14. Magdeburger Logistiktagung

Optimierung von Leerfahrten im Schienengüterverkehr

Alexandra Saur
Stephan Zelewski
Matthias Klumpp

gefördert vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie

Institut für Logistik- & Dienstleistungsmanagement an der FOM University of Applied Sciences

MAEKAS Initiative zur nachhaltigen Schienenlogistik

Agenda

(1) Einleitung und Problemstellung

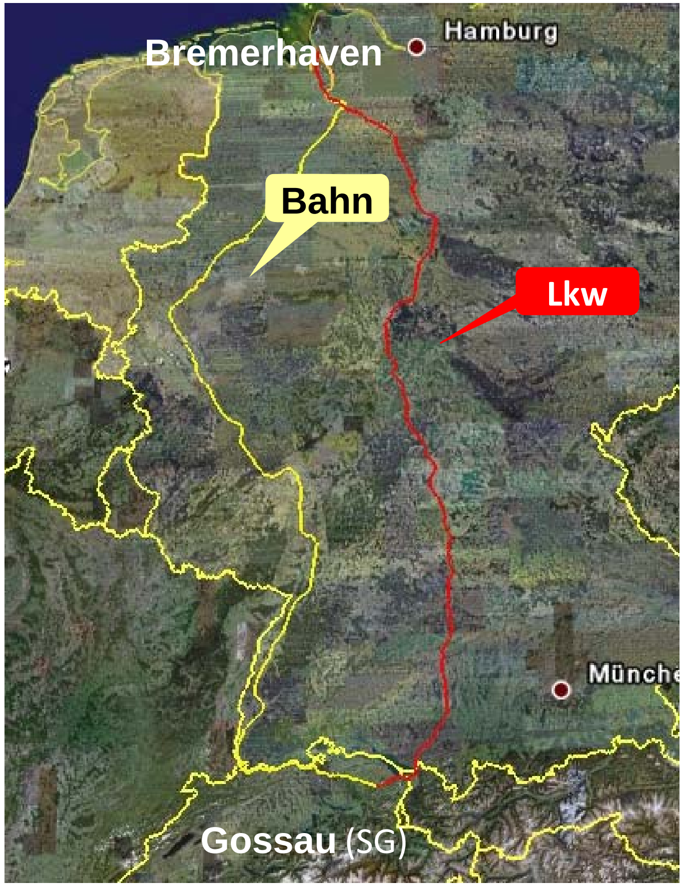
(2) Modellierung

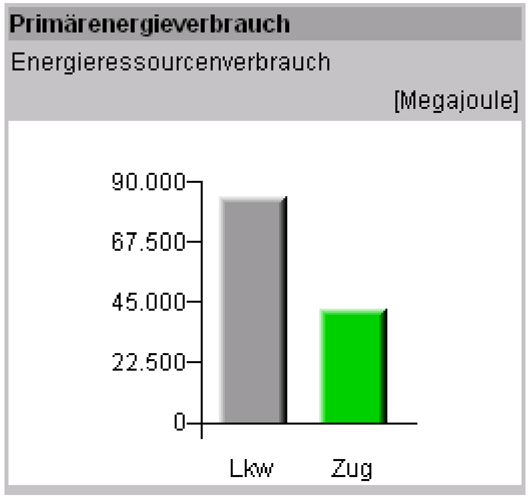
(3) Optimierung mit realen Transportdaten

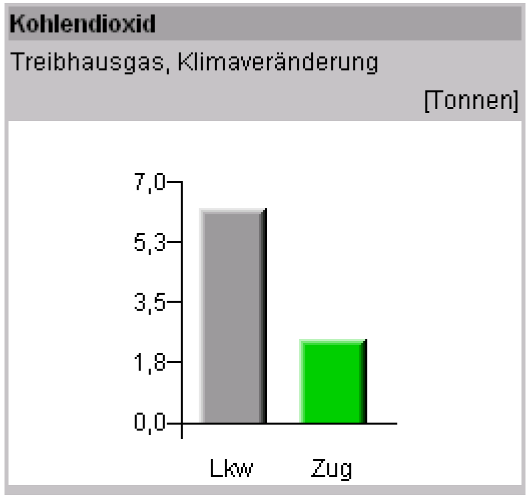
(4) Ausblick

1 Einleitung und Problemstellung

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







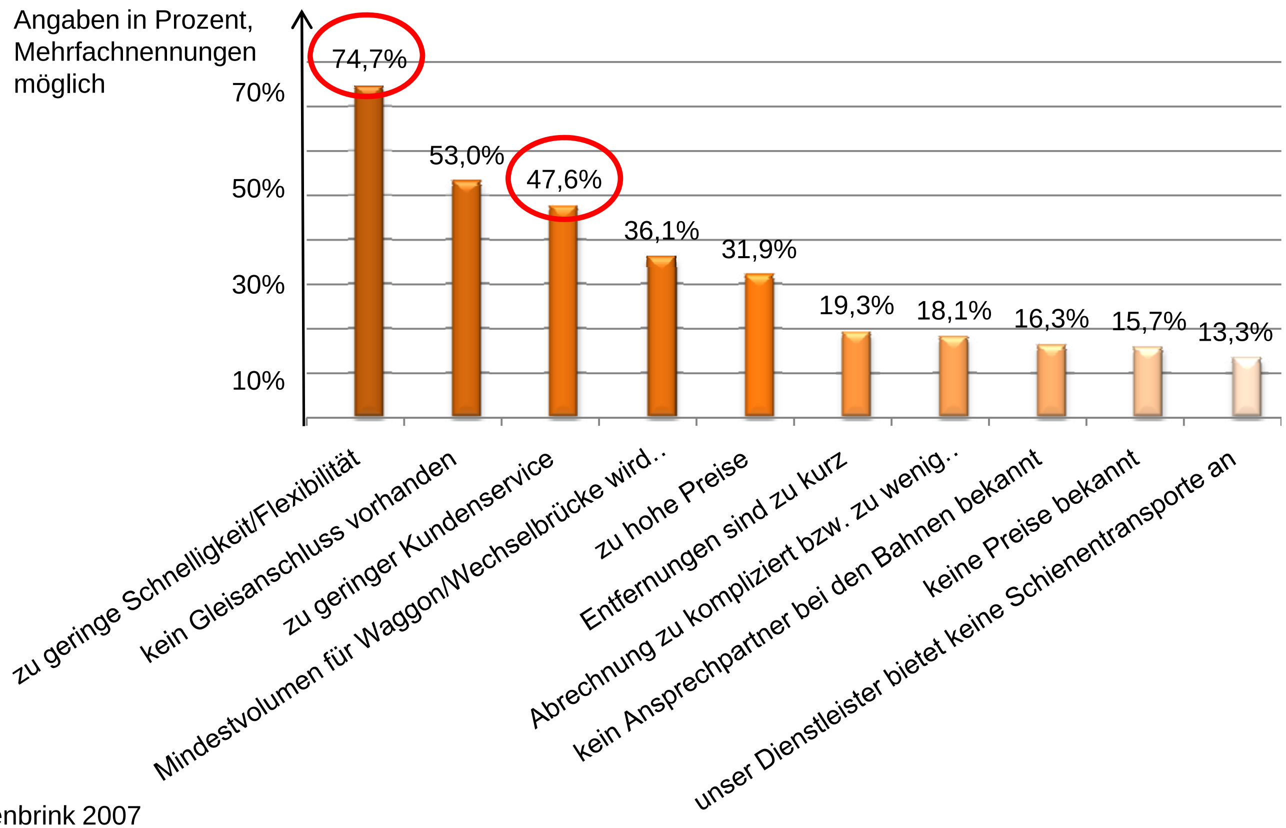
Quelle: www.ecotransit.org

- 50% weniger Energieverbrauch,
  60% weniger CO_2
  im Vergleich zum Lkw
- steigende Straßenkosten, mehr Staus – die Bahn als zuverlässige und energieeffiziente Alternative

1 Einleitung und Problemstellung

MAEKAS
Initiative zur nachhaltigen Schienenlogistik

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



Quelle: BME/Wittenbrink 2007

1 Einleitung und Problemstellung

MAEKAS
Initiative zur nachhaltigen Schienenlogistik

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


1 Einleitung und Problemstellung

MAEKAS
Initiative zur nachhaltigen Schienenlogistik

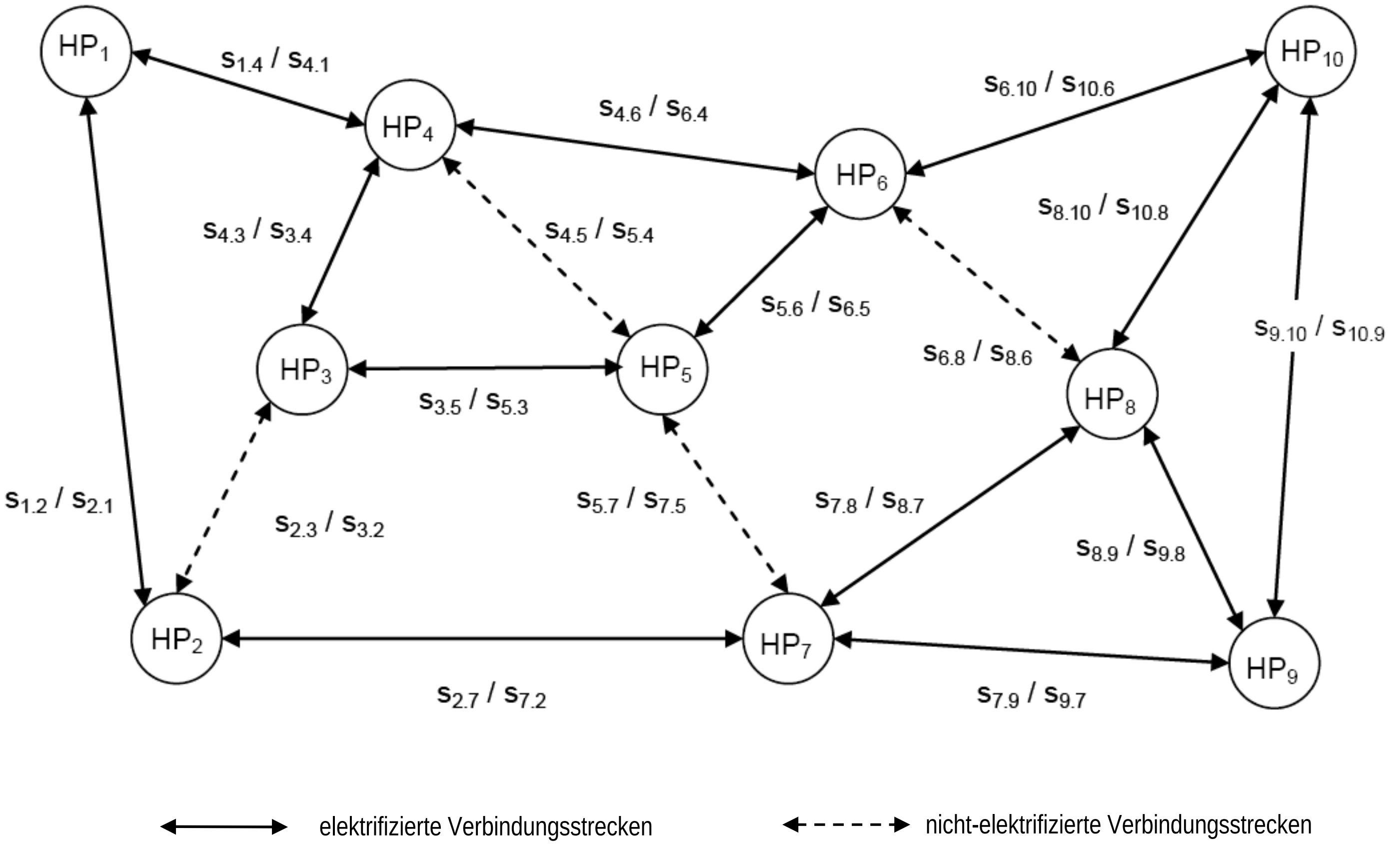
Kooperation

- 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

2 Modell

MAEKAS
Initiative zur nachhaltigen Schienenlogistik

Beispiel für ein Transportnetzwerk



Modellstruktur

- **Ziel**: Minimierung der Leertonnenkilometer/Leerfahrten

$$\mathrm{LTKG} = \sum_{e=1}^{E} \sum_{q=1}^{Q_e} \mathrm{LTK}_{e.q} \rightarrow \min!$$

- **Beispiele für Restriktionen:**

(a) Kapazitätsrestriktionen:

$$\forall c \in 1,\ldots,C \quad \forall p \in 1,\ldots,N+1 : \quad \mathrm{lg}_{wag.sta.c.e.q.p} \leq y_{wag.sta.c.e.q} \bullet \mathrm{lk}_{wag.sta.c}$$

(b) Halterestriktionen als Belade- und Entladerestriktionen:

$$\forall c \in 1,\ldots,C \quad \forall i \in 1,\ldots,N \quad \forall j \in 1,\ldots,N :$$

$$z_{wag.sta.c.i.e.q} \leq \sum_{p=1}^{N+1} x_{e.q.p.i} \quad \wedge \quad zz_{wag.sta.c.i.j.e.q} \leq \sum_{p=1}^{N+1} x_{e.q.p.i} \bullet \sum_{p=1}^{N+1} x_{e.q.p.j}$$

Beispiel Integritätsbedingungen:

- Die in einem Starthaltepunkt aufgenommenen Gütermengen müssen den im Zielhaltepunkt abgeladenen Gütermengen entsprechen.

$$\forall c \in 1,\ldots,C \quad \forall i \in 1,\ldots,N \;:\; gmb_{wag.sta.c.i} > 0 \;\rightarrow\; \dot{\exists} j \in 1,\ldots,N \;:\; gmb_{wag.sta.c.i} = gme_{wag.sta.c.i.j}$$

Beispiel Entscheidungsvariablen:

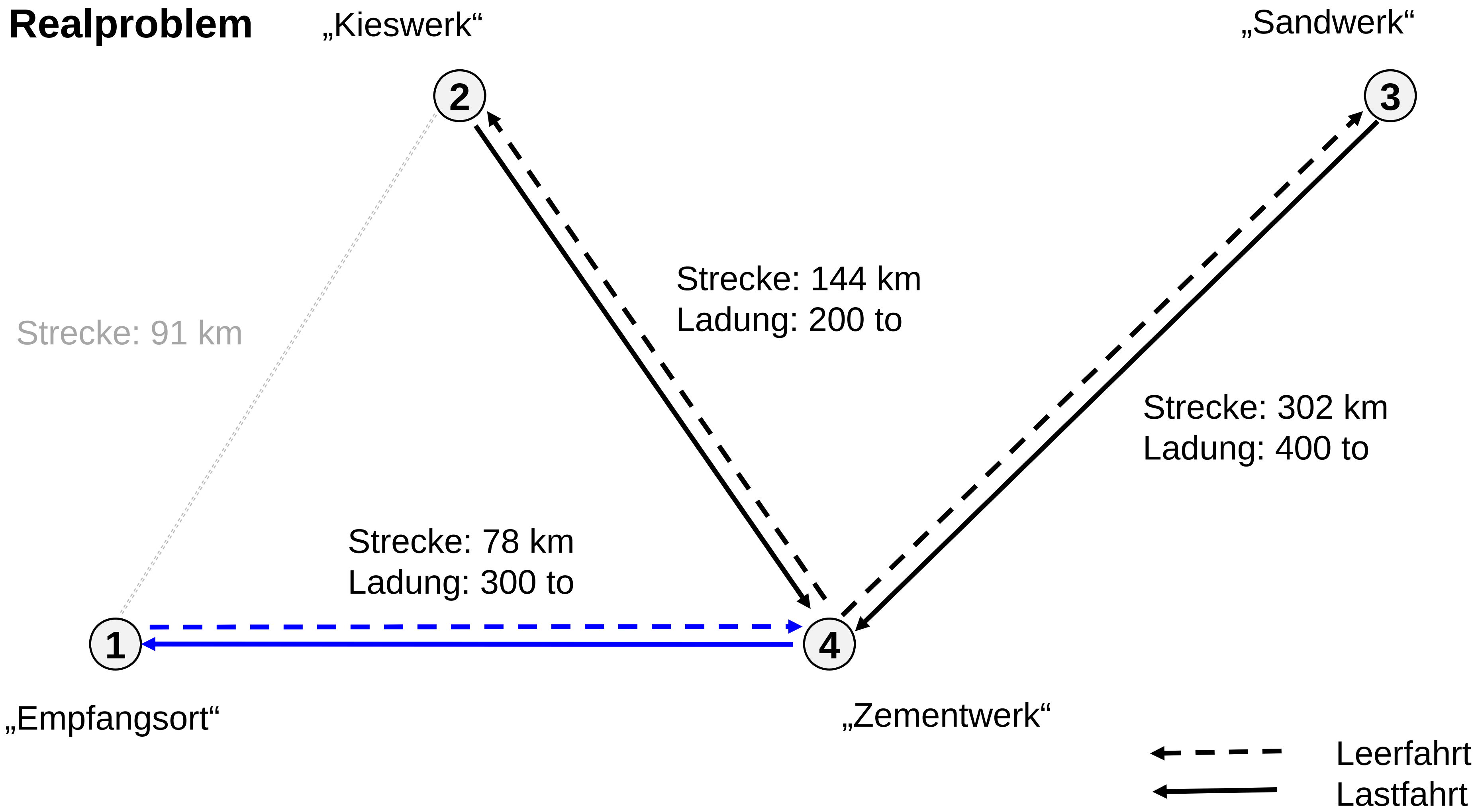
- Die Zuordnung von Lokomotiven zu Touren wird durch eine binäre Entscheidungsvariable vorgenommen bzw. angezeigt.

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

3 Optimierung mit realen Transportdaten

MAEKAS
Initiative zur nachhaltigen Schienenlogistik

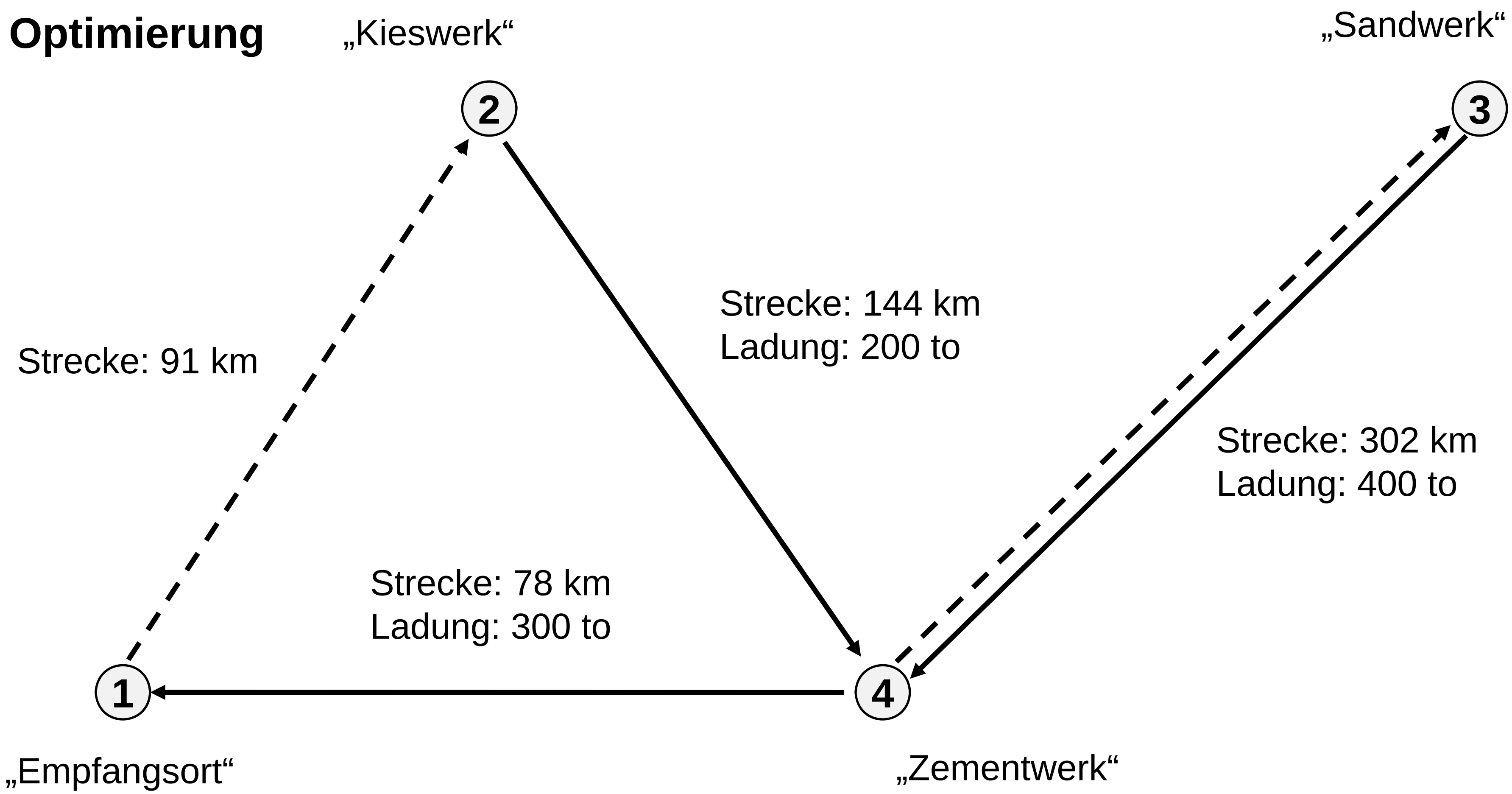
Realproblem



3 Optimierung mit realen Transportdaten

MAEKAS
Initiative zur nachhaltigen Schienenlogistik

Optimierung



3 Optimierung mit realen Transportdaten

MAEKAS
Initiative zur nachhaltigen Schienenlogistik

Lingo Modellierung (Ausschnitt):

```
@FOR(Haltepunkt(n):
        @sum(Tourbeladungsmenge(n,e,q): Entscheidungsvariable_z(n,e,q) ) = Relevanzvariable_brel(n) );

@FOR(Haltepunkt(n):
        @FOR(Tour(e,q) | Tourindex(q) #LE# Anzahl_max_Touren(e):
                Entscheidungsvariable_z(n,e,q) <= Relevanzvariable_brel(n) ));

@FOR(Haltepunkt(i):
        @FOR(Haltepunkt(j):
                @sum(Tourentladungsmenge(i,j,e,q):
                        Entscheidungsvariable_zz(i,j,e,q) ) = Relevanzvariable_erel(i,j) ));

@FOR(Haltepunkt(i):
        @FOR(Haltepunkt(j):
                @FOR(Tour(e,q) | Tourindex(q) #LE# Anzahl_max_Touren(e):
                        Entscheidungsvariable_zz(i,j,e,q) <= Relevanzvariable_erel(i,j) )));

@FOR(Tour(e,q) | Tourindex(q) #LE# Anzahl_max_Touren(e):
        @FOR(Tourpositionen_bis_N(p):
                @FOR(Haltepunkt(i):
                        @FOR(Haltepunkt(j): Hilfsvariable1_x(e,q,p,i,j) =
                                Entscheidungsvariable_x(e,q,p,i) * Entscheidungsvariable_x(e,q,p+1,j) ))));

@FOR(Tour(e,q) | Tourindex(q) #LE# Anzahl_max_Touren(e):
        @FOR(Haltepunkt(i):
                @FOR(Haltepunkt(j): Hilfsvariable2_x(e,q,i,j) =
                        @SUM(Tourpositionen_bis_N(p): Hilfsvariable1_x(e,q,p,i,j)) )));

@FOR(Tour(e,q) | Tourindex(q) #LE# Anzahl_max_Touren(e): Tourlaenge(e,q) =
                @SUM( Verbindungsstrecken(i,j): Streckenlaenge(i,j) * Hilfsvariable2_x(e,q,i,j) ));

Gesamtlaenge_aller_Touren = @SUM(Tour(e,q): Tourlaenge(e,q));

MIN = Gesamtlaenge_aller_Touren ;

ENDSUBMODEL
```

3 Optimierung mit realen Transportdaten

MAEKAS
Initiative zur nachhaltigen Schienenlogistik

Lingo Lösungsreport (Ausschnitt):

```
Local optimal solution found.
Objective value:                              917.0000
Objective bound:                              917.0000
Infeasibilities:                              0.000000
Extended solver steps:                               1
Total solver iterations:                           393


                          Variable           Value        Reduced Cost
                ANZAHL_HALTEPUNKTE        4.000000            0.000000
           ANZAHL_MAX_TOURPOSITIONEN        7.000000            0.000000
      ANZAHL_MAX_TOURPOSITIONEN_MINEIN        6.000000            0.000000
          GROESSTE_ANZAHL_MAX_TOUREN        1.000000            0.000000
                    TOURGESAMTLAENGE        917.0000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP1, HP1)       0.000000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP1, HP2)       91.00000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP1, HP3)       0.000000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP1, HP4)       78.00000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP2, HP1)       91.00000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP2, HP2)       0.000000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP2, HP3)       0.000000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP2, HP4)       144.0000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP3, HP1)       0.000000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP3, HP2)       0.000000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP3, HP3)       0.000000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP3, HP4)       302.0000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP4, HP1)       78.00000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP4, HP2)       144.0000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP4, HP3)       302.0000            0.000000
            STRECKENLAENGE( HP4, HP4)       0.000000            0.000000
```

3 Optimierung mit realen Transportdaten

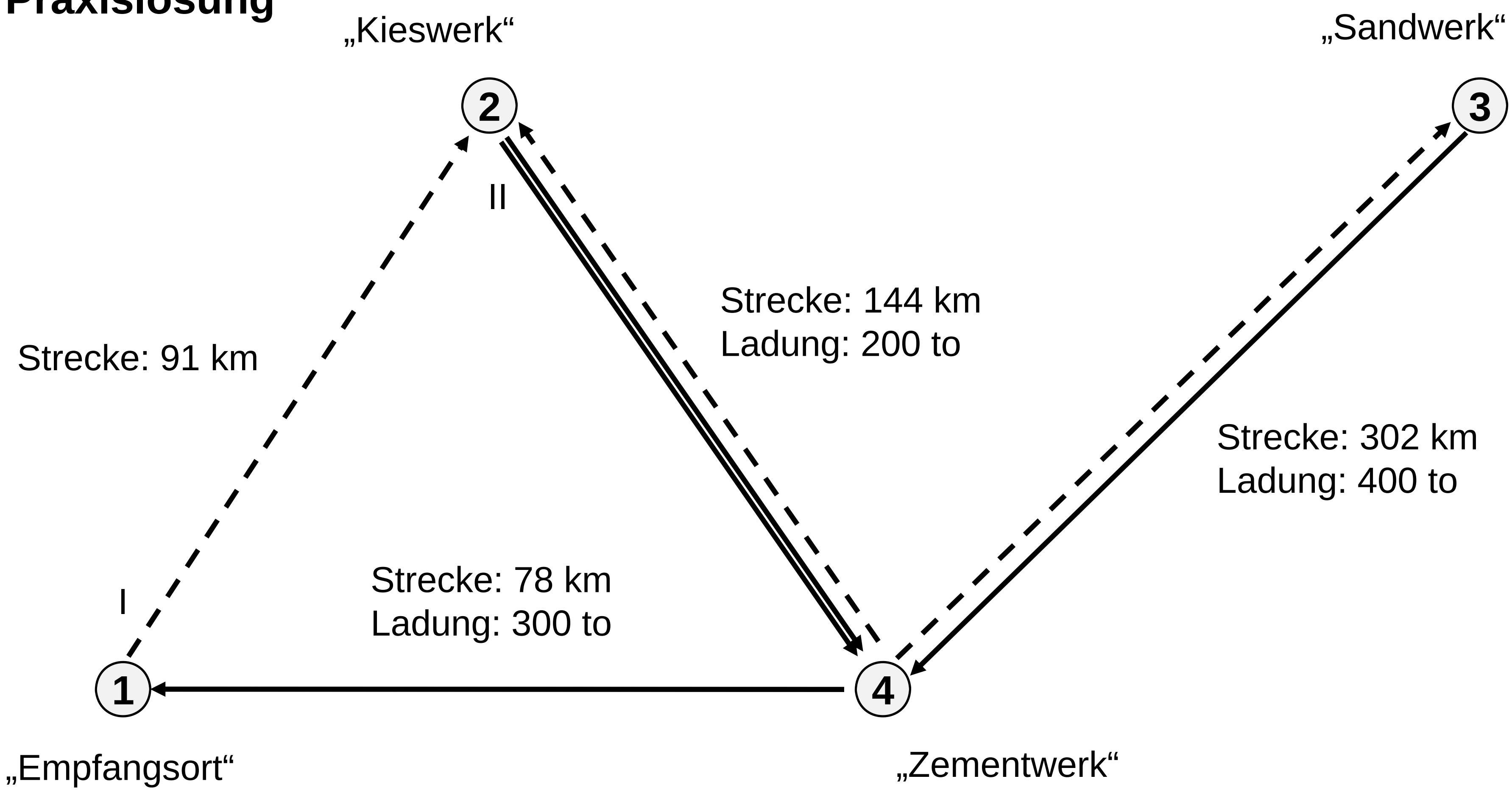
MAEKAS
Initiative zur nachhaltigen Schienenlogistik

	Leer-kilometer	Last-kilometer	Tourkilometer gesamt	Leertonnen-kilometer	Lasttonnen-kilometer
Lösung 1 (Ausgangs-situation)	524 km	524 km	1.048 km	173.000 tkm	173.000 tkm
Lösung 2 (theoretische Optimierung)	**393 km**	**524 km**	**917 km**	**148.100 tkm**	**173.000 tkm**
Lösung 3 (praktische Optimierung)	537 km	668 km	1.205 km	176.900 tkm	201.800 tkm

3 Optimierung mit realen Transportdaten

MAEKAS
Initiative zur nachhaltigen Schienenlogistik

Praxislösung



4 Ausblick

MAEKAS
Initiative zur nachhaltigen Schienenlogistik

- weiterführende theoretische Modellierung mit den Zielsetzungen Minimierung der Tourengesamtemission:

$$TGE_{CO_2} = \sum_{e=1}^{E} \sum_{q=1}^{Q_e} TE_{e.q.CO_2} \rightarrow \min!$$

und Minimierung der Tourengesamtlänge:

$$TGL = \sum_{e=1}^{E} \sum_{q=1}^{Q_e} TL_{e.q} \rightarrow \min!$$

- Testphase und operativer Einsatz bei Eisenbahnverkehrsunternehmen
- Erweiterung und Anwendung in der Logistikplanung („Supply Chain Design“), ggf. durch Logistikdienstleister
- Teil der Projektevaluation des Verbundprojekts MAEKAS und mögliche Grundlage für weitere Projektevaluationen

Autoren

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

Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement (PIM)
Fachbereich Wirtschaftswissenschaften
Universitätsstraße 9
45141 Essen
Frau Dipl.-Kff. Alexandra Saur
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)
Sigsfeldstraße 5
45141 Essen
Herr Prof. Dr. Matthias Klumpp
matthias.klumpp@fom.de