

22. Verkehrswissenschaftliche Tagung / TU Dresden

Leerfahrtenoptimierung und Kapazitätserweiterung durch Kooperationen von Eisenbahnverkehrsunternehmen

Alexandra Saur
Matthias Klumpp
Stephan Zelewski

28.09.2009

gefördert vom



(1) Einleitung und Problemstellung

(2) Modellierung

(3) Praxisbeispiel

(4) Ausblick

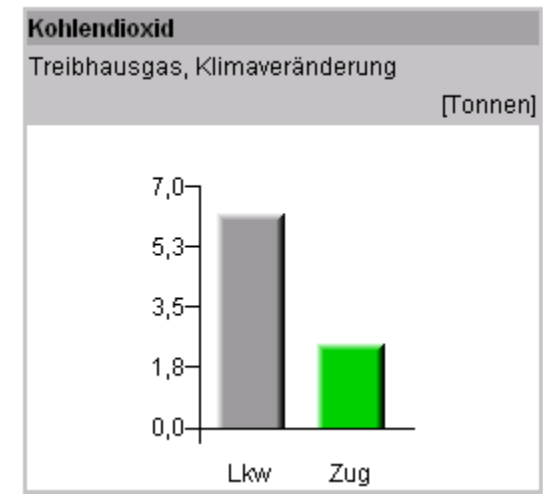
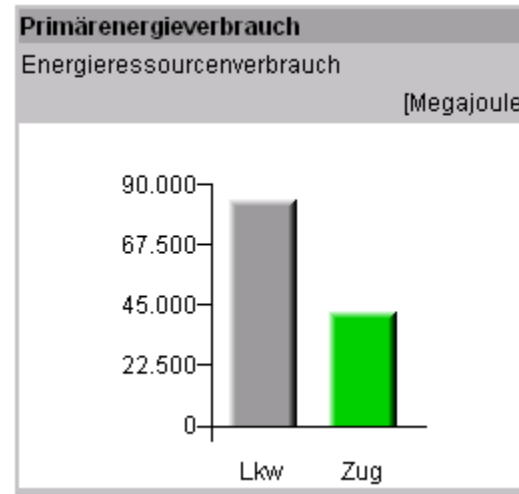


- komplexes Problem der Eisenbahntransportplanung
 - ⇒ Standardansätze der Tourenplanung
 - ⇒ hier jedoch nicht anwendbar wegen:
- Einzelwagenverkehr statt Ganzzugverkehre
- Kapazitätsbetrachtung je Einzelwagen und Lok (Traktion)
- Simultanplanung mehrerer Transportaufträge verschiedener EVU
- kombinierte Lok- und Wagenparks mit unterschiedlichen Typen
- verschiedenartige Streckenprofile (z.B. Elektrifizierungsstatus)



1 Einleitung und Problemstellung

Beispiel: Transport von 100 Tonnen Bananen von Bremerhaven (D) nach Gossau (CH)

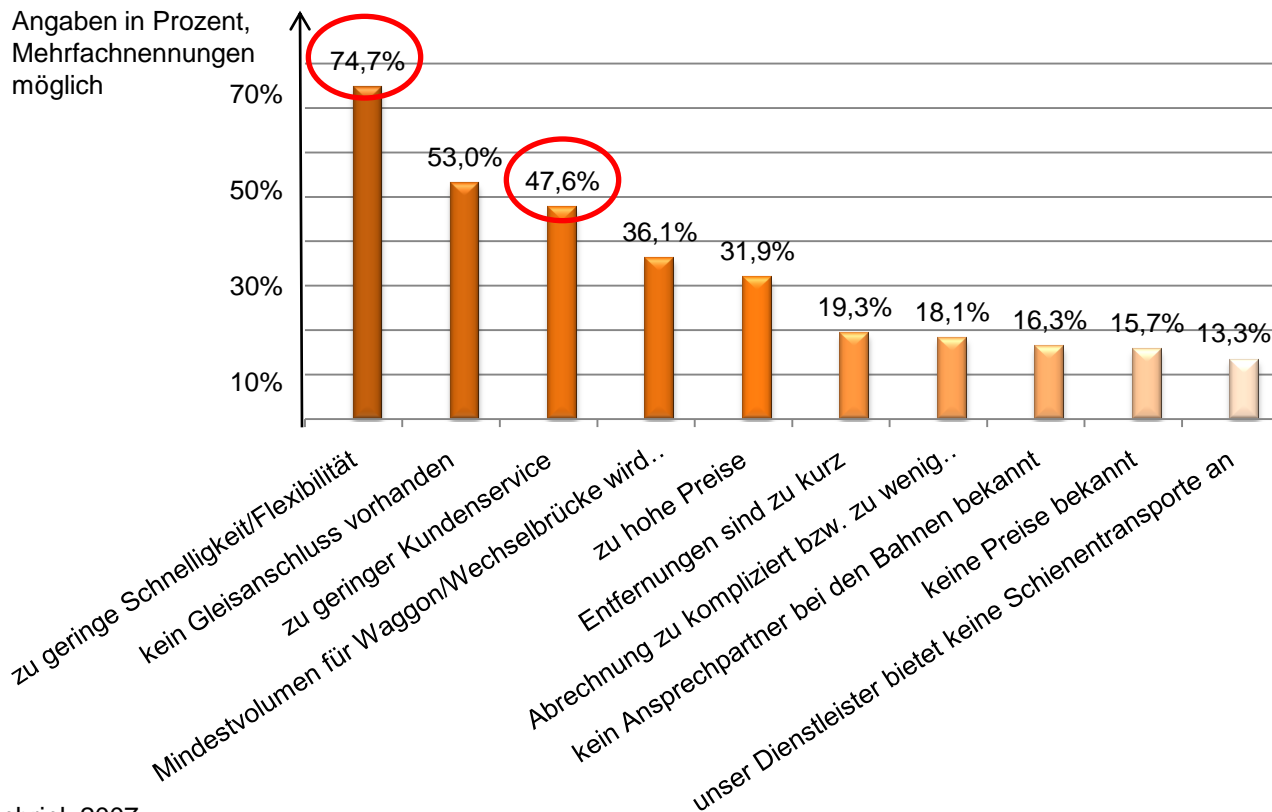


Quelle: www.ecotransit.org

- ➔ 50% weniger Energieverbrauch, 60% weniger CO₂ im Vergleich zum Lkw
- ➔ steigende Straßenkosten, mehr Staus – die Bahn als zuverlässige und energieeffiziente Alternative

1 Einleitung und Problemstellung

- Hinderungsgründe für einen Transport mit der Bahn
- Befragungsergebnis bei 170 Industrie- und Handelsunternehmen



Quelle: BME/Wittenbrink 2007

- Bevorzugung von Ganzzügen auf „Standard-Destinationen“
- Vernachlässigung von Einzelwagenverkehren
- mangelnde Flexibilität
- hohe Preisstruktur bei Einzelwagenverkehren
- zu geringer Kundenservice für kleine und mittelgroße Unternehmen

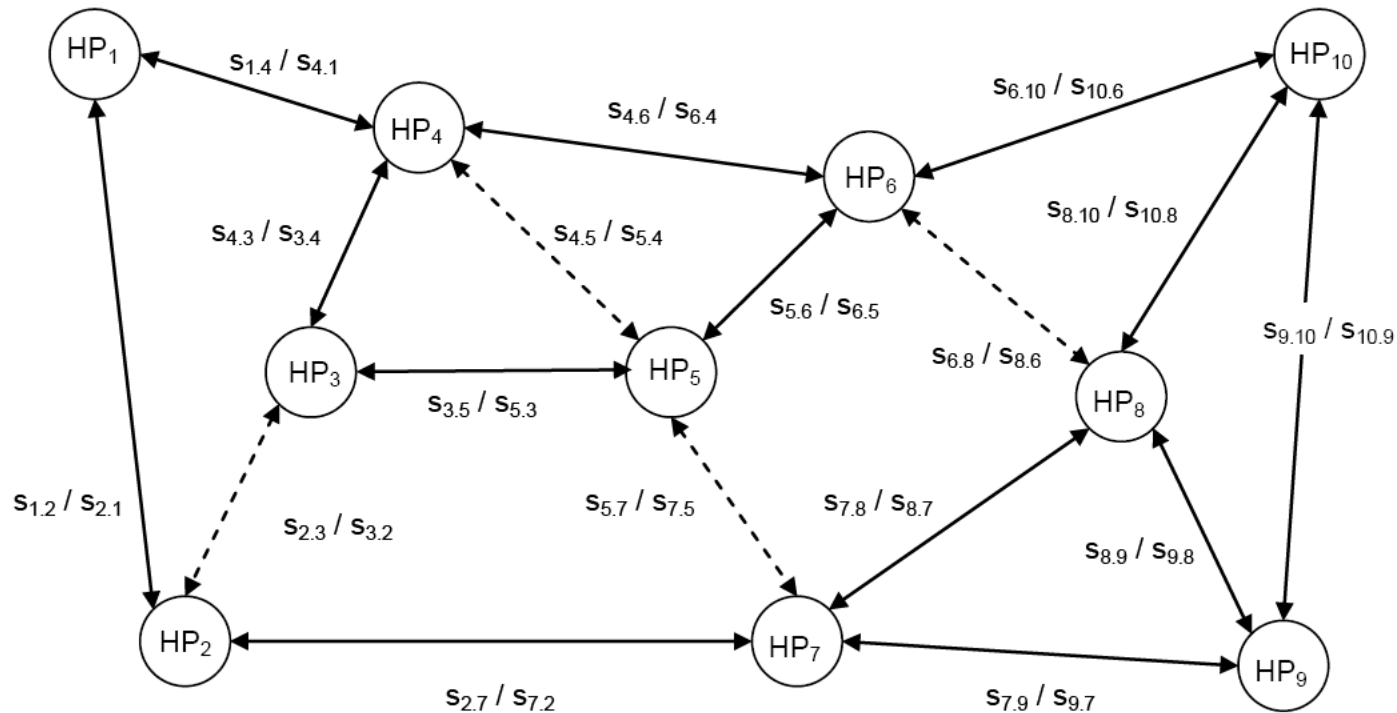


Kooperation

- ein virtuelles Unternehmen aus regionalen und überregionalen Partnern: „alles aus einer Hand“
- intelligente Bündelung der Transportnachfragen durch Integration einzelner Anfragen in ein Gesamtkonzept
- einfache Kommunikationswege mit Hilfe eines Web-Portals
- Coaching bei Reaktivierung passiver Gleisanschlüsse



Beispiel für ein Transportnetzwerk



elektrifizierte Verbindungsstrecken nicht-elektrifizierte Verbindungsstrecken HP: Haltepunkte

2 Modellierung

Modellstruktur - Zielfunktion

- **Ziel:** Minimierung der Tourengesamtleertonnenkilometer/Leerfahrten (TGLTK):

$$\text{TGLTK } \underline{x}, \underline{y}_{\text{wag}}, \underline{y}_{\text{lok}} = \sum_{e=1}^E \sum_{q=1}^{Q_e} \text{LTK}_{e,q} \underline{x}_{e,q}, \underline{y}_{\text{wag},e,q}, \underline{y}_{\text{lok},e,q} \rightarrow \min!$$

- Notwendige Zusatzformeln:

Das Produkt aus entstandenen Leertonnen und zurückgelegter Streckenlänge ergibt für jeden p-ten Tourabschnitt die dort verursachten Leertonnenkilometer. Folglich muss gelten:

$$1) \quad \forall e=1, \dots, E \quad \forall q=1, \dots, Q_e :$$

$$\text{LTK}_{e,q} \underline{x}_{e,q}, \underline{y}_{\text{wag},e,q}, \underline{y}_{\text{lok},e,q} = \sum_{p=1}^{P-1} \left(\underbrace{\text{LT}_{e,q,p} \underline{y}_{\text{wag},e,q}, \underline{y}_{\text{lok},e,q}}_{\substack{\text{Leertonnen auf dem p-ten} \\ \text{Tourabschnitt zwischen} \\ \text{den Haltepunkten HP}_i \text{ und HP}_j \text{ [t]}}} \cdot \underbrace{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_{e,q,p,i} \cdot x_{e,q,p+1,j} \cdot sl_{i,j}}_{\substack{\text{Länge des p-ten Tourabschnitts} \\ \text{zwischen den Haltepunkten} \\ \text{HP}_i \text{ und HP}_j \text{ [km]}}} \right)$$

Die Leertonnen $LT_{e,q,p}(y_{wag,e,q}, y_{lok,e,q})$, die auf einer Tour $T_{e,q}$ während eines p -ten Tourabschnitts zwischen zwei unmittelbar aufeinanderfolgenden Tourpositionen p und $p+1$ entstehen, bestehen aus zwei Komponenten

$$2) \quad \forall e = 1, \dots, E \quad \forall q = 1, \dots, Q_e \quad \forall p = 1, \dots, P - 1:$$

$$LT_{e,q,p} \quad y_{wag,e,q}, y_{lok,e,q} = \dots$$

$$\left(\sum_{c=1}^C y_{sta.c.e,q} \cdot lk_{sta.c} - lg_{sta.c.e,q,p} \right) + \left(\sum_{d=1}^D y_{gef.d.e,q} \cdot lk_{gef.d} - lg_{gef.d.e,q,p} \right) + \dots$$

nicht ausgeschöpfte Ladungskapazitäten der Güterwagen (Leertonnen)
auf dem p -ten Tourabschnitt zwischen den Haltepunkten HP_i und HP_j

$$\left(\left(\sum_{a=1}^A y_{die.a.e,q} \cdot zk_{die.a} \right) + \left(\sum_{b=1}^B y_{ele.b.e,q} \cdot zk_{ele.b} \right) - \dots \right. \\ \left. \left(\sum_{c=1}^C y_{sta.c.e,q} \cdot eg_{sta.c} + lg_{sta.c.e,q,p} \right) + \left(\sum_{d=1}^D y_{gef.d.e,q} \cdot eg_{gef.d} + lg_{gef.d.e,q,p} \right) \right)$$

nicht ausgeschöpfte Traktionskapazitäten der Lokomotiven (Leertonnen)
auf dem p -ten Tourabschnitt zwischen den Haltepunkten HP_i und HP_j

Beispiel Vektoren:

- **Tourvektoren:** dienen dazu, die Touren von Güterzügen und die Zulässigkeit dieser Touren zu definieren

$TV_{e,q} = (hpi_{e,q,1}, \dots, hpi_{e,q,p}, \dots, hpi_{e,q,P})$ für die Spezifizierung einer Tour $T_{e,q}$

Beispiele für Restriktionen:

- **Kopplungsrestriktion:** verknüpft jede Entscheidungsvariable $x_{e,q,p,n}$ und jeden Haltepunkt-Index $hpi_{e,q,p}$ aus dem Tourvektor $TV_{e,q}$ mit dem Wert genau einer positionsgleichen, d.h. im Positionsindex „p“ übereinstimmenden Entscheidungsvariable $x_{e,q,p,n}$ auf folgende Weise:

$$\forall e = 1, \dots, E \quad \forall q = 1, \dots, Q_e \quad \forall p = 1, \dots, P: \quad hpi_{e,q,p} = \sum_{n=1}^N n \cdot x_{e,q,p,n}$$

- **Depotrestriktion:**

Jede zulässige Tour $T_{e,q}$ muss im Depot DEP_e des jeweils betrachteten Eisenbahnverkehrsunternehmens EVU_e beginnen

$$\forall e=1,\dots,E \quad \forall q=1,\dots,Q_e : \sum_{n=1}^N x_{e,q,1,n} \cdot dhp_{e,n} = 1$$

- **Beispiel Entscheidungsvariablen:**

Die Zuordnung von Lokomotiven zu Touren wird durch eine binäre Entscheidungsvariable vorgenommen bzw. angezeigt

$$\forall a=1,\dots,A \quad \forall e=1,\dots,E \quad \forall q=1,\dots,Q_e :$$

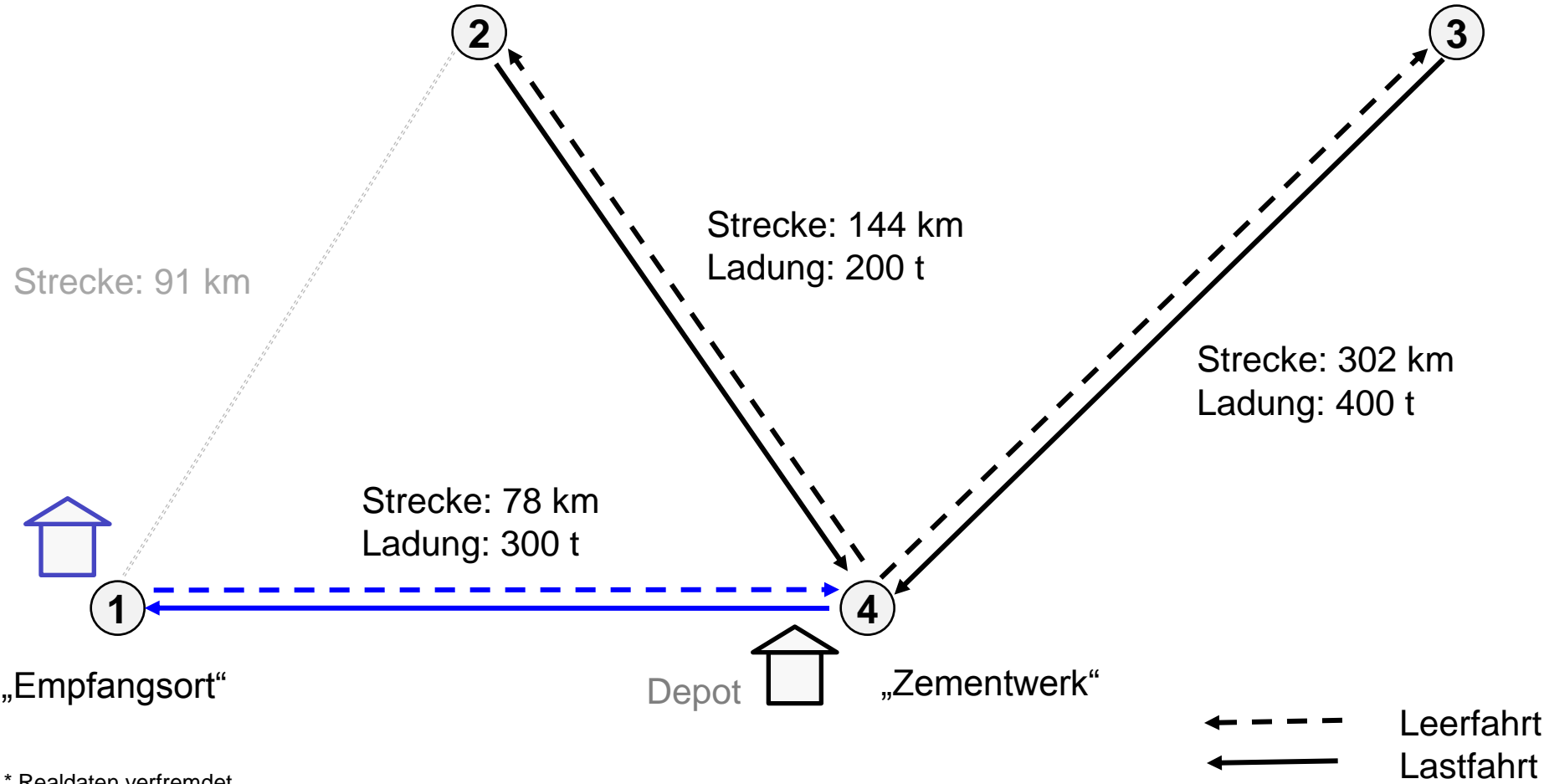
$$y_{die.a.e.q} = \begin{cases} 1, & \text{wenn eine Lokomotive des Typs } LT_{die.a} \text{ der Tour } T_{e,q} \text{ zugeordnet wird} \\ 0, & \text{wenn keine Lokomotive des Typs } LT_{die.a} \text{ der Tour } T_{e,q} \text{ zugeordnet wird} \end{cases}$$

3 Praxisbeispiel

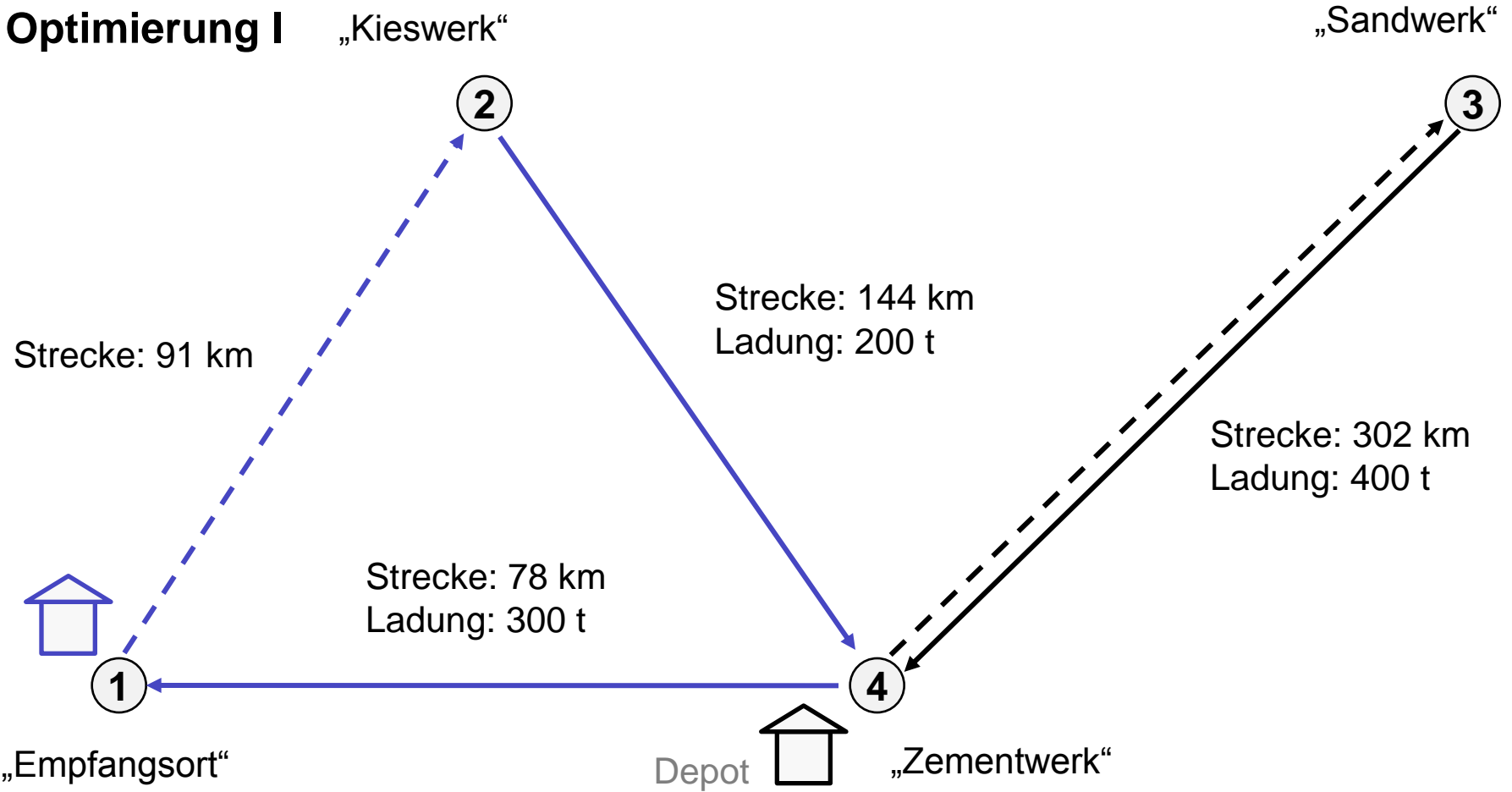
Realproblem*

„Kieswerk“

„Sandwerk“

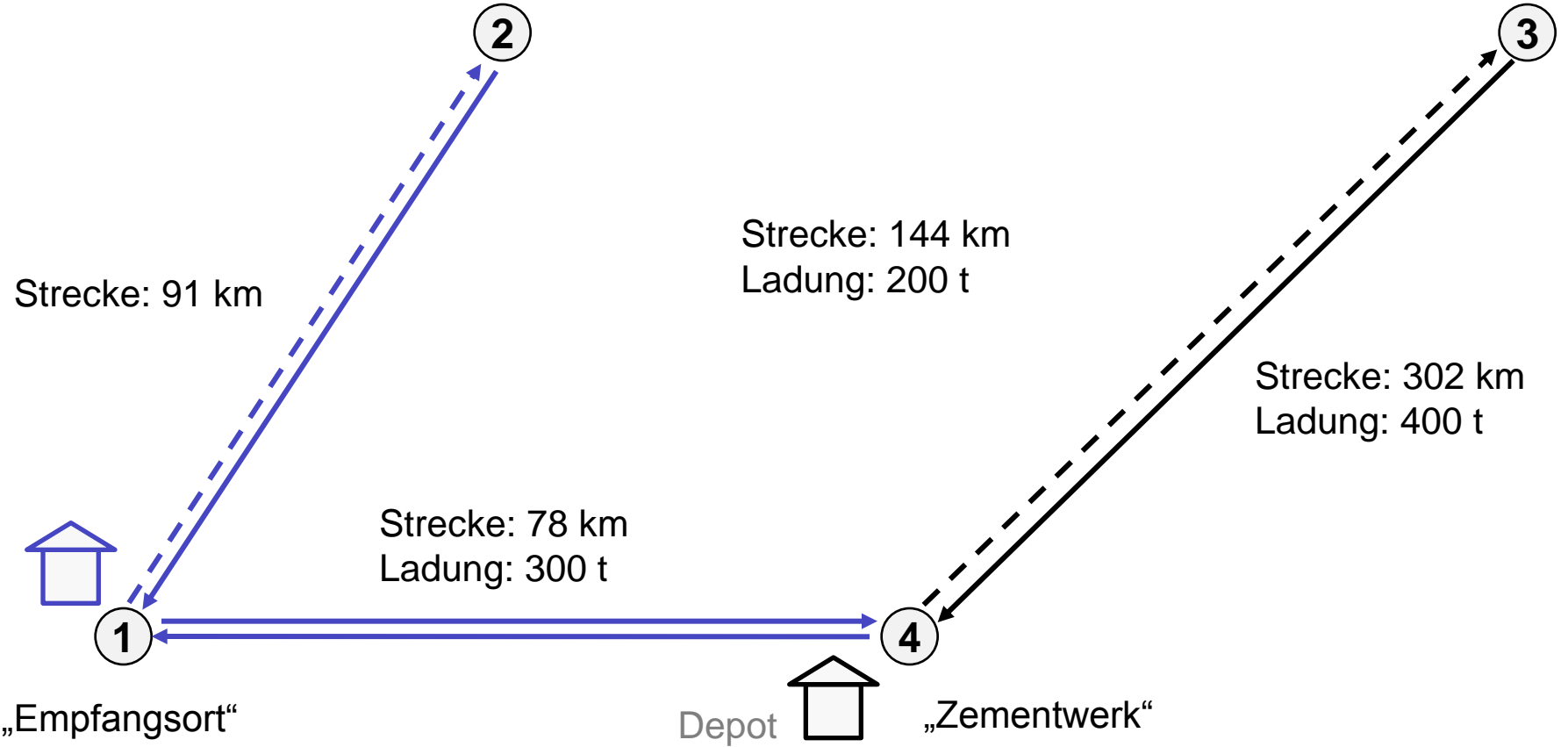


* Realdaten verfremdet.



Optimierung II „Kieswerk“

„Sandwerk“



3 Praxisbeispiel

Last-Fahrt:

Verwendung der Kennziffern aus EcoTransIT Beispiel

Energie (MJ) / tkm	0,6188
CO ₂ (kg) / tkm	0,0410
NO _x (g) / tkm	0,5796
SO ₂ (g) / tkm	0,0506
Staub/Partikel (g) / tkm	0,0214

Leer-Fahrt:

keine Lösung aus EcoTransIT (Logikfehler)

Näherungslösung: Verwendung der Faktoren mit je 50%

Energie (MJ) / tkm	0,3094
CO ₂ (kg) / tkm	0,0205
NO _x (g) / tkm	0,2898
SO ₂ (g) / tkm	0,0253
Staub/Partikel (g) / tkm	0,0107

3 Praxisbeispiel

	Ausgangssituation	Optimierungslösung OL ₁	Optimierungslösung OL ₂
1. Fahrtzeit (pro Tag) in h	14	12	12
2. Leerzeit Fahrt (pro Tag) in h	34	36	36
3. freie Kapazität Fahrtzeit	70,83%	75,00%	75,00%
4. Betriebszeit (pro Tag) in h	20	18	18
5. Leerzeit Betrieb (pro Tag) in h	28	30	30
6. freie Kapazität Betriebszeit	58,33%	62,50%	62,50%
7. Lastfahrt (Strecke) in km	524	524	549
8. Leerfahrt (Strecke) in km	524	393	393
9. Leerfahrtenanteil (Strecke)	50,00%	42,86%	41,72%
10. Lastleistung in t·km	173.000	173.000	178.000
11. Leerleistung Fahrtzeit i.e.S. in t·km	173.000	148.100	139.000
12. freie Kapazität Fahrtzeit i.e.S.	50,00%	46,12%	43,85%
13. Leerleistung Fahrtzeit i.w.S. in t·km	351.000	285.500	293.000
14. freie Kapazität Fahrtzeit i.w.S.	66,98%	62,27%	62,21%
15. Leerleistung Betriebszeit i.w.S. in t·km	591.000	525.500	533.000
16. freie Kapazität Betriebszeit i.w.S.	77,36%	75,23%	74,96%
17. Leerleistung Gesamtzeit i.w.S. in t·km	1.711.000	1.725.500	1.733.000
18. freie Kapazität Gesamtzeit i.w.S.	90,82%	90,89%	90,69%
19. Energieverbrauch in MJ	160.570,16	152.866,50	153.144,95
20. CO₂-Emissionen in kg	10.641,77	10.131,21	10.149,66
21. NO _x -Emissionen in g	150.394,58	143.179,12	143.439,92
22. SO ₂ -Emissionen in g	13.143,04	12.512,48	12.535,27
23. Feinstaub-Emissionen in g	5.548,27	5.282,08	5.291,71

- weiterführende theoretische Modellierung mit den Zielsetzungen
 - ⇒ Minimierung der Tourengesamtemission
 - ⇒ Minimierung der Tourengesamtlänge

- wichtige „Komplexitätstreibende“ Modellaspekte integrieren
 - ⇒ Vorratshaltung von Güterwagen für nachfragestarke Perioden
 - ⇒ weitere Zielgrößen wie Transportflexibilität

- hohe praktische Bedeutung der Modellierung
 - ⇒ da Kooperationen im Eisenbahnverkehr zunehmen
 - ⇒ da „Green Logistics“ immer mehr bedeutsam wird

- Projektarbeit MAEKAS: Testphase und operativer Einsatz bei Eisenbahnverkehrsunternehmen

- Erweiterung und Anwendung in der Logistikplanung („Supply Chain Design“)
 - ⇒ ggf. durch Logistikdienstleister

4 Danksagung

Das **Verbundprojekt MAEKAS** wird mit Mitteln des **Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi)** innerhalb des Rahmenkonzepts „Intelligente Logistik im Güter- und Wirtschaftsverkehr“ gefördert und vom Projektträger **Mobilität und Verkehr, Bauen und Wohnen (PT MVBW)**, der **TÜV Rheinland Consulting GmbH**, betreut. Die Mitglieder des Projektteams danken für die großzügige Unterstützung ihrer Forschungs- und Transferarbeiten. Nähere Informationen zum Projekt finden sich im Internet unter der URL **www.maekas.wiwi.uni-due.de**.

The screenshot shows the website for MAEKAS (Initiative zur nachhaltigen Schienenlogistik) at www.maekas.wiwi.uni-due.de. The page includes a navigation menu on the left, a main content area with a 'Startseite' section, and a right sidebar with 'Download' and 'Login' options. The main text describes the project as a consortium of various rail and port companies aiming to improve transport efficiency and reduce costs. It lists project partners from industry and academia, and mentions funding from the German Federal Government.



- **Universität Duisburg-Essen, Campus Essen**

Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement (PIM)
Fakultät Wirtschaftswissenschaften
Universitätsstraße 9
45141 Essen

Frau Dipl.-Kff. Alexandra Saur
Telefon: 0201/183-4322 (Saur)
alexandra.saur@pim.uni-due.de

Herr Prof. Dr. Stephan Zelewski
Telefon: 0201/183-4040 (Zelewski),
stephan.zelewski@pim.uni-due.de



- **FOM Fachhochschule für Oekonomie & Management**

Institut für Logistik und Dienstleistungsmanagement (ild)
Leimkugelstraße 6
45141 Essen

Herr Prof. Dr. Matthias Klumpp
Telefon: 0201/240967174
matthias.klumpp@fom.de

