

Das Car-Sequencing-Problem



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Seminarpräsentation

http://www.pf-magazin.de/tl_files/Panorama/Fotos/News%202013/10-2013/Fahrzeugmontage%20stuttgart.jpg



http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/DE/Anwendungsbeispiele/137-wandelbare-r8-manufaktur/baer-2.jpg?__blob=normal&v=3



Agenda

- I. Einführung in die Thematik
- II. Begriffsdefinition Car-Sequencing-Problem
- III. Motivation des Car-Sequencing als Teil der strategischen Unternehmensplanung
- IV. Erläuterung der Fallstudie „ROADEF“
- V. Einführung in Heuristiken und Tabu Search
- VI. Grundlagen der Iterated Tabu Search (ITS)
- VII. Implementierung der ITS
- VIII. Live Demonstration
- IX. Ausblick

Einführung in die Thematik

- Strukturwandel im Automobilsektor
- Erweiterung der individuellen Fahrzeugvariationen
- Steigerung des Aufwands der Variantenfließfertigung
- Sequenzierung der Fahrzeuge mittels Heuristik um den Produktionsplan zu optimieren
- Zielsetzung der Implementierung ist eine didaktisch geeignete und einfache Ablaufdarstellung der ITS

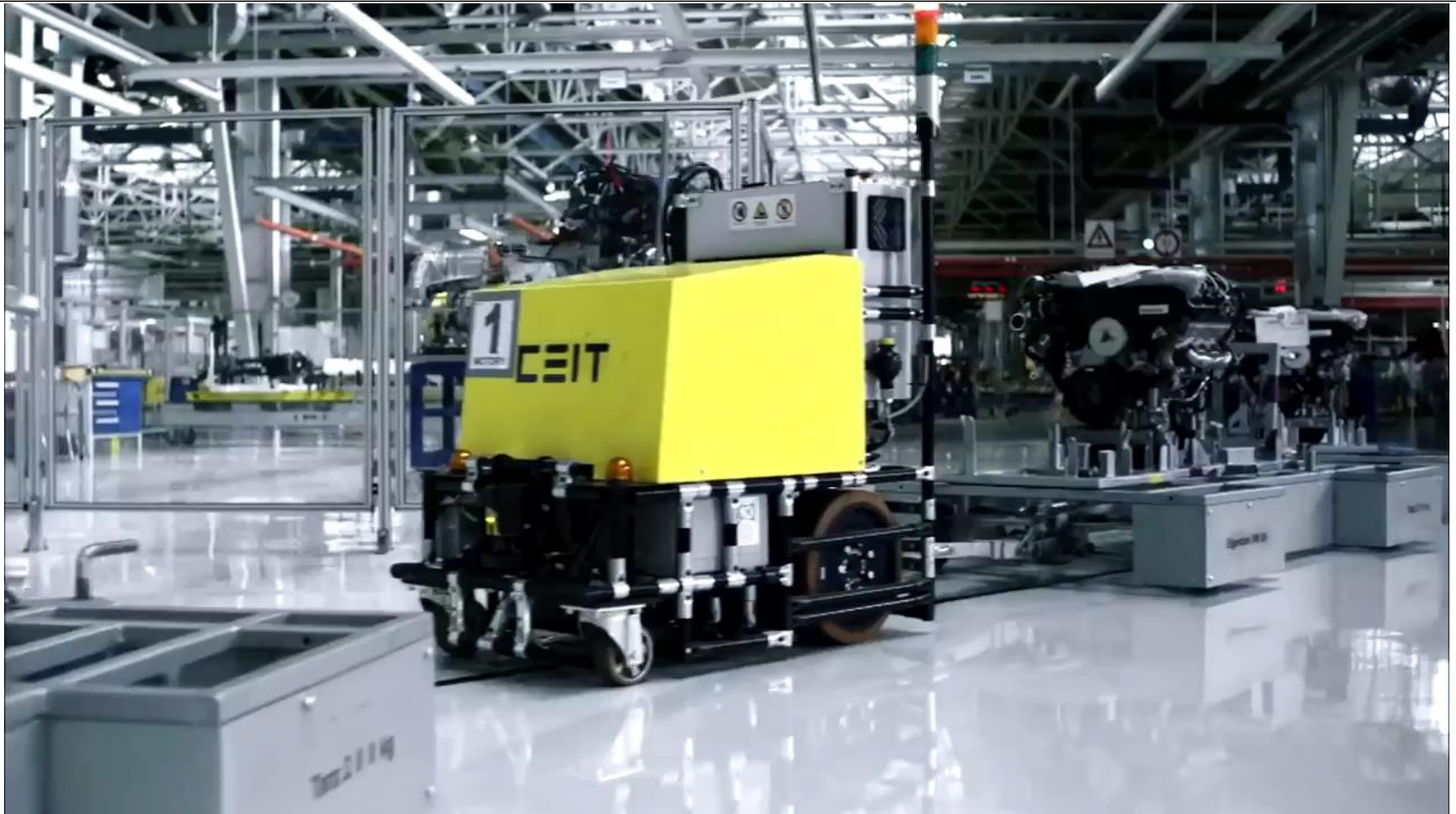


<https://www.auto-medienportal.net/bild/load/detail/7112>

Einführung in die Thematik



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



<https://www.youtube.com/watch?v=XvGlp2ZVzJc> (Volkswagen Group)

Begriffsdefinition Car-Sequencing-Problem



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Problemstellung

- Stark divergierender Produktionsaufwand kundenspezifisch zusammengestellter Fahrzeuge
- Systemtaktzeit soll nicht durch längste Bearbeitungsdauer definiert werden

Eine Menge zu produzierender Autos so anordnen, dass Bedingungen aus den Produktionsstufen erfüllt werden.

Restriktionen

maximal N „Spezial-Fahrzeuge“ pro Subsequenz P

Ziel

- Minimiere die Anzahl der N/P -Restriktionsverletzungen

Motivation des Car-Sequencing als Teil strategischer Unternehmensplanung



Nach Kaplan R.S., Norton D.P. (2007): Balanced Scorecard

Perspektive Kunden/Markt

- Erhöhte Anforderungen an Variationen und Individualität
- Druck durch Konkurrenz
- 10^{32} Variationsmöglichkeiten bei BMW (Stand 2004)
- Verbesserung der Termineinhaltung und Liefertreue



https://cdn.xl.thumbs.canstockphoto.de/kunde-auto-verk%C3%A4ufer-schl%C3%BCssel-stock-bild_csp15616660.jpg

- Bearbeitungszeiten unterschiedlicher Variationen stark abweichend
- Erhöhter Koordinationsaufwand von Mitarbeitern und Fertigungseinheiten
- Vermeidung von Überlast und Leerzeiten
- Reduzierung des Stresslevels der Belegschaft
- Vermeidung von Kosten durch kranke Mitarbeiter, Kündigungen, Prozesskosten



- Vermeidung von Verzögerungen im Betriebsablauf
- Erhöhung der Ausbringungsmenge
- Minimierung von Rüstkosten und-zeiten
- Geringere Lagerbestände und Durchlaufzeiten
- Verringerung des Planungsaufwandes

<https://www.automobil-produktion.de/files/upload/post/automobil-produktion-de/2016/07/129796/mercedes-benz-iracemapolis.jpg>

- Verbesserung als Resultat der Optimierung der drei Perspektiven
Mitarbeiter, Prozesse und Kunde
- Kostensenkung
- Gewinnmaximierung

„ROADEF-Challenge“ als Grundlage der Implementierung

- Wettbewerb des Renault-Konzerns aus dem Jahr 2005
- Ziel:
 - Optimierung der Fahrzeug-Sequenz in einer Montage-Fabrik unter Verwendung einer Heuristik
- Ablauf:
 - Vorgabe eines Tagesloses für den Tag D
 - Sequenzierung der Lackiererei und Endmontage

„ROADEF-Challenge“ Restriktionen

- Restriktionen Lackiererei „L“ (Hard Constraint)
 - Häufige Farbwechsel vermeiden (Reinigungskosten bei Farbwechsel)
 - Reinigung der Instrumente sicherstellen ➡ maximale Anzahl an Fahrzeugen gleicher Farbe
- Restriktionen Endmontage (Soft Constraint)
 - Verhältnis N/P nicht überschreiten
 - N = Anzahl an „Spezialfahrzeugen“ der Subsequenz
 - P = Anzahl aller Fahrzeuge der Subsequenz
 - Unterscheidung in Restriktionen hoher Priorität „H“ (sehr hoher Arbeitsaufwand in der Montagelinie) und geringer Priorität „G“

„ROADEF-Challenge“ Restriktionen

Erläuterung der Ratio Constraint: $N/P = 1/5$, Sequenz von 19 Fahrzeugen

OOOOOXOOXOOXOOOOXOX
OOOOOXOOXOOXOOOOXOX
OOOOOXOOXOOXOOOOXOX
OOOOOXOOXOOXOOOOXOX
OOOOOXOOXOOXOOOOXOX
OOOOOXOOXOOXOOOOXOX

X = Spezialfahrzeug
O = Normales Fahrzeug

5 Verletzungen der
Verhältnisrestriktion

„ROADEF-Challenge“ Optimierungsziele



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Optimierungsziele: Minimierung der Restriktionsverletzungen

1. LHG
2. LH (falls nicht zwischen Verhältnisrestriktionen differenziert wird)
3. HLG
4. HGL
5. HL (falls nicht zwischen Verhältnisrestriktionen differenziert wird)

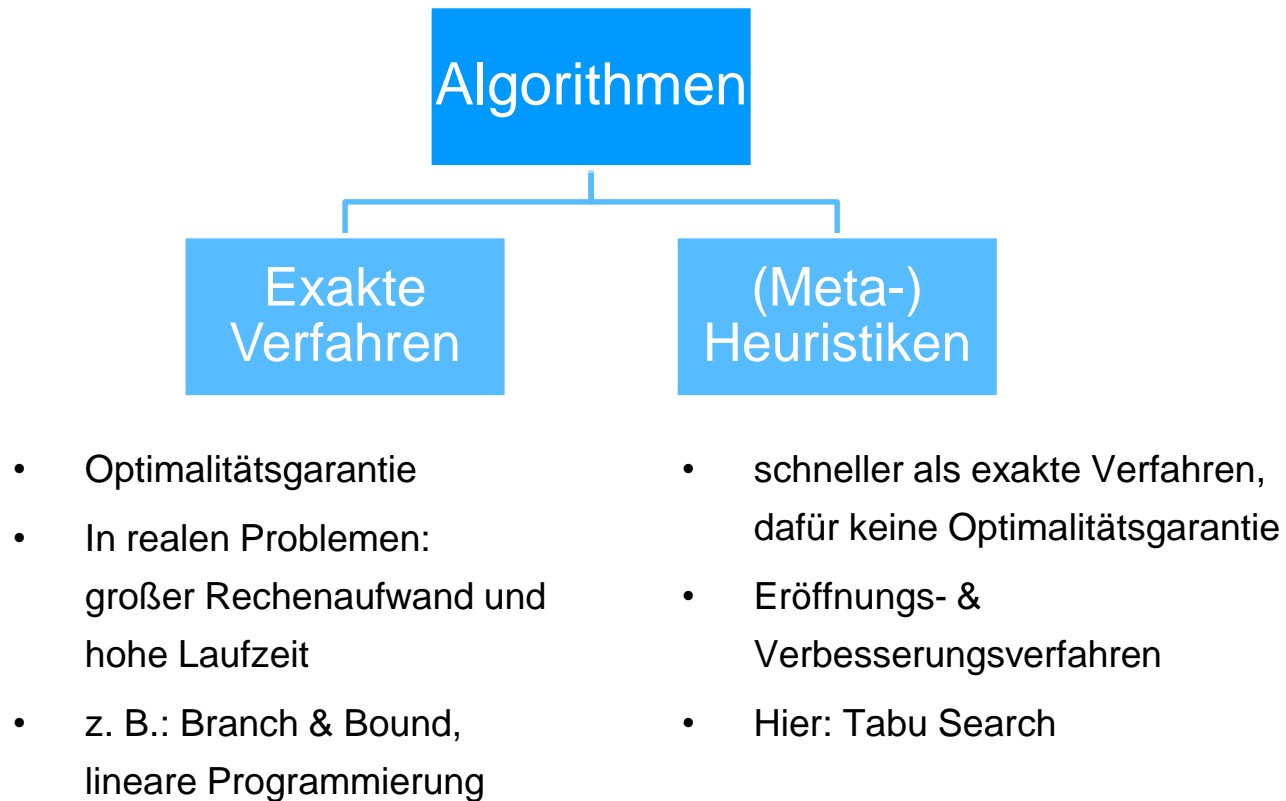
L= Lackiererei

H=Verhältnisrestriktion hoher Priorität

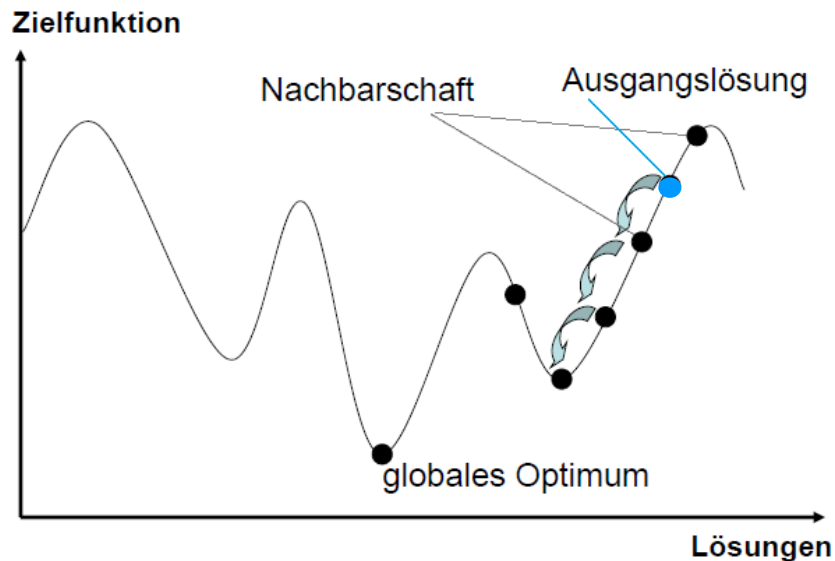
G=Verhältnisrestriktion geringer Priorität

„ROADEF-Challenge“ Tagesplanung

- Berücksichtigung der Tage D-1, D, D+1
- **D-1**: bereits vorgegeben, nicht abänderbar, Berücksichtigung der Restriktionen im Übergang von D-1 auf D
- **D**: Tag der Sequenzierung
- **D+1**: irrelevant für die Planung von D



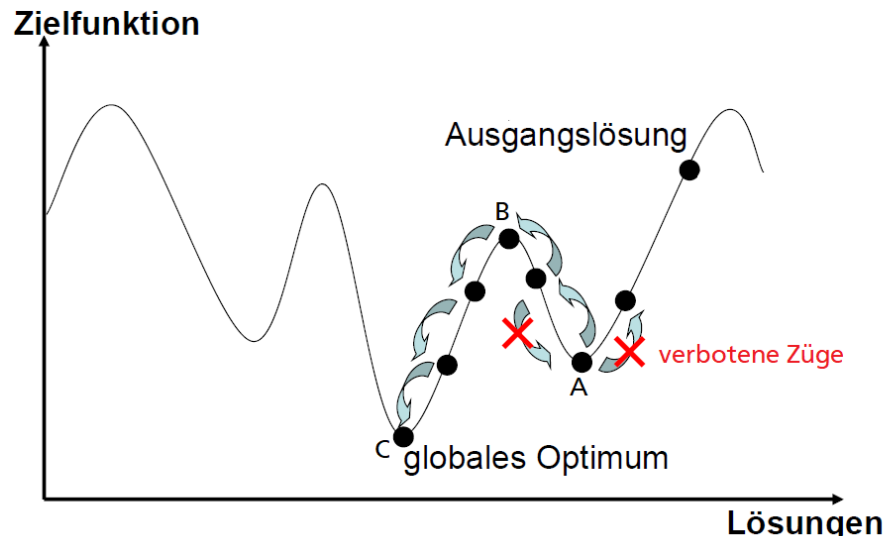
Einführung in Heuristiken und Tabu Search



Aus: Vorlesung „Heuristische Planung in der Logistik“, WS 16/17

- Lösungsverbesserung durch Nachbarschaftssuche
 - „Züge“ erzeugen Nachbarschaftslösungen
 - Gierige Auswahl des besten Nachbars
- Auffinden lokaler Optima

Einführung in Heuristiken und Tabu Search

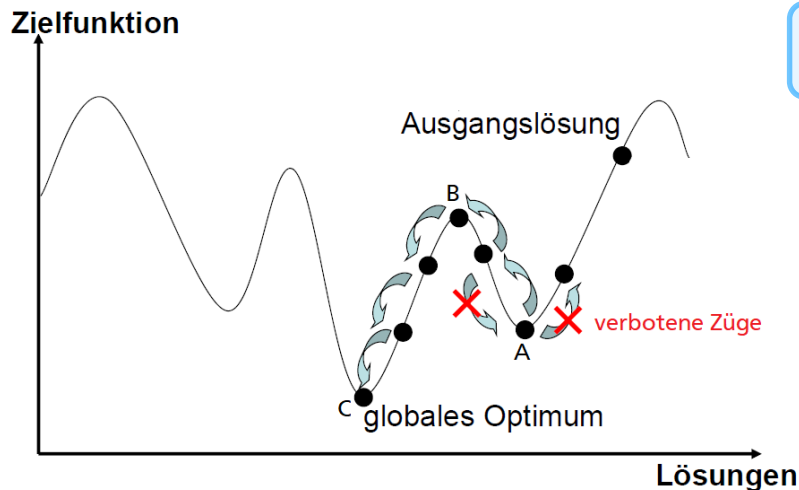


Aus: Vorlesung „Heuristische Planung in der Logistik“, WS 16/17

- Gefahr von Suchzyklen um lokale Optima
 - „Tabu“ setzen bereits besuchter Lösungen
- Akzeptanz vorübergehender Lösungsverschlechterung
 - Langfristig: Lösungsverbesserung

Entscheidend: Gestaltung der Taburegeln

Einführung in Heuristiken und Tabu Search



Aus: Vorlesung „Heuristische Planung in der Logistik“, WS 16/17

Ausgangslösung

Nachbarschaft

Zürück

Züge erlauben ?

Tabuliste

verbotene Züge

Tabulänge

Abbruchkriterium

Grundlagen der Iterated Tabu Search (ITS)

Nach Cordeau et al. (2007): Iterated Tabu Search for the car sequencing problem.



1. Startlösung s_0

2.

Tabu Search $\Rightarrow \hat{s}$

3.

a) Perturbationsmechanismus $\Rightarrow s'$

b) Tabu Search $\Rightarrow \tilde{s}$

c) Akzeptanzkriterium:



$\tilde{s} \Rightarrow \hat{s}$



zurück zu \hat{s}

4. Rückgabe der besten gefundenen Lösung s^*

Grundlagen der Iterated Tabu Search (ITS)

Nach Cordeau et al. (2007): Iterated Tabu Search for the car sequencing problem.

Tabu Search

- Anfangslösung aus Input-Datei
- Zwei Züge:
 1. Verschieben eines Fahrzeugs an eine andere Stelle im Produktionsablauf
 2. Tausch der Positionen zweier verschiedener Fahrzeuge
- Tabudauer $\theta = 200$ Iterationen
 - Aspirationskriterium: Erreichen einer neuen global besten Lösung

Grundlagen der Iterated Tabu Search (ITS)

Nach Cordeau et al. (2007): Iterated Tabu Search for the car sequencing problem.



Startlösung s_0



Tabu Search $\Rightarrow \hat{s}$

3.

a) Perturbationsmechanismus $\Rightarrow s'$

b) Tabu Search $\Rightarrow \tilde{s}$

c) Akzeptanzkriterium:



$\tilde{s} \Rightarrow \hat{s}$



zurück zu \hat{s}

4. Rückgabe der besten gefundenen Lösung s^*

Grundlagen der Iterated Tabu Search (ITS)

Nach Cordeau et al. (2007): Iterated Tabu Search for the car sequencing problem.

Perturbationsmechanismen

1. χ verschiedene Paare von Fahrzeugen tauschen ihre Positionen
2. Zufällig gewählte Folge von τ aufeinanderfolgenden Fahrzeugen zufällig neu sortieren
3. Zufällig gewählte Folge von τ aufeinanderfolgenden Fahrzeugen in ihrer Reihenfolge umkehren
4. Zufällig gewählte Folge von τ aufeinanderfolgenden Fahrzeugen an eine zufällige andere Position verschieben
5. Zufällig gewählte Folge von gleichfarbigen aufeinanderfolgenden Fahrzeugen an eine zufällige andere Position verschieben
6. Es wird für jedes Fahrzeug getestet, mit welchem der nachfolgend positionierten Fahrzeug ein Tausch die Gesamtkosten reduziert. Ist dies der Fall, wird der Tausch sicher durchgeführt. Wenn nicht, nur mit der Wahrscheinlichkeit π .

➤ Entscheidung per Monte-Carlo-Auswahl

Grundlagen der Iterated Tabu Search (ITS)

Nach Cordeau et al. (2007): Iterated Tabu Search for the car sequencing problem.

- ✓ Startlösung s_0
- ✓ Tabu Search $\Rightarrow \hat{s}$
- ✓ Perturbationsmechanismus $\Rightarrow s'$
- ✓ Tabu Search $\Rightarrow \tilde{s}$
- ✓ Akzeptanzkriterium:
 - ✓ $\tilde{s} \Rightarrow \hat{s}$
 - ✗ zurück zu \hat{s}
- ✓ Rückgabe der besten gefundenen Lösung s^*

Grundlagen der Iterated Tabu Search (ITS)

Nach Cordeau et al. (2007): Iterated Tabu Search for the car sequencing problem.

- „Klassische“ Tabu Search in Verfahren eingebettet
- Intensivierung & Diversifikation

- Überschaubarer Implementierungsaufwand
- Hohe Lösungsgüte
- Unabhängig von Anfangslösung
- Schnelle Lösungsfindung
- Flexibel an veränderte Bedingungen anpassbar

Prototyp - Funktionalitäten & Fokus

- Einführen neuer Benutzer in das Themengebiet (Informationsfunktion)
- Upload & Konvertierung von Daten im „ROADEF“-Format
- Verwaltung bereits gespeicherter Daten
- Durchführen der ITS mit konfigurierbaren Parametern
- Verständnisvolle Visualisierung der einzelnen Schritte des ITS
 - Eine effiziente / performante Implementierung ist zweitrangig!
 - Möglichkeit der wiederholten Durchführung
- Export der Ergebnisdaten

Prototyp - Architektur

- Implementiert als MEAN-Stack
 - Hauptrechenaufwand liegt beim Client, dadurch gut skalierbar
 - Betriebssystemunabhängig



<http://blog.onclickinnovations.com/mean-stack-mongodb-express-js-angular-js-node-js/>

- Quellcodeverwaltung und -Versionierung mit Git (GitHub)



<https://www.aha.io/assets/github.7433692cabbfa132f34adb034e7909fa.png>

- Hosting auf einem externen virtuellen Windows-Server



<https://de.wikipedia.org/wiki/Strato>

Prototyp - Livedemonstration



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



<https://www.promisec.com/free-demo//>

- Adaption unserer Lösung auf kleine und mittlere Unternehmen mit Variantenfließfertigung
- Funktionserweiterung des Prototyps:
 - Lehre (didaktische Aufbereitung der ITS)
 - Industrie (Akquise)
- Erweiterung des Modells um zusätzliche Bedingungen

- Fragen zur Präsentation

- Verbesserungsvorschläge



<https://media-exp2.licdn.com/mpr/mpr/AAEAAQAAAAAAAAmIAAAAJDRkZTI2OGJlTcyZjMtNGEyMi1iMWMxLWU5ZDdmMzJmOTNiMQ.jpg>