
Lenk- und Ruhezeiten in der Tourenplanung

Asvin Goel und Volker Gruhn

Lehrstuhl für Angewandte Telematik/e-Business, Universität Leipzig,
Klostergasse 3, 04109 Leipzig
goel@telematique.eu, gruhn@ebus.informatik.uni-leipzig.de

Zusammenfassung Am 11. April 2007 werden in der Europäischen Union neue Vorschriften bezüglich der Lenk- und Ruhezeiten im Straßengütertransport in Kraft treten. Den neuen Vorschriften zufolge können Spediteure und Verlader für Verstöße der Fahrer haftbar gemacht werden. Da zudem Lenk- und Ruhezeiten einen signifikanten Einfluss auf Reisezeiten haben, ist eine Berücksichtigung der entsprechenden Regelungen bei der Tourenplanung unumgänglich. In diesem Beitrag wird gezeigt wie die neuen EU-Vorschriften in die Tourenplanung eingebracht werden können und das Vehicle Routing Problem mit Lenk- und Ruhezeiten (VRPLR) vorgestellt.

1 Einleitung

Am 11. April 2007 werden in der Europäischen Union neue Vorschriften bezüglich der Lenk- und Ruhezeiten im Straßengütertransport in Kraft treten [1]. Lenk- und Ruhezeiten haben i.d.R. einen signifikanten Einfluss auf Reisezeiten, die sich aus der reinen Fahrzeit und der Zeit für obligatorische Pausen ergibt. Den neuen Vorschriften zufolge, können zudem Spediteure und Verlader für Verstöße der Fahrer haftbar gemacht werden. Daher ist eine Berücksichtigung der entsprechenden Regelungen bei der Tourenplanung unumgänglich. Trotz ihrer Bedeutung in der Tourenplanung haben Regelungen bezüglich Lenk- und Ruhezeiten bisher nur wenig Berücksichtigung in der Literatur gefunden. [2] zeigen wie eine maximale Lenkzeit während einer Tour in Einfügeheuristiken berücksichtigt werden kann. [3] untersuchen ein Tourenplanungsproblem in welchem Mittagspausen und Nachtrühen innerhalb vorgegebener Zeitfenster eingelegt werden müssen. Lenk- und Ruhezeitenregelungen des U.S. Department of Transportation wurden von [4] berücksichtigt, allerdings wird nicht betrachtet, dass Ruhezeiten eingelegt werden können bevor die maximale täglich Lenkzeit erschöpft ist. Solche „frühen“ Ruhezeiten, die notwendig sein können um Zeitfensterrestriktionen an folgenden Be- und Entladestellen einhalten zu können, wurden bisher nur in [5] berücksichtigt.

In diesem Beitrag wird gezeigt wie Ruhezeiten und Lenkzeitunterbrechungen zwischen den Ruhezeiten in die Tourenplanung eingebracht werden können. In Abschnitt 2 werden wir zunächst die neuen EU-Vorschriften kurz beschreiben und dann zeigen, wie Lenk- und Ruhezeiten berechnet werden können. In Abschnitt 3 wird dann das Vehicle Routing Problem mit Lenk- und Ruhezeiten vorgestellt.

2 Berechnung von Lenk- und Ruhezeiten

In diesem Beitrag werden folgende Vorschriften bezüglich der Lenk- und Ruhezeiten im Straßengütertransport betrachtet:

- Nach einer Lenkzeit (LZ) von viereinhalb Stunden ($t_{LZ} = 4.5$) muss ein Fahrer eine ununterbrochene Lenkzeitunterbrechung (LZU) von wenigstens 45 Minuten einlegen ($t_{LZU} = 0.75$), sofern er keine Ruhezeit einlegt.
- Nach einer täglichen Lenkzeit (TLZ) von maximal 9 Stunden ($t_{TLZ} = 9$) muss ein Fahrer eine ununterbrochene tägliche Ruhezeit (RZ) von mindestens 11 Stunden einlegen ($t_{RZ} = 11$).
- Während einer Lenkzeitunterbrechung oder täglichen Ruhezeit darf ein Fahrer frei über seine Zeit verfügen und es dürfen keine Arbeitszeiten (AZ) für Be- und Entladung oder anderen Tätigkeiten anfallen.
- Die wöchentliche Lenkzeit (WLZ) darf 56 Stunden nicht überschreiten ($t_{WLZ} = 56$).

Weitere Vorschriften, insbesondere Ausnahmeregelungen, werden in diesem Beitrag nicht berücksichtigt.

Wie Abbildung 1 zeigt, gibt es alternative Möglichkeiten Lenk- und Ruhezeiten einzuplanen, da Ruhezeiten eingelegt werden können bevor die maximale

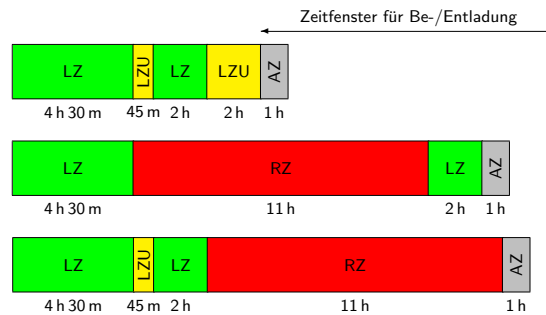


Abbildung 1. Alternative Lenk- und Ruhezeiten

tägliche Lenkzeit erschöpft ist. Zur Berechnung möglicher Lenk- und Ruhezeiten sei das Label l_n für einen Knoten $n \in \mathcal{N}$ wie folgt definiert:

$$l_n = \begin{pmatrix} l_{n,1} \\ l_{n,2} \\ l_{n,3} \\ l_{n,4} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \text{Ankunftszeit} \\ \text{wöchentliche Lenkzeit (WLZ)} \\ \text{tägliche Lenkzeit (TLZ)} \\ \text{Lenkzeit (LZ)} \end{pmatrix}$$

Ein Fahrzeug mit Label l_n erreicht den Knoten n zur Zeit $l_{n,1}$ und kann ihn frühestens zum Zeitpunkt $l_{n,1} + s_n$ verlassen, wobei s_n die benötigte Zeit für Be-/Entladung am Knoten n bezeichne. Der Fahrer darf noch maximal $t_{\text{WLZ}} - l_{n,2}$ bzw. $t_{\text{TLZ}} - l_{n,3}$ fahren bevor die nächste wöchentliche bzw. tägliche Ruhezeit eingelegt werden muss. Nach einer weiteren Lenkzeit von maximal $t_{\text{LZ}} - l_{n,4}$ muss die nächste Lenkzeitunterbrechung eingelegt werden.

Nicht alle der möglichen Label für einen Knoten müssen berücksichtigt werden und ein Label l_n *dominiert* ein anderes Label l'_n falls

$$l_{n,1} \leq l'_{n,1} \text{ und } l_{n,2} \leq l'_{n,2} \text{ und } l_{n,3} \leq l'_{n,3} \text{ und } l_{n,4} \leq l'_{n,4} \quad (\text{D1})$$

oder

$$l_{n,1} + t_{\text{LZU}} \leq l'_{n,1} \text{ und } l_{n,2} \leq l'_{n,2} \text{ und } l_{n,3} \leq l'_{n,3} \quad (\text{D2})$$

oder

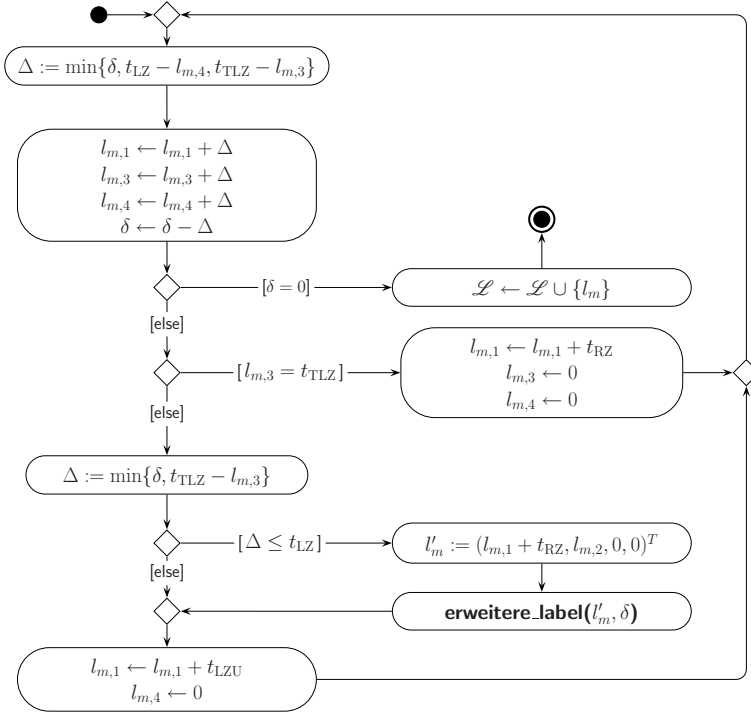
$$l_{n,1} + t_{\text{RZ}} \leq l'_{n,1} \text{ und } l_{n,2} \leq l'_{n,2}. \quad (\text{D3})$$

Trivialerweise, muss ein Label, welches durch (D1) dominiert wird nicht berücksichtigt werden. Falls ein Label durch (D2) bzw. (D3) dominiert wird, so kann die Fahrt mit einer Lenkzeitunterbrechung bzw. Ruhezeit fortgesetzt werden, und danach würde (D1) gelten. Man beachte, dass keines der Label für die alternativen Lenk- und Ruhezeiten aus Abbildung 1 eines der anderen Label dominiert.

Wir zeigen nun wie mögliche Label l_m für einen Knoten $m \in \mathcal{N}$ berechnet werden können, wenn das betrachtete Fahrzeug von einem Knoten $n \in \mathcal{N}$ mit Label l_n zu dem Knoten m fährt. In diesem Beitrag nehmen wir an, dass ausschließlich Fahrten zwischen zwei wöchentlichen Ruhezeiten berücksichtigt werden müssen. Daher muss $l_{n,2} + \delta_{nm} \leq t_{\text{WLZ}}$ gelten, wobei δ_{nm} die reine Fahrzeit von n nach m bezeichne. Wir setzen zunächst $\mathcal{L} := \emptyset$ und

$$l_m := (l_{n,1} + s_n, l_{n,2} + \delta_{nm}, l_{n,3}, l_{n,4})^T.$$

Nun wird die rekursive Funktion, welche in Abbildung 2 beschrieben wird, durch `erweitere_label(l_m, δ_{nm})` aufgerufen. Zunächst wird die maximale ununterbrochene Lenkzeit Δ berechnet und das Label l_m sowie die verbleibende Fahrzeit δ aktualisiert. Falls $\delta = 0$ wurde der Knoten m erreicht und das Label l_m wird in die Menge \mathcal{L} aufgenommen. Falls $\delta > 0$ und $l_{m,3} = t_{\text{TLZ}}$ wird eine tägliche Ruhezeit benötigt bevor der Fahrer weiterfahren darf und das

Abbildung 2. Rekursive Funktion $\text{erweitere_label}(l_m, \delta)$

Label l_m entsprechend angepasst. Falls die verbleibende Fahrzeit, die vor der nächsten Ruhezeit durchgeführt werden darf, nicht größer als die maximale Lenkzeit t_{LZ} ist, so wird ein neues Label l'_m mit Ankunftszeit $l_{m,1} + t_{RZ}$ erzeugt. Das Label l'_m ist unter Umständen dann wegen der geringeren täglichen Lenkzeit vorteilhaft, wenn aufgrund von Zeitfensterbeschränkungen an folgenden Knoten Ruhezeiten nicht beliebig eingelegt werden können. Dieses neue Label wird durch einen Aufruf $\text{erweitere_label}(l'_m, \delta)$ erweitert. Schließlich wird die benötigte Zeit für eine Lenkzeitunterbrechung zu der Ankunftszeit des Labels l_m addiert und die Lenkzeit aktualisiert. Die Berechnung der Label wird dann mit der Berechnung der nächsten Lenkzeit weitergeführt.

Da die Ankunftszeit $l_{m,1}$ eines Labels $l_m \in \mathcal{L}$ vor dem Beginn des Zeitfensters t_m^{\min} liegen kann, wird für alle $l_m \in \mathcal{L}$ eine Menge von möglichen Labels wie folgt bestimmt:

$$\mathcal{L}(l_m) := \left\{ \begin{aligned} &(\max\{t_m^{\min}, l_{m,1}\}, l_{m,2}, l_{m,3}, l_{m,4})^T, \\ &(\max\{t_m^{\min}, l_{m,1} + t_{LZU}\}, l_{m,2}, l_{m,3}, 0)^T, \\ &(\max\{t_m^{\min}, l_{m,1} + t_{RZ}\}, l_{m,2}, 0, 0)^T \end{aligned} \right\}$$

Nun sei $\mathcal{L}_m(l_n)$ eine Menge, die alle Label

$$l \in \{l'_m \in \bigcup_{l_m \in \mathcal{L}} \mathcal{L}(l_m) \mid l'_{m,1} \leq t_m^{\max}\}$$

enthält und in der kein Label durch ein anderes dominiert wird. Für ein Fahrzeug, welches von Knoten n mit Label l_n zu Knoten m fährt, sind somit alle Label $l_m \in \mathcal{L}_m(l_n)$ mögliche Label für Knoten m .

3 Das Vehicle Routing Problem mit Lenk- und Ruhezeiten

Das Vehicle Routing Problem mit Lenk- und Ruhezeiten ist das Problem Touren für eine Menge von Fahrzeugen \mathcal{V} zu bestimmen, so dass jeder Kunde $n \in \mathcal{C}$ genau einmal innerhalb eines gegebenen Zeitfensters $[t_n^{\min}, t_n^{\max}]$ besucht wird, alle Touren den Lenk- und Ruhezeitenregelungen entsprechen und die Kosten für die Touren minimiert werden.

Für alle Fahrzeuge $v \in \mathcal{V}$ seien $n_{(v,1)}$ und $n_{(v,2)}$ Knoten die das Depot bezeichnen in dem alle Fahrzeuge stationiert sind. Für jedes Fahrzeug bezeichne $l_{n_{(v,1)}}$ das Label zu Beginn der Tour. Die Ankunftszeit am Ende der Tour muss für alle Fahrzeuge innerhalb des selben Zeitfensters $[t_{n_{(v,2)}}^{\min}, t_{n_{(v,2)}}^{\max}]$ liegen. Seien $\mathcal{D}_+ := \{n_{(v,1)} \mid v \in \mathcal{V}\}$, $\mathcal{D}_- := \{n_{(v,2)} \mid v \in \mathcal{V}\}$, $\mathcal{N} := \mathcal{C} \cup \mathcal{D}_+ \cup \mathcal{D}_-$ und $\mathcal{A} := \mathcal{D}_- \times \mathcal{D}_+ \cup (\mathcal{C} \cup \mathcal{D}_+) \times (\mathcal{C} \cup \mathcal{D}_-) \setminus \{(n, n) \mid n \in \mathcal{C}\}$. Für jede Kante $(n, m) \in \mathcal{A}$ bezeichne c_{nm} die Kosten der Kante ($c_{nm} = 0$ für alle $(n, m) \in \mathcal{D}_- \times \mathcal{D}_+$). Für jede Kante $(n, m) \in \mathcal{A}$ bezeichne x_{nm} eine binäre Variable welche angibt ob die Kante von einem Fahrzeug benutzt wird oder nicht. Für jeden Knoten $n \in \mathcal{C} \cup \mathcal{D}_-$ bezeichne l_n das zu bestimmende Label an dem Knoten. Das *Vehicle Routing Problem mit Lenk- und Ruhezeiten* (VRPLR) ohne Kapazitätsbeschränkungen ist dann

minimiere

$$\sum_{(n,m) \in \mathcal{A}} x_{nm} c_{nm} \tag{1}$$

unter den Nebenbedingungen

$$\sum_{(n,m) \in \mathcal{A}} x_{nm} = \sum_{(m,n) \in \mathcal{A}} x_{mn} \text{ für alle } n \in \mathcal{N} \tag{2}$$

$$\sum_{(n,m) \in \mathcal{A}} x_{nm} = 1 \text{ für alle } n \in \mathcal{N} \tag{3}$$

$$\text{für alle } (n, m) \in \mathcal{A} \text{ mit } n \in \mathcal{C} \cup \mathcal{D}_+ : x_{nm} = 1 \Rightarrow l_m \in \mathcal{L}_m(l_n) \tag{4}$$

$$x_{nm} \in \{0, 1\} \text{ für alle } (n, m) \in \mathcal{A} \tag{5}$$

Die Zielfunktion (1) repräsentiert die akkumulierten Kosten über alle benutzten Kanten. Gleichung (2) sagt aus, dass die gleiche Anzahl Fahrzeuge einen Knoten erreichen und verlassen. Gleichung (3) sagt aus, dass jeder Knoten genau einmal erreicht wird. Durch (4) wird erreicht, dass alle Zeitfensterrestriktionen, sowie Lenk- und Ruhezeiten eingehalten werden. Letztlich wird durch (5) erreicht, dass die Entscheidungsvariable x_{nm} nur binäre Werte annimmt.

4 Schlussbemerkungen

In diesem Beitrag wurde gezeigt, wie die neuen Lenk- und Ruhezeitenregelungen, die am 11. April 2007 in der Europäischen Union in Kraft treten, in der Tourenplanung berücksichtigt werden können. Eine solche Berücksichtigung ist unumgänglich, da Lenk- und Ruhezeiten einen signifikanten Einfluss auf Reisezeiten haben und, den neuen Vorschriften zufolge, Spediteure und Verlader für Verstöße der Fahrer haftbar gemacht werden können. In Abschnitt 3 haben wir das Vehicle Routing Problem mit Lenk- und Ruhezeiten vorgestellt. Heuristiken, die für das Vehicle Routing Problem with Time Windows entwickelt wurden, können oft so angepasst werden, dass sie auch für das VRPLR genutzt werden können. Hierfür müssen jedoch die Mengen der möglichen Label an jedem Knoten effizient verwaltet werden. Darüber hinaus kann die Zulässigkeit einer Änderung einer Tour nur dann ermittelt werden, wenn für alle Folgeknoten in der Tour die Labelmenge neu berechnet wird. Die höhere Planungsgüte sollte jedoch die zu erwartende längere Rechenzeit kompensieren.

Literatur

1. Europäische Union. Verordnung (EC) Nr. 561/2006 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 15. März 2006 zur Harmonisierung bestimmter Sozialvorschriften im Straßenverkehr und zur Änderung der Verordnungen (EWG) Nr. 3821/85 und (EG) Nr. 2135/98 des Rates sowie zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 3820/85 des Rates. Amtsblatt der Europäischen Union L 102, 11.04.2006, 2006.
2. Campbell A and Savelsbergh M. Efficient insertion heuristics for vehicle routing and scheduling problems. *Transportation Science*, 38(3):369-378, 2004.
3. Savelsbergh MWP and Sol M. DRIVE: dynamic routing of independent vehicles. *Operations Research*, 46:474-490, 1998.
4. Xu H, Chen Z-L, Rajagopal S, and Arunapuram S (2003). Solving a practical pickup and delivery problem. *Transportation Science*, 37(3):347-364.
5. Goel A and Gruhn V. Solving a Dynamic Real-life Vehicle Routing Problem. In: Haasis H-D, Kopfer H, and Schönberger J (eds), *Operations Research Proceedings 2005*, pages 367-372. Springer, 2006.