																																																																				
Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178																																																																																																				
Maßnahme	Mai 06	Jun 06	Juli 06	Sep 06	Ok 06	Nov 06	Dez 06																																																																																																		
Erhebung der Standardabweichung																																																																																																									
Erhöhung der Standardabweichung von Arbeitsschritten																																																																																																									
Bildung der Mitarbeiter																																																																																																									
Planung und Einführung der 100% Kontrolle																																																																																																									
Einführung und Verbesserung der 100% Kontrolle																																																																																																									
Erweiterung des PPS auf Qualitätsmerkmale																																																																																																									
Einführung von Qualitätsboards																																																																																																									
<h3>3. Zielsetzung</h3> <ul style="list-style-type: none"> Maximale Qualität der Bauteile Bauteilfehlerquote 0% 	<h3>5. Verbesserungsmaßnahmen</h3> <ul style="list-style-type: none"> Arbeitsschritte dokumentieren und an allen Arbeitsstationen gut sichtbar anbringen (Standardarbeitsblätter) Mitarbeiter schulen 100% Kontrolle einführen, auch bei Eingangskontrolle Einführung von Qualitätsboards Qualität in PPS festhalten 	<h3>8. Erkenntnisse</h3> <ul style="list-style-type: none"> Problemlöseprozess zusammen mit den unmittelbar beteiligten Personen Problemlösewerkzeuge (z.B. 5W) nutzen Visualisierung und Dokumentation von Daten und Arbeitsschritten Einfache Lösungen finden 																																																																																																							
 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Jan. 06</th> <th>Feb. 06</th> <th>Mrz. 06</th> <th>Apr. 06</th> <th>Mai 06</th> <th>Jun 06</th> <th>Juli 06</th> <th>Aug. 06</th> <th>Sep. 06</th> <th>Ok 06</th> <th>Nov 06</th> <th>Dez 06</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Stückzahl</td> <td>10245</td> <td>10860</td> <td>10753</td> <td>9970</td> <td>10841</td> <td>11005</td> <td>10488</td> <td>12034</td> <td>11674</td> <td>10902</td> <td>11548</td> <td>10677</td> </tr> <tr> <td>Ausschuss</td> <td>2212</td> <td>1936</td> <td>2065</td> <td>2130</td> <td>2178</td> <td>1955</td> <td>1504</td> <td>1200</td> <td>800</td> <td>400</td> <td>200</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>falschlicher Ausschuss</td> <td>2212</td> <td>1936</td> <td>2065</td> <td>2130</td> <td>2178</td> <td>1943</td> <td>1622</td> <td>1487</td> <td>780</td> <td>508</td> <td>364</td> <td>205</td> </tr> </tbody> </table>		Jan. 06	Feb. 06	Mrz. 06	Apr. 06	Mai 06	Jun 06	Juli 06	Aug. 06	Sep. 06	Ok 06	Nov 06	Dez 06	Stückzahl	10245	10860	10753	9970	10841	11005	10488	12034	11674	10902	11548	10677	Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178	1955	1504	1200	800	400	200	0	falschlicher Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178	1943	1622	1487	780	508	364	205	 <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>Jan. 06</th> <th>Feb. 06</th> <th>Mrz. 06</th> <th>Apr. 06</th> <th>Mai 06</th> <th>Jun 06</th> <th>Juli 06</th> <th>Aug. 06</th> <th>Sep. 06</th> <th>Ok 06</th> <th>Nov 06</th> <th>Dez 06</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Stückzahl</td> <td>10245</td> <td>10860</td> <td>10753</td> <td>9970</td> <td>10641</td> <td>11005</td> <td>10488</td> <td>12034</td> <td>11674</td> <td>10902</td> <td>11548</td> <td>10677</td> </tr> <tr> <td>Ausschuss</td> <td>2212</td> <td>1936</td> <td>2065</td> <td>2130</td> <td>2178</td> <td>1955</td> <td>1504</td> <td>1200</td> <td>800</td> <td>400</td> <td>200</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>falschlicher Ausschuss</td> <td>2212</td> <td>1936</td> <td>2065</td> <td>2130</td> <td>2178</td> <td>1943</td> <td>1622</td> <td>1487</td> <td>780</td> <td>508</td> <td>364</td> <td>205</td> </tr> </tbody> </table>		Jan. 06	Feb. 06	Mrz. 06	Apr. 06	Mai 06	Jun 06	Juli 06	Aug. 06	Sep. 06	Ok 06	Nov 06	Dez 06	Stückzahl	10245	10860	10753	9970	10641	11005	10488	12034	11674	10902	11548	10677	Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178	1955	1504	1200	800	400	200	0	falschlicher Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178	1943	1622	1487	780	508	364	205
	Jan. 06	Feb. 06	Mrz. 06	Apr. 06	Mai 06	Jun 06	Juli 06	Aug. 06	Sep. 06	Ok 06	Nov 06	Dez 06																																																																																													
Stückzahl	10245	10860	10753	9970	10841	11005	10488	12034	11674	10902	11548	10677																																																																																													
Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178	1955	1504	1200	800	400	200	0																																																																																													
falschlicher Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178	1943	1622	1487	780	508	364	205																																																																																													
	Jan. 06	Feb. 06	Mrz. 06	Apr. 06	Mai 06	Jun 06	Juli 06	Aug. 06	Sep. 06	Ok 06	Nov 06	Dez 06																																																																																													
Stückzahl	10245	10860	10753	9970	10641	11005	10488	12034	11674	10902	11548	10677																																																																																													
Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178	1955	1504	1200	800	400	200	0																																																																																													
falschlicher Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178	1943	1622	1487	780	508	364	205																																																																																													

1. Grund für Projektwahl	4. Analyse der Ursachen	6. Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen
2. Ist-Zustand		7. Bewertung der Maßnahmen
3. Zielsetzung	5. Verbesserungsmaßnahmen	8. Erkenntnisse

Problemlösung mit Hilfe des A3-Report

<p>1. Grund für Projektwahl</p> <p style="text-align: center; font-size: 48px;">1</p>	<p>4. Analyse der Ursachen</p> <p style="text-align: center; font-size: 48px;">4</p>	<p>6. Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen</p> 																																																				
<p>2. Ist-Zustand</p> <p style="text-align: center; font-size: 48px;">2</p>		<p>7. Bewertung der Maßnahmen</p>  <table border="1" data-bbox="1523 1101 2038 1173"> <thead> <tr> <th></th> <th>Jan. 06</th> <th>Feb. 06</th> <th>März 06</th> <th>April 06</th> <th>May 06</th> <th>Jun 06</th> <th>Jul 06</th> <th>Aug 06</th> <th>Sep 06</th> <th>Oct 06</th> <th>Nov 06</th> <th>Dec 06</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Stückzahl</td> <td>10245</td> <td>10860</td> <td>10753</td> <td>9970</td> <td>10641</td> <td>11005</td> <td>10488</td> <td>12034</td> <td>11674</td> <td>10902</td> <td>11548</td> <td>10677</td> </tr> <tr> <td>Ausschuss</td> <td>2212</td> <td>1936</td> <td>2065</td> <td>2130</td> <td>2178</td> <td>1955</td> <td>1504</td> <td>1200</td> <td>800</td> <td>400</td> <td>200</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>tatsächlicher Ausschuss</td> <td>2212</td> <td>1936</td> <td>2065</td> <td>2130</td> <td>2178</td> <td>1943</td> <td>1622</td> <td>1467</td> <td>780</td> <td>506</td> <td>364</td> <td>205</td> </tr> </tbody> </table>		Jan. 06	Feb. 06	März 06	April 06	May 06	Jun 06	Jul 06	Aug 06	Sep 06	Oct 06	Nov 06	Dec 06	Stückzahl	10245	10860	10753	9970	10641	11005	10488	12034	11674	10902	11548	10677	Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178	1955	1504	1200	800	400	200	0	tatsächlicher Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178	1943	1622	1467	780	506	364	205
	Jan. 06	Feb. 06	März 06	April 06	May 06	Jun 06	Jul 06	Aug 06	Sep 06	Oct 06	Nov 06	Dec 06																																										
Stückzahl	10245	10860	10753	9970	10641	11005	10488	12034	11674	10902	11548	10677																																										
Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178	1955	1504	1200	800	400	200	0																																										
tatsächlicher Ausschuss	2212	1936	2065	2130	2178	1943	1622	1467	780	506	364	205																																										
<p>3. Zielsetzung</p> <p style="text-align: center; font-size: 48px;">3</p>	<p>5. Verbesserungsmaßnahmen</p> <p style="text-align: center; font-size: 48px;">5</p>	<p>8. Erkenntnisse</p> <ul style="list-style-type: none"> • Problemlöseprozess zusammen mit den unmittelbar beteiligten Personen • Problemlöseserkzeuge (z.B. 5W) nutzen • Visualisierung und Dokumentation von Daten und Arbeitsschritten • Einfache Lösungen finden <p style="text-align: center; font-size: 48px;">8</p>																																																				

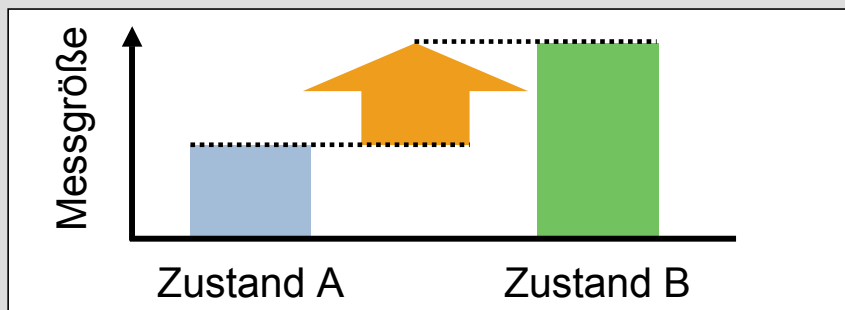
1. Grund für Problem	4. Analyse der Ursachen	8. Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen
2. Ist-Zustand		7. Bewertung der Maßnahmen
3. Zielsetzung	5. Verbesserungsmaßnahmen	6. Erkenntnisse

A3-Report (Problemanalyse)

Ist-Zustand und Ziel des Projektes

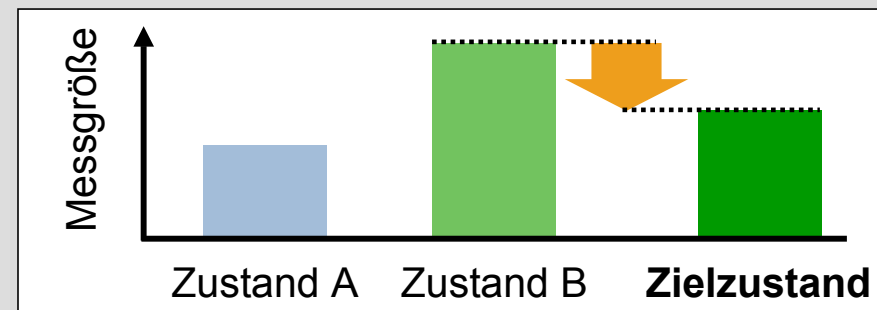
2. Ist-Zustand

- Definition einer quantifizierbaren Messgröße
- Dokumentation der Messgrößenänderung über gesamten Projektverlauf
- Darstellung von Ist- und Soll-Zustand in geeignetem Diagramm



3. Ziel des Projektes

- Gibt den Soll-Zustand nach Abschluss des Projektes an
- Zieldefinition beinhaltet Zeitrahmen, bis wann das Ziel erreicht werden soll
- Bsp.: Kostenreduktion um 10% bis August 2009



Quantifizierbare Messgröße dient als Beschreibung des Ist- und Soll-Zustandes

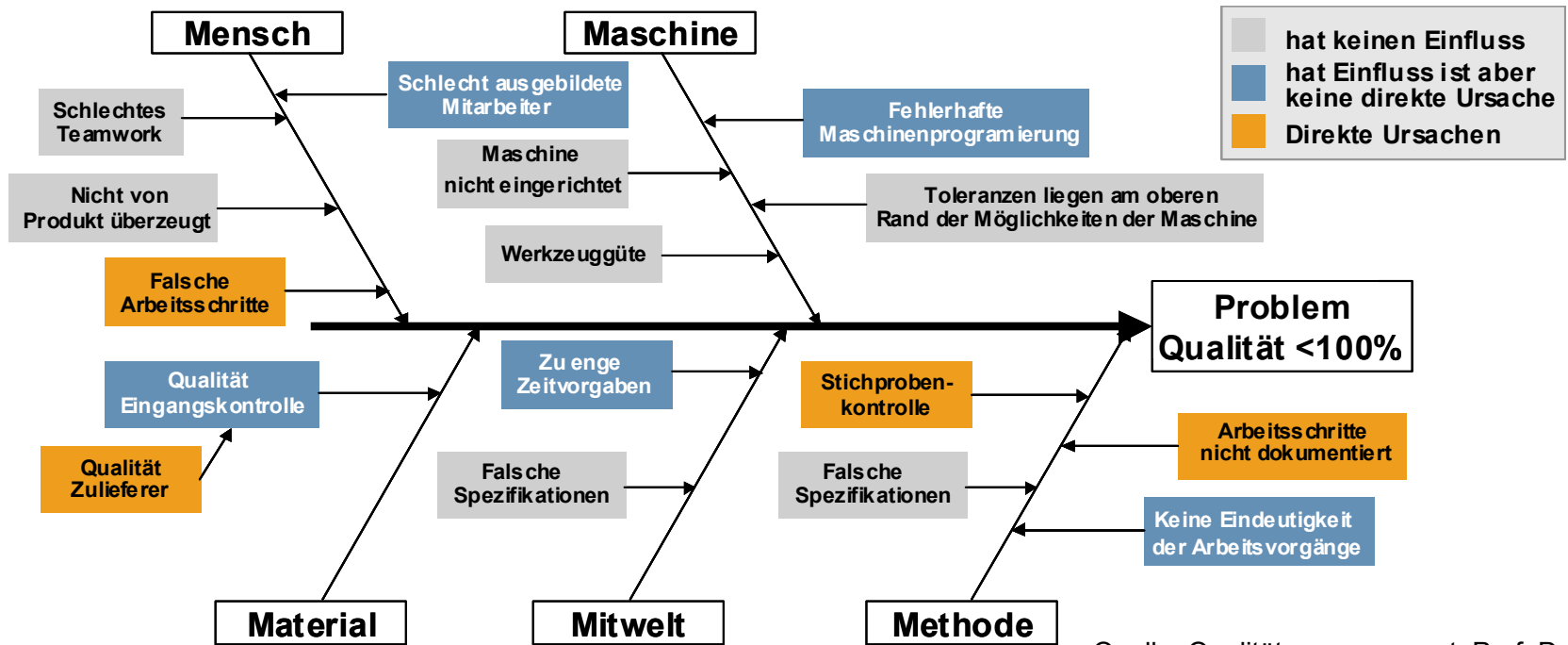
1. Grund für Problem	4. Analyse der Ursachen	6. Zielen zur Umsetzung der Maßnahmen
2. Ist-Zustand	4	7. Bewertung der Maßnahmen
3. Zielsetzung	5. Verbesserungsmaßnahmen	8. Erkenntnisse

A3-Report (PDCA-Zyklus: Plan)

Tool 1: Ursache-Wirkungsdiagramm

4. Analyse der Ursachen

- Tool zur Identifikation von **Problemursachen** und **Wirkungszusammenhängen**
- Erstellung mit **allen verantwortlichen Mitarbeitern** in Form von Brainstorming
- Einbeziehung möglichst **aller Einflussfaktoren**
- **Zuordnung** möglicher Ursachen nach den **5M-Faktoren**



Quelle: Qualitätsmanagement, Prof. Dr. Schmidt

1. Grund für Problem	4. Analyse der Ursachen	6. Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen
2. Ist-Zustand	4	7. Bewertung der Maßnahmen
3. Zielsetzung	5. Verbesserungsmaßnahmen	8. Erkenntnisse

A3-Report (PDCA-Zyklus: Plan)

Tool 2: 5W-Analyse

4. Analyse der Ursachen

- Tool zur Identifikation der wahren Problemursachen in allen relevanten Prozessebenen
- Methodik des fünfmaligen Hinterfragens mit:
„Warum ist ein diskreter Zustand oder ein Problem eingetreten?“

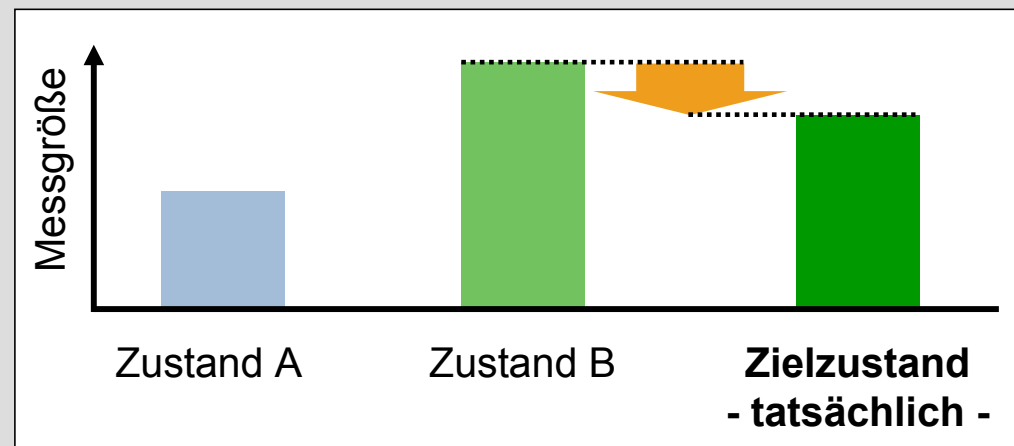
Problemebene	Ursache
Warum hat sich die Maschine abgeschaltet?	Es hat eine Überlastung gegeben und die Sicherung ist durchgebrannt!
Warum hat es eine Überlastung gegeben?	Das Lager war unzureichend geschmiert!
Warum war das Lager nicht ausreichend geschmiert?	Die Fördermenge der Ölpumpe war unzureichend!
Warum war die Fördermenge der Ölpumpe unzureichend?	Die Welle ist ausgeschlagen und hat Spiel!
Warum ist die Welle ausgeschlagen und hat Spiel?	Es war kein Sieb angebracht und deswegen gerieten Metallsplinter in die Maschine!

1. Grund für Problem	4. Analyse der Ursachen	6. Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen
2. Ist-Zustand		7. Bewertung der Maßnahmen
3. Zielsetzung	5. Verbesserungsmaßnahmen	8. Erkenntnisse

A3-Report (PDCA-Zyklus: Check, Act) Maßnahmenbewertung und Erkenntnisse

7. Maßnahmenbewertung

- Bewertung der umgesetzten Maßnahmen anhand graphischer Darstellung der Messgröße
- Verbesserung im Vergleich zu Ist-Zustand erkennbar?
- Wurde das definierte Ziel erreicht?



8. Erkenntnisse des Problemlösungsprozesses

- **Reflektion** des gesamten Problemlösungsprozesses mit allen verantwortlichen Mitarbeitern
- **Definition standardisierter Vorgehensweisen** für potenzielle Folgeprojekte
- **Nutzung** der gewonnenen Erkenntnisse **für zukünftige A3-Reports** im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung

1. Grund für Problem	4. Analyse der Ursachen	6. Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen
2. Ist-Zustand		7. Bewertung der Maßnahmen
3. Zielsetzung	5. Verbesserungsmaßnahmen	8. Erkenntnisse

Zwischenfazit

Problemlösung mit Hilfe des A3-Report

- A3-Report dient der **Vereinheitlichung und Vereinfachung** von Problemlösungsprozessen
- Grundlage des **kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (Kaizen)** zur **nachhaltigen Verbesserung** der Produkt- und Prozessqualität
- **Standardisierte Methodik** des A3-Reports garantiert:
 - Übersichtliche und konzentrierte Informationen des Problems
 - Gleiche Informationsbasis für Entscheidungen für alle Mitarbeiter
 - Ermöglichung einer effektiven und einfachen Kommunikation über alle Ebenen
 - Realisierung einer zügigen iterativen Problemlösung

Übersicht

- Aktuelle Entwicklungsprozesse in der Automobilindustrie
- Grundlagen des Toyota-Produktionssystems
- Methodisches Vorgehen bei Verbesserungsprojekten
- Anwendung der Methodik am Beispiel der elektrischen Parkbremse
- Zusammenfassung

Motivation für den Einsatz einer elektrischen Parkbremse (EPB)

Elektrische Parkbremse



Systembeschreibung

- Elektromechanischer Aktuator übernimmt Bremsfunktion
- Entfall von mechanischen Übertragungseinheiten (Handbremshebel und Seilzüge)
- Möglichkeit der Anbindung an Fahrdynamikregelsysteme

Vorteile für OEM und Zulieferer

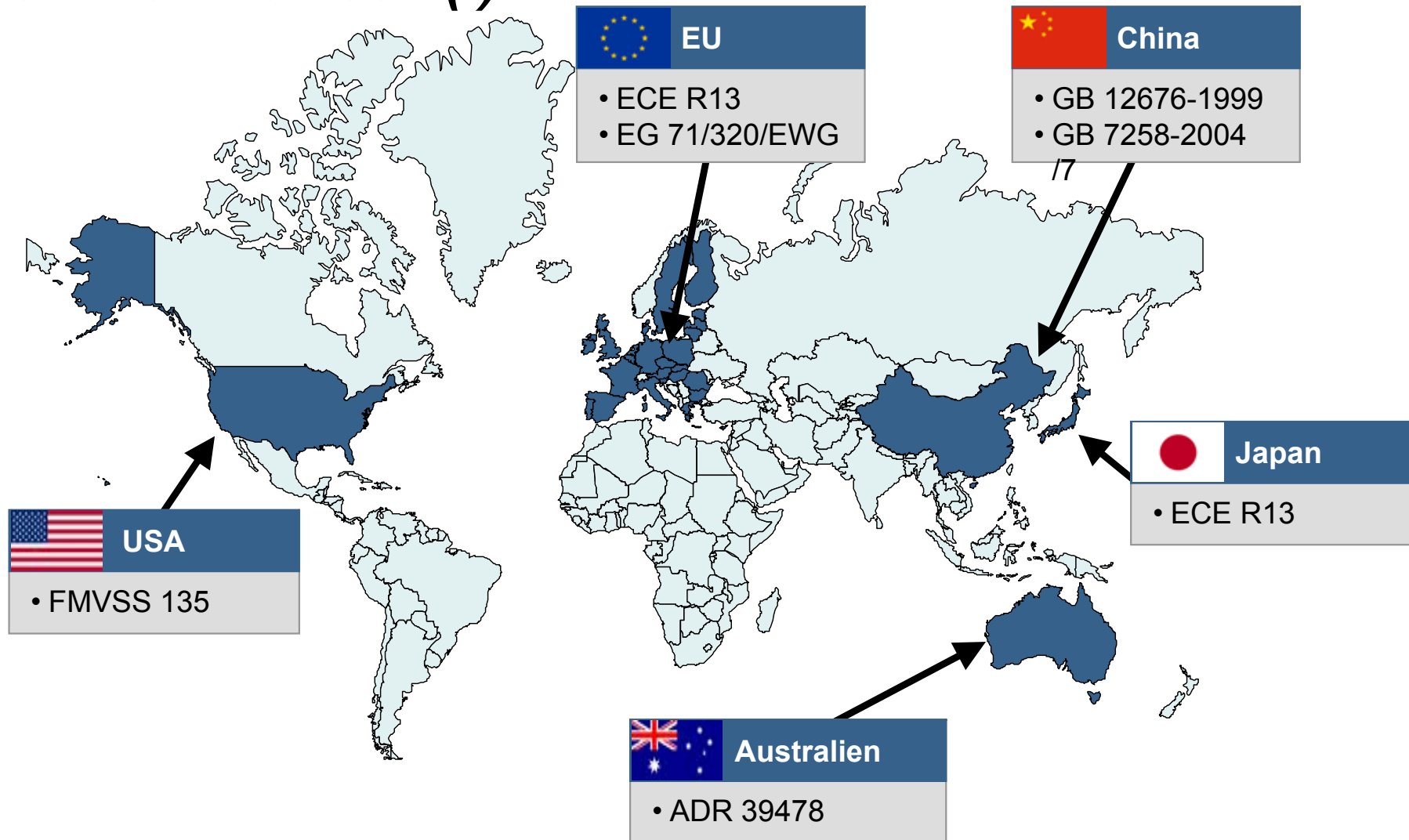
- Freie Innenraumgestaltung
- Zunahme der Package-Gestaltungsfreiheit
- Erweiterte Diagnosefähigkeiten wie Sensierung des Bremsverschleißes
- Einfache Anbindung an vorhandene Steuergeräte

Vorteile für Endkunden

- Verbesserter Komfort aufgrund von
 - niedrigerer erforderlicher Bedienkraft
 - Zusatzfunktionen wie Hillhold, Stop&Go

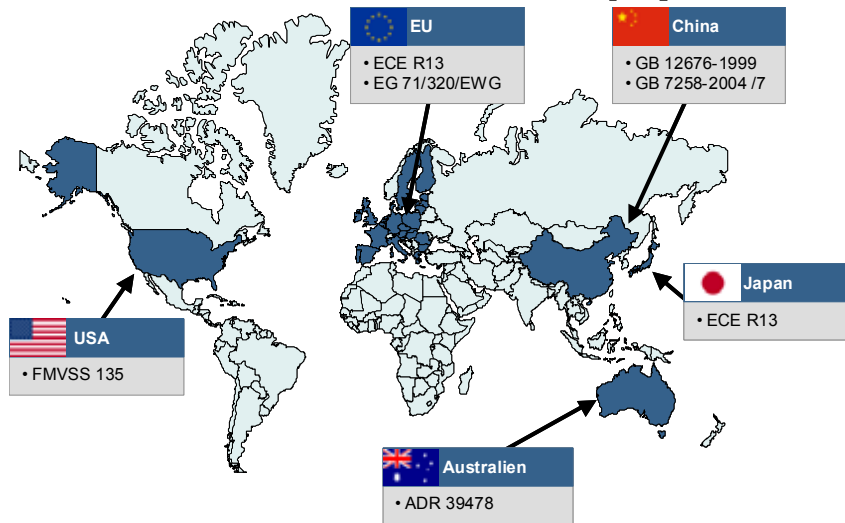
Auslegung einer elektrischen Parkbremse

Legislative Anforderungen an Feststellbremsen (I)



Auslegung einer elektrischen Parkbremse

Legislative Anforderungen an Feststellbremsen (II)



Wesentliche legislative Anforderungen an Feststellbremsen

- **Parken ohne Anhänger:**
 - 18% Steigung: EU, Japan, Australien
 - 20% Steigung: USA, China
- **Parken mit Anhänger:**
 - 12% Steigung: alle Länder

Relevante Lastfälle für die Auslegung einer EPB:

Fall 1:
Parken ohne Anhänger auf einer Steigung von 20 %

Diagram showing a car parked on a 20% incline.

Fall 2:
Parken mit Anhänger auf einer Steigung von 12 %

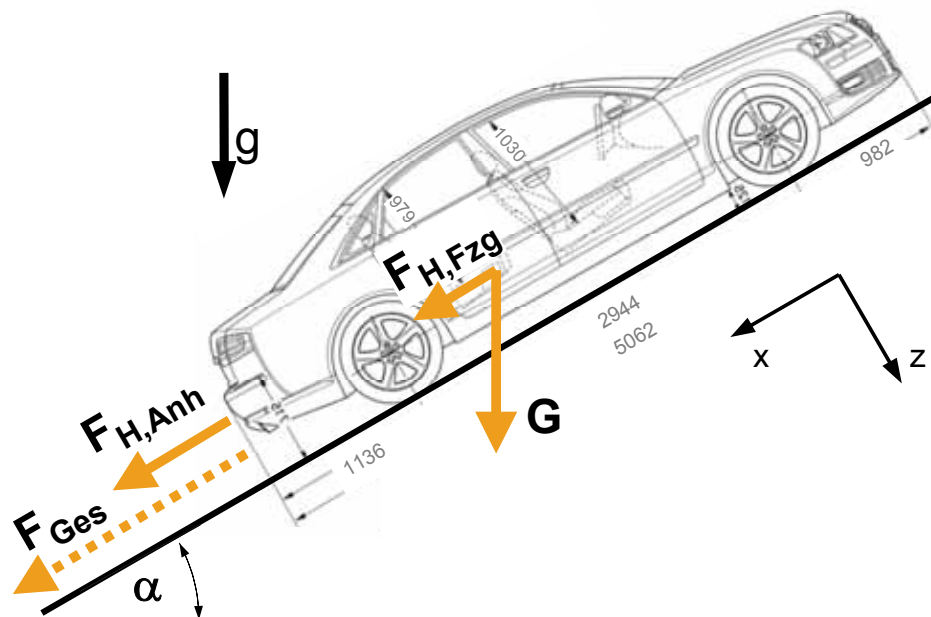
Diagram showing a car with a trailer parked on a 12% incline.

Auslegung einer EPB

Fahrzeugdaten und Kräftebilanz eines Beispielfahrzeugs

Technische Daten Audi A8 (4E) W12

- Zul. Gesamtgewicht $m_{ges} = 2.510 \text{ kg}$
- Maximal zul. Anhängelast $m_{anh} = 2.300 \text{ kg}$
 - Auflaufgebremster Anhänger
 - Bergauf keine Bremswirkung der Auflaufbremse



Formelmäßiger Zusammenhang

$$F_{Ges} = F_{H,Fzg} + F_{H,Anh}$$

mit:

$$F_{H,Fzg/Anh} = F_{G,Fzg/Anh} \times \sin(\alpha)$$

$$\alpha = \arctan(p)^*$$

F_{Ges} entspricht der Summe der erforderlichen Bremskräfte an den gebremsten Rädern für den Stillstand des Fahrzeugs

$$F_{Ges} = F_{B,Rad}$$

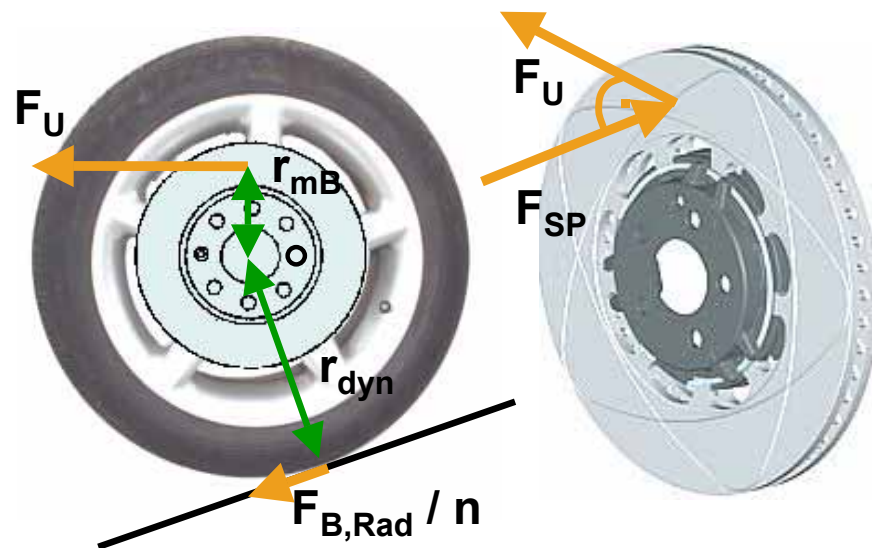
* (p) = Straßensteigung [%]

Auslegung einer EPB

Erforderliche Spannkraft der Feststellbremse

Technische Daten der Reifen und Bremse

- Radgröße 9Jx20“ mit Bereifung 275/35: $r_{\text{dyn}} = 0,350 \text{ m}$
- Mittlerer Reibradius von Bremsbelag auf Bremsscheibe: $r_{\text{mB}} = 0,1345 \text{ m}$
- Minimaler Reibkoeffizient (Reibpaarung Bremsscheibe/-belag): $\mu_{\text{min}} = 0,35$



Erforderliche Spannkraft der Bremse F_{SP}

- Berechnung von $F_{\text{B,Rad}} = F_G \times \sin(\alpha)$
 - ohne Anhänger (20%) $F_{\text{B,Rad}} = 4.829 \text{ N}$
 - mit Anhänger (12%) $F_{\text{B,Rad}} = \mathbf{5.622 \text{ N}}$

- Umfangskraft an der Bremse F_U

$$F_U = \frac{F_{\text{B,Rad}}}{n} \times \frac{r_{\text{dyn}}}{r_{\text{mB}}} = 7.314,87 \text{ N}$$

- Für die Spannkraft F_{SP} der Bremse gilt:

$$F_{\text{SP}} = \frac{F_U}{C^*} \quad \text{mit } C^* = 2 \times \mu_{\text{min}}$$

(bei Scheibenbremse)

$$\mathbf{F_{\text{SP}} = 10.450 \text{ N}}$$

Auslegung einer EPB

Verschiedene Arten elektrischer Parkbremssysteme

Drei Arten von EPB-Systemen sind derzeit auf dem Markt verfügbar:

- Motor-on-Caliper (MOC) ist dominierendes System, z.B. von TRW
- Cable-Puller System (CP), z.B. von Continental
- Hydraulische Parkbremse (APB-H) basierend auf ESP

Motor-on-Caliper-Einheit



Detailansicht EPB-Aktuator



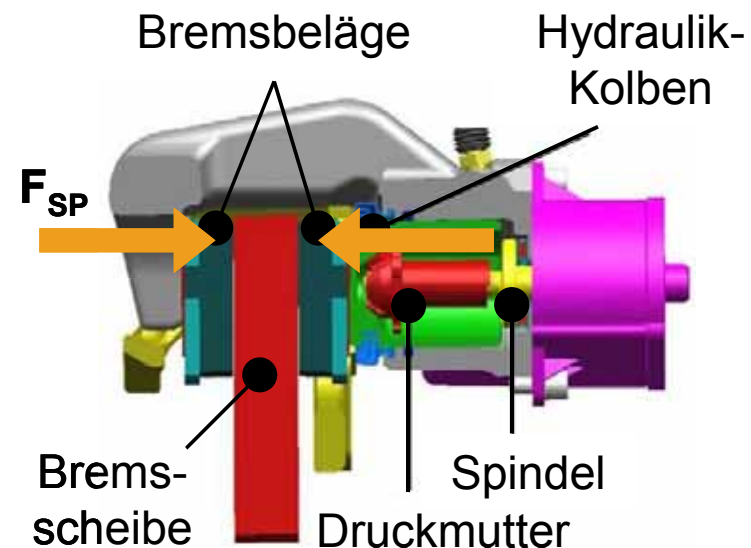
Auslegung einer EPB

Verschiedene Arten elektrischer Parkbremssysteme

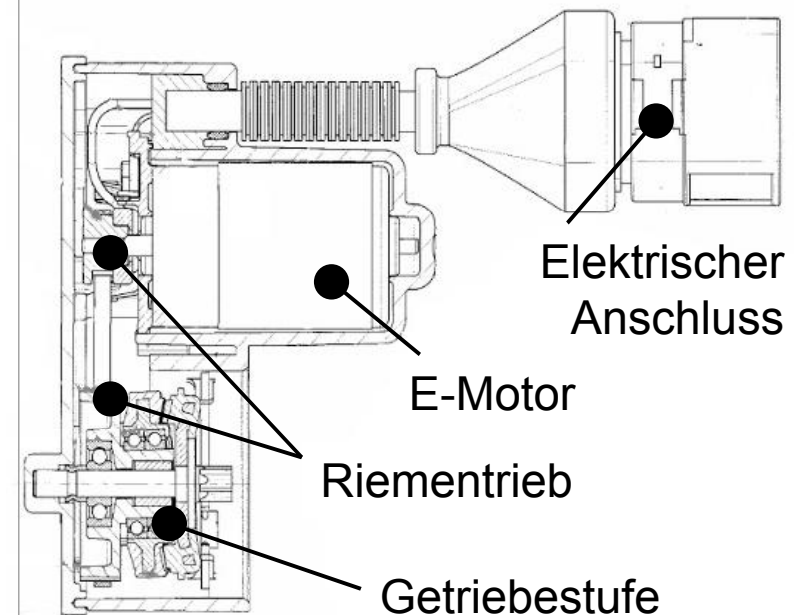
Drei Arten von EPB-Systemen sind derzeit auf dem Markt verfügbar:

- Motor-on-Caliper (MOC) ist dominierendes System, z.B. von TRW
- Cable-Puller System (CP), z.B. von Continental
- Hydraulische Parkbremse (APB-H) basierend auf ESP

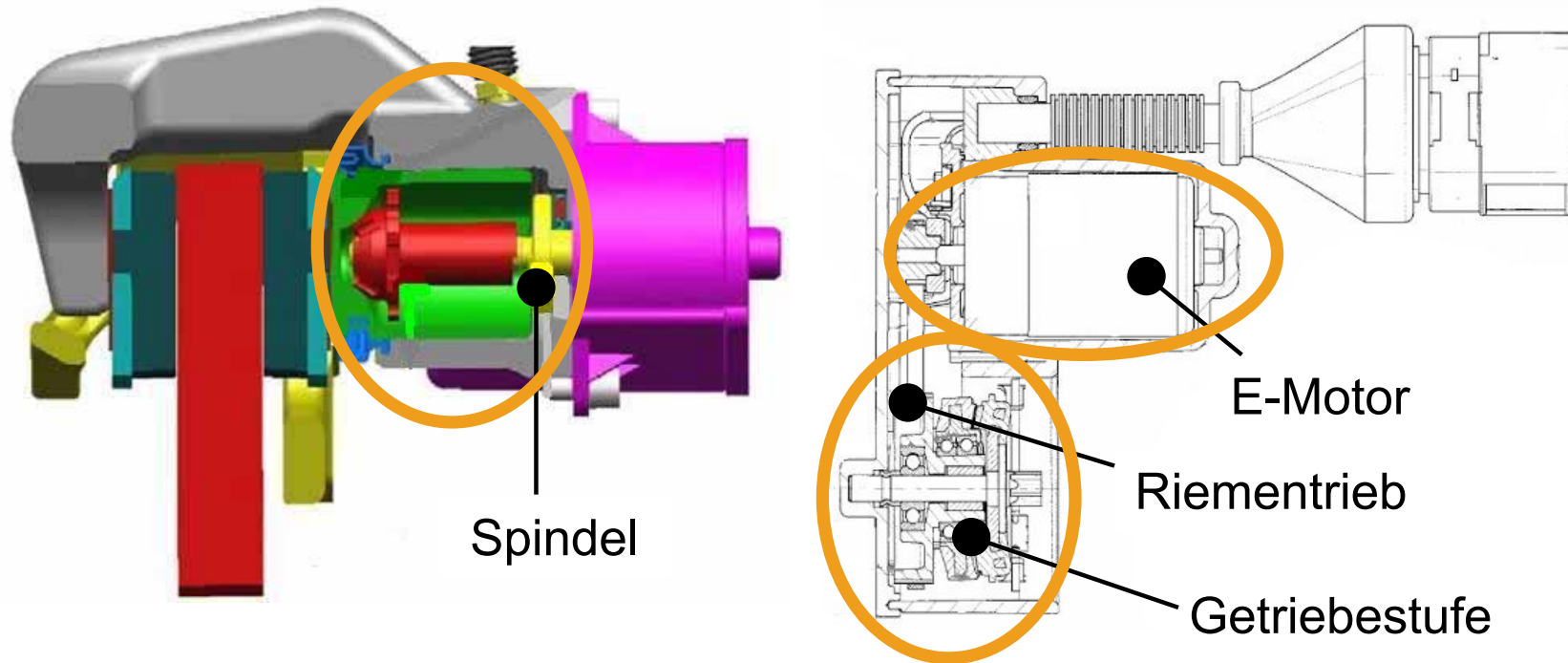
Motor-on-Caliper-Einheit



Detailansicht EPB-Aktuator

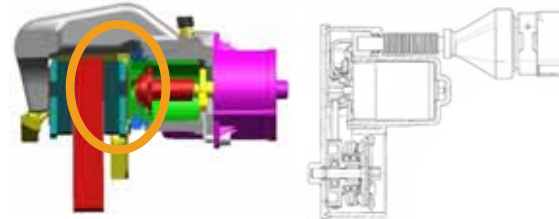


Auslegung einer EPB

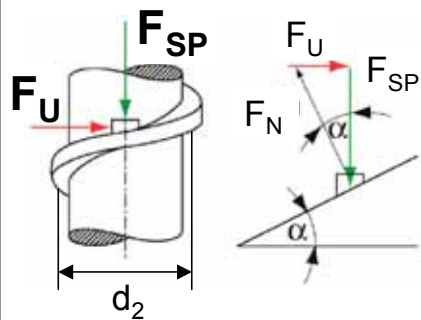


Auslegung einer EPB

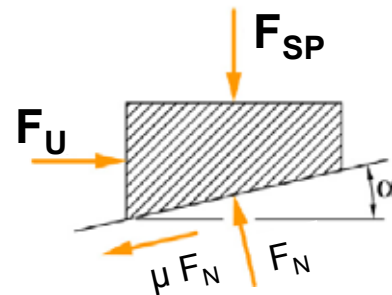
Auslegung Spindeltrieb



- Spannkraft $F_{SP} = 10,45 \text{ kN}$ muss von einem selbsthemmend ausgelegten Spindeltrieb auf den Bremszylinder übertragen werden
- F_{SP} legt somit das erforderliche Moment M_{Spindel} und die Dimensionierung des Spindeltriebes fest



$$M_{\text{Spindel}} = F_U \times \frac{d_2}{2}$$



$$F_U = F_{SP} \times (\tan(\alpha) + \rho)$$

mit $\rho = \arctan(\mu)$

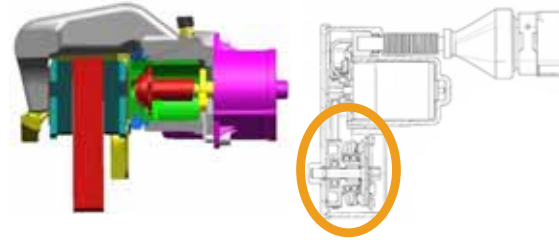
$$M_{\text{Spindel}} = \frac{F_{SP} \times d_2}{2} \times (\tan(\alpha) + \arctan(\mu))$$

Spindeltriebmoment M_{Spindel}

- Selbsthemmung ($\alpha < 5^\circ$) der Spindel notwendig, um ein ungewolltes Lösen der Bremse zu verhindern
- hier:* $\alpha = 2,16^\circ$
- Flankendurchmesser $d_2 = 9,29 \text{ mm}$
- Flankensteigung $P = 1,1$
- Haftreibungskoeffizient $\mu_{\text{max}} = 0,16$
- **Erforderliches Moment:**

$$M_{\text{Spindel}} = 9,6 \text{ Nm}$$

Auslegung einer EPB Auswahl Getriebestufe



Anforderungen an Getriebe

- Hohes Übersetzungsverhältnis aufgrund des kleinen E-Motor-Drehmoments erforderlich
- Sehr kompakte Bauweise (Package)
- Hoher Wirkungsgrad bei zugleich hohen Belastungen
- Kostengünstig und geringer Konstruktionsaufwand

Bewertung Taumelradgetriebe

Übersetzung	++	
Bauraum	++	
Wirkungsgrad	+	
Belastbarkeit	++	

Vorteile Taumelradgetriebe

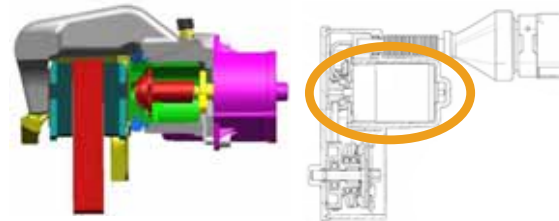
- **Kompakte Bauweise**
- **Hoher Wirkungsgrad**
- **Hohe Belastbarkeit**
- **Hohe Gesamtübersetzung:**

$$i_{Ges} = i_{TS} \times i_{RT} = 150$$
 mit: Übersetzung Taumelrad:

$$i_{TS} = 50$$
 Übersetzung Riementrieb:

$$i_{RT} = 3$$

Auslegung einer EPB Elektroantrieb



Erforderliches Motormoment M_{Motor}

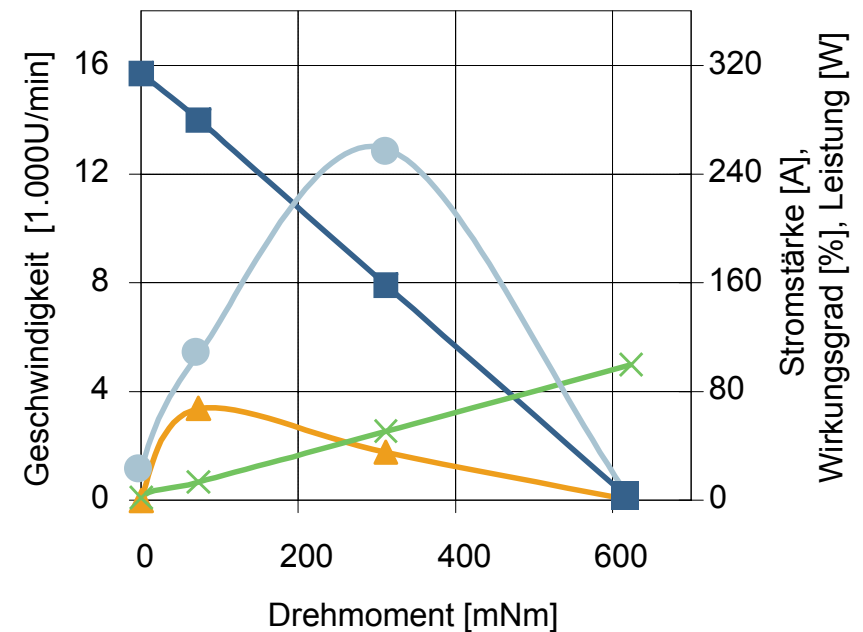
- Auslegungsparameter:
 - Spindeltrieb: $M_{\text{Spindel}} = 9,6 \text{ Nm}$
 - Getriebe: $i_{\text{Ges}} = 150$
- Gesamtwirkungsgrad der Getriebe für das Drehmoment des E-Motors
 $\eta_{\text{Ges}} = 0,6$

$$M_{\text{Motor}} = \frac{M_{\text{Spindel}}}{(i_{\text{Ges}} \times \eta_{\text{Ges}})} = 106,67 \text{ mNm}$$

- Verwendeter Elektromotor von Johnson Electric
- Vorteile:
 - kostengünstiger Standardmotor
 - präzise Einstellung von M_{Motor}

E-Motor (Johnson Electric)

$M_{\text{Motor,max}} = 623,70 \text{ mNm}$
 $P_{\text{max}} = 260 \text{ W}$



Verbesserungsprojekt: EPB

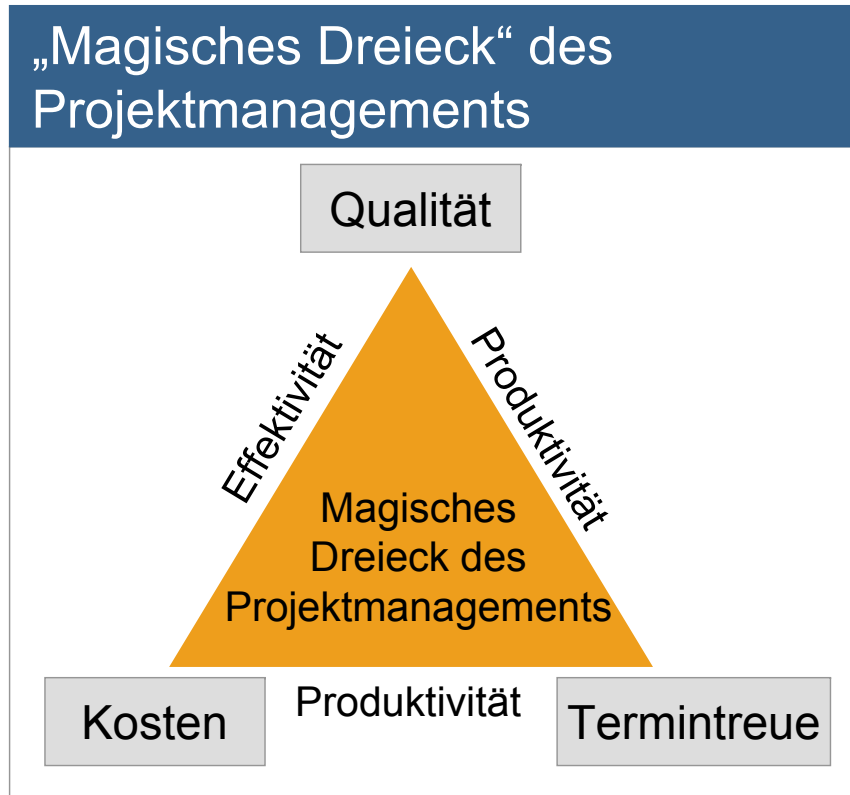
Anwendung der Methodik des A3-Reports

1. Grund für Projektwahl	4. Analyse der Ursachen	6. Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen
1	4	6
2. Ist-Zustand		7. Bewertung der Maßnahmen
2	5	7
3. Zielsetzung		5. Verbesserungsmaßnahmen
3	5	8

1. Grund für Projektwahl	4. Analyse der Ursachen	8. Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen
6. Maßnahmen		7. Bewertung der Maßnahmen
2. Zielsetzung	5. Verbesserungsmaßnahmen	3. Erkenntnisse

Verbesserungsprojekt: EPB

1. Grund für die Projektwahl



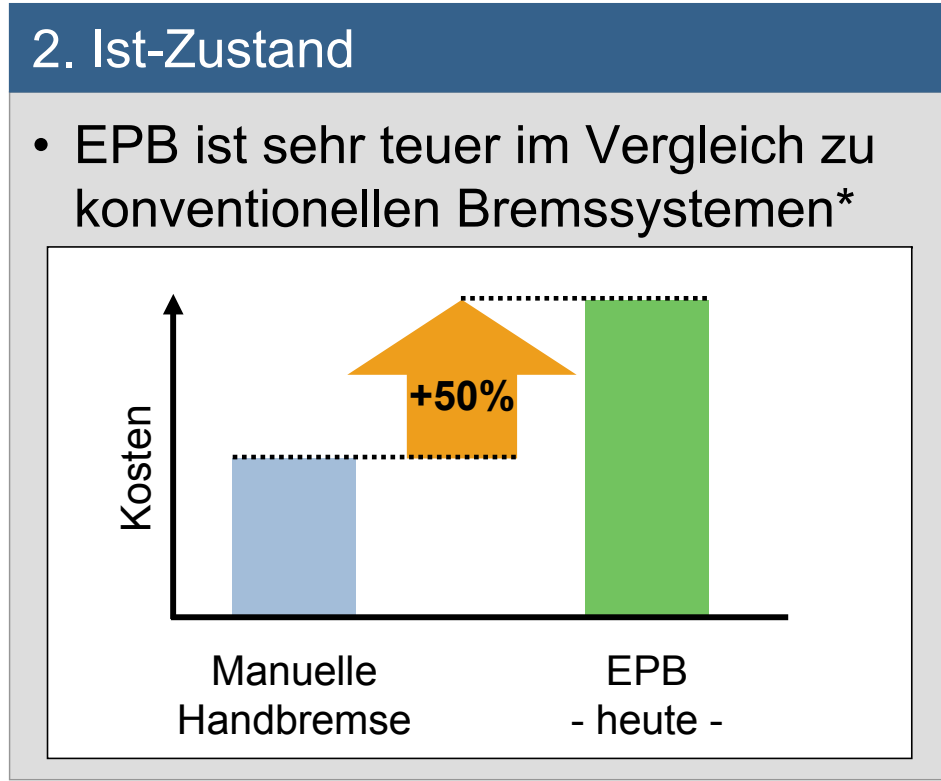
- ### Auswahlkriterien eines Verbesserungsprojektes
- **Hohe Qualität:**
 - Erfüllungsgrad der Anforderung, Ausschuss, Rückläufer, Qualitätskosten
 - **Niedrige Kosten:**
 - Entwicklungs- und Stückkosten, Gewährleistungskosten
 - **Hohe Termintreue:**
 - Liefertreue, Durchlaufzeit, Entwicklungszeit

- EPB unterscheidet sich von konventionellen Feststellbremsanlagen vor allem durch die verwendete Aktuatorik
- Fokus des Verbesserungsprojektes: Kostenreduktion der Aktuatorik

1. Grund für Projektstart	4. Analyse der Ursachen	6. Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen
2. Zielsetzung	5. EPB unterscheidet sich von konventionellen Bremssystemen	7. Bewertung der Maßnahmen
3. Zielsetzung	8. Verlesungsmaßnahmen	8. Erkenntnis

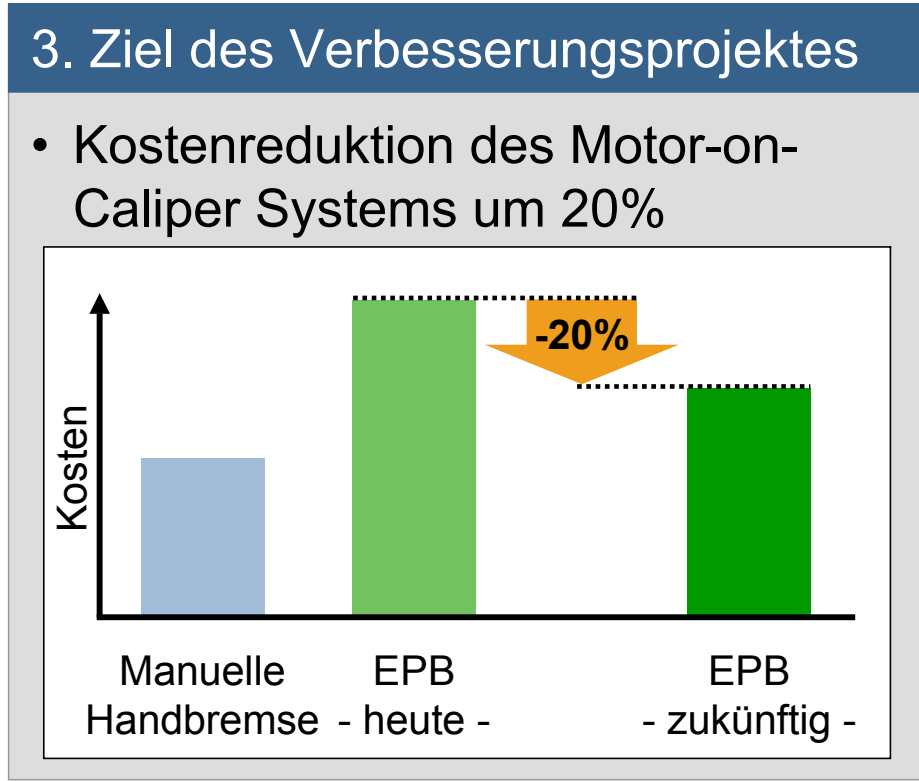
Verbesserungsprojekt: EPB

2. Ist-Zustand und 3. Ziel



- Bisher lediglich geringe Marktdurchdringung aufgrund relativ hohen Kosten

* Basis: Ersatzteilpreise



- Steigender Absatz durch geringere Mehrkosten
- Standardlösung für nahezu alle Fahrzeugsegmente

1. Grund für Probleme	4. Analyse der Ursachen	6. Zahlen zur Umsetzung der Maßnahmen
2. Mögliche Ursachen	5. EPB untersuchen nach den beiden von oben beschriebenen Kriterien	7. Bewertung der Maßnahmen
3. Zielsetzung	8. Verbesserungsmaßnahmen	8. Erkenntnis

Verbesserungsprojekt: EPB

4. Ursachenanalyse

- Problem: Geringe Marktdurchdringung der EPB ?
- ! Einsatz lediglich in weniger preissensitiven Fahrzeugklassen ?
- ! EPB teurer als konventionelles Bremssystem ?
- ! Aufwändige Aktuatorik, erhöhter Teileaufwand ?
- ! Hohe erforderliche Spannkraft der Parkbremse
Kleiner leistungsschwacher E-Motor ?
- ! Hohes Übersetzungsverhältnis (komplexes Getriebe)
Package-Restriktionen einhalten ?

Verbesserungsansatz: Alternatives, kostengünstigeres Getriebe einsetzen



1. Grund für Projektstart	4. Analyse der Ursachen	6. Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen
2. EPB-unterstütztes Vorgehen	5. Bewertung der Maßnahmen	
3. Zielsetzung	7. Verbesserungsmaßnahmen	8. Erkenntnis

5

Verbesserungsprojekt: EPB

5. Verbesserungsmaßnahme

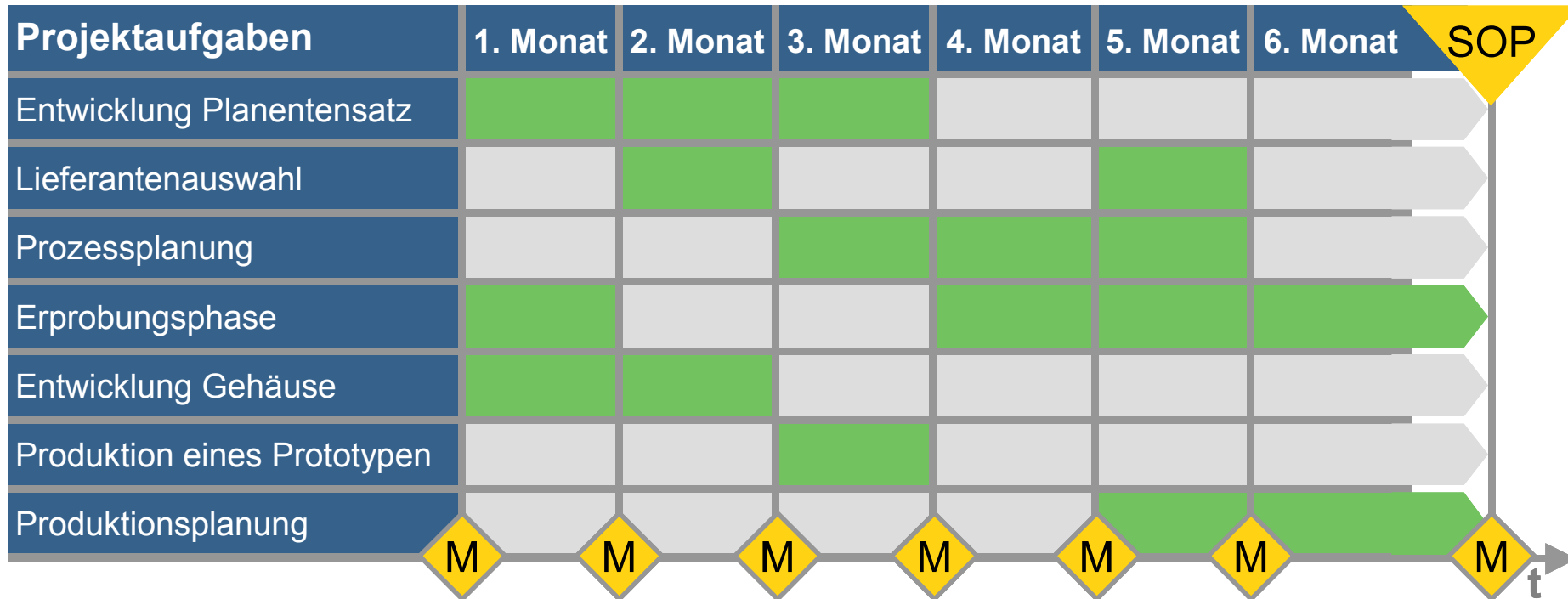
Kompakte Bauweise und hohe Übersetzungen lassen sich vor allem durch Umlaufgetriebe realisieren

Getriebeart	Taumelradgetriebe	Stirnrad-Planetengetriebe
Bewertungskriterien		
Übersetzung	++	+
Kosten	--	-
Bauraum	++	++
Wirkungsgrad	+	++
Belastbarkeit	++	++
Geräuschverhalten	-	+
Komplexität	-	--
Bewertung	Gut geeignet, aber teuer	Gut geeignet, aber komplex

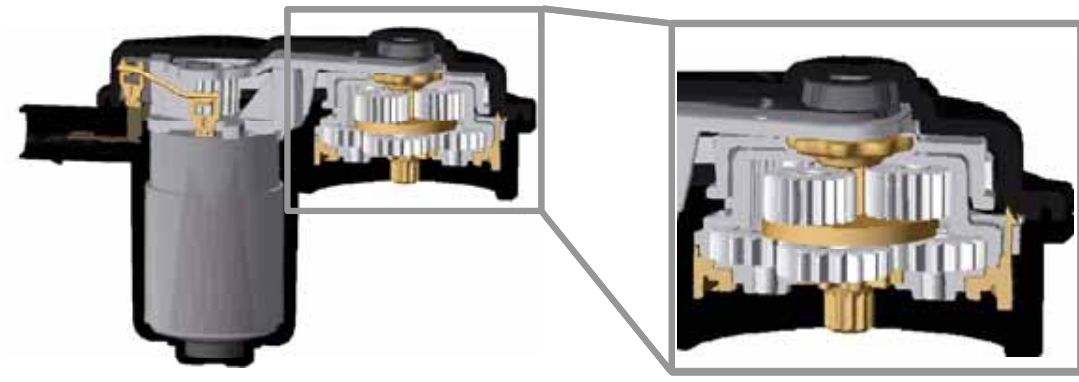
1. Grund für Projektstart	4. Analyse der Ursachen	6. Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen
2. EPB unbeschadet nach vier Stunden wieder einsatzfähig	5. Identifizierung der Ursachen	7. Bewertung der Maßnahmen
3. Mängelanalyse	8. Verifizierung der Maßnahmen	8. Erkenntnis

Verbesserungsprojekt: EPB

6. Planung und Umsetzung der Maßnahme



Ergebnis der Verbesserungsmaßnahme:
Neuentwickelte EPB mit 2-stufigem Stirnrad-Planentengetriebe



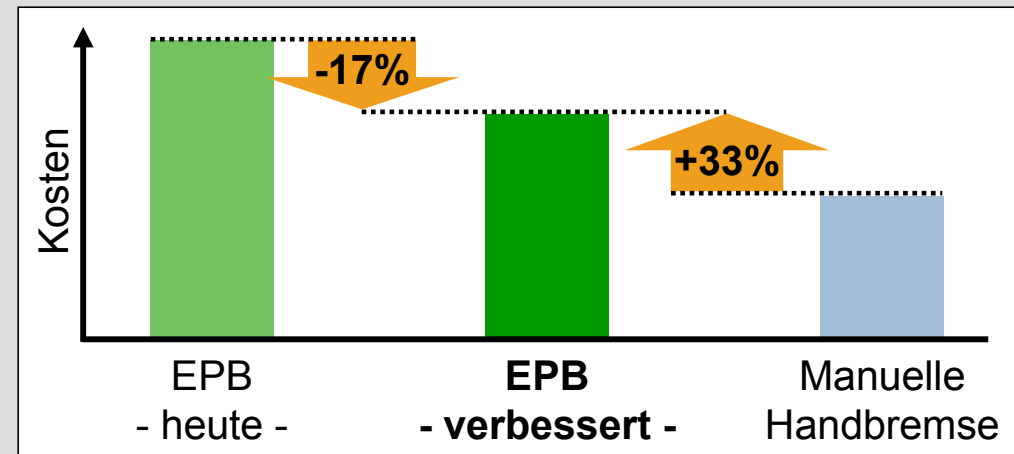
1. Grund für Probleme	4. Analyse der Ursachen	6. Zahlen zur Umsetzung der Maßnahmen
2. EPB untersuchen sich von konventionellen Planetengetrieben	5. Bewertung der Maßnahmen	
3. Mischform als Verbesserung		
7		
3. Zielsetzung	5. Verbesserungsmaßnahmen	6. Erkenntnisse

Verbesserungsprojekt: EPB

7. Bewertung der Verbesserungsmaßnahme

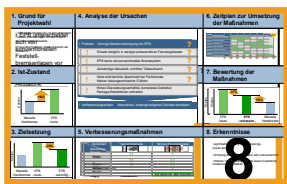
Vergleich der verschiedenen Systeme

- Kostensenkung mittels eines 2-stufigen Stirnrad-Planetengetriebes um 17%
- Kostennachteil im Vergleich zu konventionellem Bremssystem lediglich noch 33%



Detaillierte Analyse

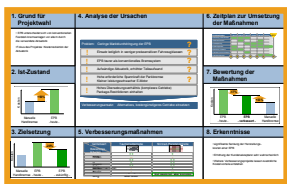
- Entfall der Kugellager im Taumelradgetriebe ist größtes Einsparpotenzial
- Nachteil der geringeren Übersetzung bei 1-stufigen-Planetengetrieben wird durch Einsatz eines 2-stufigen Getriebes kompensiert
- Keine Änderung des vorhandenen E-Motors erforderlich
- Alle Anforderungen (Belastbarkeit, Wirkungsgrad, etc.) an das Getriebe werden ohne Einschränkungen erfüllt



Verbesserungsprojekt: EPB

8. Erkenntnisse

- Die Optimierung der Getriebeeinheit ermöglicht eine signifikante **Senkung der Herstellungskosten** der EPB
- Realisierung weiterer Verbesserungsprojekte (z.B. Sensorik, Steuergerät) können **zusätzliche Kostenvorteile** entstehen lassen
- Bei Weitergabe der Kostenvorteile an die Kunden ist die Möglichkeit zur deutlichen **Erhöhung der Kundenakzeptanz** gegeben
- Einsatz als **Standardlösung für Feststellbremsanlage** in vielen Fahrzeugsegmenten absehbar
- **Skaleneffekte** aufgrund der erhöhten Stückzahlen beim Einsatz als Standardlösung führen in Zukunft zu weiteren Kostensenkungen



Verbesserungsprojekt: EPB

Vollständig ausgefüllter A3-Report

<h3>1. Grund für Projektwahl</h3>	<h3>4. Analyse der Ursachen</h3>	<h3>6. Zeitplan zur Umsetzung der Maßnahmen</h3>																																																																
<ul style="list-style-type: none"> • EPB unterscheidet sich von konventionellen Feststellbremsanlagen vor allem durch die verwendete Aktuatorik • Fokus des Projektes: Kostenreduktion der Aktuatorik 	<p>Problem: Geringe Marktdurchdringung der EPB ?</p> <p>! Einsatz lediglich in weniger preissensitiven Fahrzeugklassen ?</p> <p>! EPB teurer als konventionelles Bremssystem ?</p> <p>! Aufwändige Aktuatorik, erhöhter Teileaufwand ?</p> <p>! Hohe erforderliche Spannkraft der Parkbremse Kleiner leistungschwacher E-Motor ?</p> <p>! Hohes Übersetzungsverhältnis (komplexes Getriebe) Package-Restriktionen einhalten ?</p> <p>Verbesserungsansatz: Alternatives, kostengünstigeres Getriebe einsetzen</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Projektaufgaben</th> <th>1. Monat</th> <th>2. Monat</th> <th>3. Monat</th> <th>4. Monat</th> <th>5. Monat</th> <th>6. Monat</th> <th>SOP</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Entwicklung Planentwurf</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Lieferantenauswahl</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Prozessplanung</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Erprobungsphase</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Entwicklung Gehäuse</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktion eines Prototypen</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Produktionsplanung</td> <td>M</td> <td>M</td> <td>M</td> <td>M</td> <td>M</td> <td>M</td> <td>M</td> </tr> </tbody> </table>	Projektaufgaben	1. Monat	2. Monat	3. Monat	4. Monat	5. Monat	6. Monat	SOP	Entwicklung Planentwurf								Lieferantenauswahl								Prozessplanung								Erprobungsphase								Entwicklung Gehäuse								Produktion eines Prototypen								Produktionsplanung	M	M	M	M	M	M	M
Projektaufgaben	1. Monat	2. Monat	3. Monat	4. Monat	5. Monat	6. Monat	SOP																																																											
Entwicklung Planentwurf																																																																		
Lieferantenauswahl																																																																		
Prozessplanung																																																																		
Erprobungsphase																																																																		
Entwicklung Gehäuse																																																																		
Produktion eines Prototypen																																																																		
Produktionsplanung	M	M	M	M	M	M	M																																																											
<h3>2. Ist-Zustand</h3>		<h3>7. Bewertung der Maßnahmen</h3>																																																																
<p>Kosten</p> <p>Manuelle Handbremse EPB - heute -</p> <p>+50%</p>		<p>Kosten</p> <p>EPB - heute - EPB - verbessert - Manuelle Handbremse</p> <p>-17%</p> <p>+33%</p>																																																																
<h3>3. Zielsetzung</h3>	<h3>5. Verbesserungsmaßnahmen</h3>	<h3>8. Erkenntnisse</h3>																																																																
<p>Kosten</p> <p>Manuelle Handbremse - heute - EPB EPB - zukünftig -</p> <p>-20%</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Getriebeart</th> <th>Taumlradgetriebe</th> <th>Stirnrad-Planetengetriebe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Bewertungskriterien</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Übersetzung</td> <td>++</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>Kosten</td> <td>--</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Bauraum</td> <td>++</td> <td>++</td> </tr> <tr> <td>Wirkungsgrad</td> <td>+</td> <td>++</td> </tr> <tr> <td>Belastbarkeit</td> <td>++</td> <td>++</td> </tr> <tr> <td>Geräuschverhalten</td> <td>-</td> <td>+</td> </tr> <tr> <td>Komplexität</td> <td>--</td> <td>--</td> </tr> <tr> <td>Bewertung</td> <td>Gut geeignet, aber teuer</td> <td>Gut geeignet, aber komplex</td> </tr> </tbody> </table>	Getriebeart	Taumlradgetriebe	Stirnrad-Planetengetriebe	Bewertungskriterien			Übersetzung	++	+	Kosten	--	-	Bauraum	++	++	Wirkungsgrad	+	++	Belastbarkeit	++	++	Geräuschverhalten	-	+	Komplexität	--	--	Bewertung	Gut geeignet, aber teuer	Gut geeignet, aber komplex	<ul style="list-style-type: none"> • Senkung der Herstellungskosten • Erhöhung der Kundenakzeptanz • zusätzliche Kostenvorteile • Standardlösung für Feststellbremsanlage • Skaleneffekte aufgrund der erhöhten Stückzahlen 																																		
Getriebeart	Taumlradgetriebe	Stirnrad-Planetengetriebe																																																																
Bewertungskriterien																																																																		
Übersetzung	++	+																																																																
Kosten	--	-																																																																
Bauraum	++	++																																																																
Wirkungsgrad	+	++																																																																
Belastbarkeit	++	++																																																																
Geräuschverhalten	-	+																																																																
Komplexität	--	--																																																																
Bewertung	Gut geeignet, aber teuer	Gut geeignet, aber komplex																																																																

Übersicht

- Aktuelle Entwicklungsprozesse in der Automobilindustrie
- Grundlagen des Toyota-Produktionssystems
- Methodisches Vorgehen bei Verbesserungsprojekten
- Anwendung der Methodik am Beispiel der elektrischen Parkbremse
- Zusammenfassung

Zusammenfassung

- Beim automobilen Entwicklungsprozess ist eine **intensive**, aber **effiziente Kommunikation** notwendig
- TPS basiert auf **kontinuierlicher Verbesserung** durch den Einsatz **standardisierter Methoden** und **effektiver Tools**
- **A3-Report** ermöglicht **effiziente Projektsteuerung** und **übersichtliche Visualisierung**
- **Signifikante Senkung der Herstellungskosten** der elektrischen Parkbremse durch geänderte Getriebestufe

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Kontakt

Dipl.-Ing. Arndt Freialdenhoven

Institut für Kraftfahrzeuge
RWTH Aachen University
Steinbachstr. 7
52074 Aachen
Germany

Telefon +49 241 80 25623

Telefax +49 241 80 22147

E-Mail freialdenhoven@ika.rwth-aachen.de

Internet www.ika.rwth-aachen.de