Modellierung und Optimierung mit OPL

3 Techniken der binären Modellierung

Andreas Popp



Dieser Foliensatz ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung - Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 International Lizenz 3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

- 3.1 Abbildung logischer Ausdrücke
 - 2 Entscheidungsbhängige ebenbedingungen
- OPL: Modellieren von Zeitperioden Disjunktive
- Disjunktive Nebenbedingunge
- Kompakte Schreibweise
- 3.4 Stückweis definierte Funktionen
- Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen
- OPL: Der piecewise-Befehl

Inhalt

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

3.2 Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

Die Big-M-Methode

OPL: Modellieren von Zeitperioden

Disjunktive Nebenbedingungen

3.3 OPL: Kompakte Schreibweise

3.4 Stückweise definierte Funktionen

Treppenfunktionen

Stückweise lineare Funktionen

OPL: Der piecewise-Befehl

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung ogischer Ausdrücke

 .2 Entscheidungsbhängige
 lebenbedingungen

OPL: Modellieren von Zeitperioden

Nebenbedingunger

Kompakte Schreibweise

3.4 Stückweis definierte Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

abhängige Nebenbedingungen

OPL: Modellieren Zeitperioden Disjunktive

3.3 OPL:

Kompakte Schreibweise

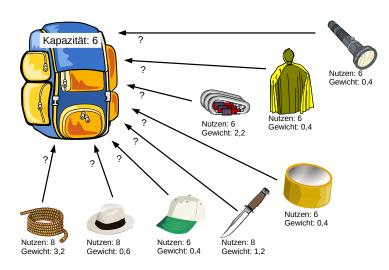
3.4 Stückweise definierte Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

OPL: Der piecewise-Befehl

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

Beispiel: Adventure Inc.



3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

- 3.1 Abbildung logischer Ausdrücke
- 3.2 Entscheidungsbhängige Vebenbedingungen
- PL: Modellieren von eitperioden isjunktive
- 3.3 OPL: Kompakte
- 3.4 Stückwei definierte
- Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen
- OPL: Der piecewise-Befehl

Modell: Rucksackproblem

Indexmengen:

I Menge der Gegenstände

Parameter:

- w_i Gewicht von Gegenstand $i \in I$
- u_i Nutzen von Gegenstand $i \in I$
- c Kapazität des Rucksacks

Entscheidungsvariablen:

 x_i Binäre Entscheidungsvariable; zeigt an ob Gegenstand $i \in I$ eingepackt wird

Modellbeschreibung:

$$\max \sum_{i \in I} u_i \cdot x_i$$

$$s.t. \sum_{i \in I} w_i \cdot x_i \le c$$

$$x_i \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I$$

$$(I)$$

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

3.2 Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

OPL: Modellieren von Zeitperioden

Disjunktive Nebenbedingunger

3.3 OPL: Kompakte

3.4 Stückweise definierte

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

Logische Verknüpfungen

- ¬ Die logische **Negation**
- ∧ Das logische Und
- ∨ Das logische **Oder**
- ⇒ Die logische Implikation
- ⇔ Die logische Äquivalenz

Wahrheitstafel in numerischer Beschreibung

Α	В	$\neg A$	$\neg B$	$A \wedge B$	$A \vee B$	$A \stackrel{\vee}{_} B$	$A \Rightarrow B$	$A \Leftrightarrow B$
1	1	0	0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	0	1	1	0	0
0	1	1	0	0	1	1	1	0
0	0	1	1	0	0	0	1	1

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

3.2 Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

OPL: Modellieren vor Zeitperioden Disjunktive

3.3 OPL:

Kompakte Schreibweise

3.4 Stückweis definierte Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

Logische Verknüpfungen in binären Optimierungsmodellen

Beispiel: Seien x_1 und x_2 binäre Entscheidungsvariablen eines Rucksackproblems, die angeben, ob die Gegenstände I_1 und I_2 eingepackt werden.

 $\neg I_1$: Man möchte wissen ob I_1 nicht eingepackt ist.

▶
$$1 - x_1$$

 $\emph{I}_1 \wedge \emph{I}_2$: Sowohl \emph{I}_1 als auch \emph{I}_2 müssen eingepackt werden.

$$x_1 + x_2 = 2$$

 $I_1 \vee I_2$: Mindestens einer der Gegenstände muss eingepackt werden.

►
$$x_1 + x_2 \ge 1$$

 $\neg (\mathit{I}_1 \wedge \mathit{I}_2)$: Höchstens einer der Gegenstände darf eingepackt werden

►
$$x_1 + x_2 \le 1$$

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

> 2 Entscheidungshängige ebenbedingungen

DPL: Modellieren vo eitperioden Disjunktive

3.3 OPL: Kompakte

3.4 Stückweise definierte

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

Logische Verknüpfungen in binären Optimierungsmodellen

Beispiel: Seien x_1 und x_2 binäre Entscheidungsvariablen eines Rucksackproblems, die angeben, ob die Gegenstände I_1 und I_2 eingepackt werden.

 $\neg(I_1 \lor I_2)$: Keiner der Gegenstände darf eingepackt werden.

$$x_1 + x_2 = 0$$

 $I_1 \vee I_2$: Genau einer der Gegenstände muss eingepackt werden.

$$x_1 + x_2 = 1$$

 $I_1 \Rightarrow I_2$: Wenn I_1 eingepackt ist, muss auch I_2 eingepackt werden.

▶
$$x_1 \le x_2$$

 $l_1 \Leftrightarrow l_2$: Die Entscheidung für beide Gegenstände ist identisch.

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

> .2 Entscheidungsbhängige lebenbedingungen

PL: Modellieren von eitperioden isjunktive ebenbedingungen

3.3 OPL: Kompakte Schreibweise

3.4 Stückweise Iefinierte ⁻unktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

3.2 Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

3.2 Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

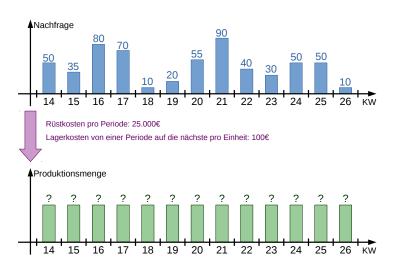
OPL: Modellieren vor Zeitperioden Disjunktive

3.3 OPL: Kompakte

3.4 Stückweise definierte Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare

Beispiel: Lewig Wakuxi



3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.2 Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

Modell: Wagner-Whitin-Problem

Indexmengen:

Menge der Planungsperioden $\{t_{min}, \ldots, t_{max}\}$

Parameter:

Nachfrage in Periode $t \in T$ d₊

Rüstkostensatz in Periode $t \in T$ Sŧ

 h_t Lagerkostensatz in Periode $t \in T$

Anfangsbestand

Eine große Zahl

Entscheidungsvariablen:

Produktionsmenge in Periode $t \in T$ Χŧ

Bestand am Ende von Periode $t \in T$

Produktionsentscheidung in Periode $t \in T$ V_t

Modellbeschreibung:

$$\min \quad \sum_{t \in T} s_t \cdot y_t + h_t \cdot i_t$$

s.t.
$$i_t = i_{t-1} + x_t - d_t$$
 $\forall t \in T$ (I)
 $x_t \leq M \cdot y_t$ $\forall t \in T$ (II)

 $x_t, i_t > 0; y_t \in \{0,1\}$ $\forall t \in T$

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.2 Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

Die Big-M-Methode

Sei $\overline{\mathbf{x}}$ der Vektor der Entscheidungsvariablen und f eine lineare Funktion. Die Nebenbedingung

$$f(\overline{\mathbf{x}}) \le b$$
 bzw. $f(\overline{\mathbf{x}}) \ge b$

soll nur zwingend sein, wenn eine Entscheidung getroffen wurde, die dadurch repräsentiert wird, dass die Binärvariable y den Wert 0 annimmt.

Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

Sei M eine ausreichend große Zahl.

$$f(\overline{\mathbf{x}}) \leq b \quad \rightarrow \quad f(\overline{\mathbf{x}}) \leq b + M \cdot y$$

$$f(\overline{\mathbf{x}}) \geq b \quad \rightarrow \quad f(\overline{\mathbf{x}}) \geq b - M \cdot y$$

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

- 3.1 Abbildung logischer Ausdrücke
- 3.2 Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

Die Big-M-Methode

OPL: Modellieren vor Zeitperioden Disjunktive Nebenbedingungen

3.3 OPL: Kompakte

Kompakte Schreibweise

.4 Stückweis efinierte unktionen

reppenfunktionen ückweise lineare unktionen

Problem bei der Implementierung von Zeitperioden

Nebenbedingung aus Beispiel "Lewig Wakuxi"

$$i_t = i_{t-1} + x_t - d_t \quad \forall t \in T \quad (I)$$

Implementierungsversuch 1

```
{string} T = {"KW14", "KW15", "KW16", "KW17"};
dvar float+ i[T];
  forall(t in T) i[t] == i[t-1] + x[t] - d[t];
```

Operator für string - int nicht verfügbar.

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung ogischer Ausdrücke

.2 Entscheidungsbhängige Iebenbedingungen

OPL: Modellieren von Zeitnerioden

Zeitperioden Disjunktive

ebenbedingungen

Kompakte

3.4 Stückweise definierte

Treppenfunktionen Stückweise lineare

Problem bei der Implementierung von Zeitperioden

Nebenbedingung aus Beispiel "Lewig Wakuxi"

$$i_t = i_{t-1} + x_t - d_t \quad \forall t \in T$$
 (I)

Implementierungsversuch 2

```
{int} T = \{14, 15, 16, 17\};
dvar float+ i[T]:
  forall(t in T) i[t] == i[t-1] + x[t] - d[t]:
```

Der Index für den Array "i" liegt außerhalb des gültigen Bereichs: 13.

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

- OPI · Modellieren von Zeitnerioden

Problem bei der Implementierung von Zeitperioden

Nebenbedingung aus Beispiel "Lewig Wakuxi"

$$i_t = i_{t-1} + x_t - d_t \quad \forall t \in T$$
 (I)

Implementierungsversuch 3

```
{int} T = {14, 15, 16, 17};
{int} T0 = {13, 14, 15, 16, 17};
dvar float+ i[T0];
  forall(t in T) i[t] == i[t-1] + x[t] - d[t];
```

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

- 3.1 Abbildung ogischer Ausdrücke
- .2 Entscheidungsbhängige lebenbedingungen
- OPL: Modellieren von
- Zeitperioden Disjunktive

ebenbedingungen

3.3 OPL:

- Kompakte Schreibweise
- 3.4 Stückweise definierte Funktionen
- Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen
- OPL: Der piecewise-Befehl

Problem bei der Implementierung von Zeitperioden

Nebenbedingung aus Beispiel "Lewig Wakuxi"

$$i_t = i_{t-1} + x_t - d_t \quad \forall t \in T$$
 (I)

Implementierungsversuch 4

```
int Tmin = 14;
int Tmax = 17;
range T = Tmin..Tmax;
dvar float+ i[Tmin-1..Tmax];
  forall(t in T) i[t] == i[t-1] + x[t] - d[t];
```

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

- 3.1 Abbildung ogischer Ausdrücke
- .2 Entscheidungsbhängige Iebenbedingungen
- OPL: Modellieren von Zeitnerioden
 - Disjunktive
 - ebenbedingungen
- Kompakte Schreibweise
- 3.4 Stückweise definierte Funktionen
- Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen
- OPL: Der piecewise-Befehl

Disjunktive Nebenbedingungen I

Ein Modell habe die beiden folgenden Nebenbedingungen:

$$f(\overline{\mathbf{x}}) \leq b$$

$$g(\overline{\mathbf{x}}) \leq d$$

Es reicht eine der beiden Bedingungen zu erfüllen.

Disjunktive Nebenbedingungen

Sei M eine ausreichend große Zahl und y eine binäre Hilfsvariable

$$f(\overline{\mathbf{x}}) \le b + M \cdot y$$

 $g(\overline{\mathbf{x}}) \le d + M \cdot (1 - y)$

≥-Nebenbedingungen analog

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

Disjunktive Nebenbedingungen

Disjunktive Nebenbedingungen II

Ein Modell habe die folgende Nebenbedingungen:

$$g(\overline{\mathbf{x}}) \leq d$$

Diese muss nur erfüllt werden, wenn gilt:

$$f(\overline{\mathbf{x}}) > b$$

Disjunktive Nebenbedingungen

Sei M eine ausreichend große Zahl und y eine binäre Hilfsvariable.

$$f(\overline{\mathbf{x}}) \le b + M \cdot y$$

 $g(\overline{\mathbf{x}}) \le d + M \cdot (1 - y)$

≥-Nebenbedingungen analog

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

2 Entscheidungshängige ebenbedingungen

OPL: Modellieren vo Zeitperioden

Disjunktive Nebenbedingungen

3.3 OPL: Kompakte

Schreibweise

1.4 Stuckweise lefinierte Funktionen

Stückweise lineare Funktionen

3.3 OPL: Kompakte Schreibweise

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

3.2 Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

OPL: Modellieren vo Zeitperioden Disjunktive

3.3 OPL: Kompakte Schreibweise

3.4 Stückweise definierte Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare

Entscheidungsausdrücke

Zielfunktion des Wagner-Whitin-Problems:

```
// Zielfunktion
minimize sum(t in T)(s[t]*y[t] + h[t]* i[t]);
```

Zerlegen in Entscheidungsausdrücke:

```
// Entscheidungsausdrücke
dexpr float setupCost = sum(t in T)(s[t]*y[t]);
dexpr float inventoryCost = sum(t in T)(h[t]*i[t]);
// Zielfunktion
minimize setupCost + inventoryCost;
```

3 Techniken der binären Modellierung

CC-BY-SA A. Popp

- 3.1 Abbildung logischer Ausdrücke
 - 2 Entscheidungsbhängige ebenbedingungen
- Die Big-M-Methode

 OPL: Modellieren vor
 Zeitperioden

 Disjunktive
- Nebenbedingunger
- 3.3 OPL: Kompakte Schreibweise
 - 3.4 Stückweise definierte Funktionen
 - Treppenfunktionen Stückweise lineare
 - OPL: Der piecewise-Befehl

Arrays von Entscheidungsausdrücken

Zielfunktion des Wagner-Whitin-Problems:

```
// Zielfunktion
minimize sum(t in T)(s[t]*y[t] + h[t]* i[t]);
```

Zerlegen in Entscheidungsausdrücke:

```
//Entscheidungsausdrücke
dexpr float periodCost[t in T]
= s[t]*y[t] + h[t]*i[t];

// Zielfunktion
minimize sum (t in T)(periodCost[t]);
```

3 Techniken der binären Modellierung

CC-BY-SA A. Popp

- 3.1 Abbildung logischer Ausdrücke
 - 2 Entscheidungsbhängige ebenbedingungen
 - ie Big-M-Methode PL: Modellieren von eitperioden isjunktive
- 3.3 OPL:
- Kompakte Schreibweise
 - 3.4 Stückweise definierte Funktionen
 - Treppenfunktionen Stückweise lineare
 - OPL: Der piecewise-Befehl

3.4 Stückweise definierte Funktionen

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

3.2 Entscheidungsibhängige Nebenbedingungen

OPL: Modellieren vi Zeitperioden

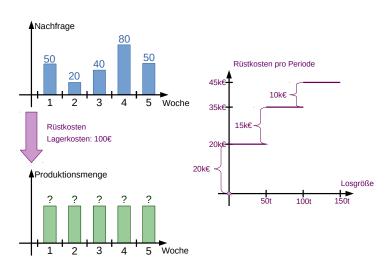
Disjunktive Nebenbedingung

3.3 OPL: Kompakte Schreibweise

3.4 Stückweise definierte Funktionen

Treppenfunktioner Stückweise lineare Funktionen

Beispiel: Lewig Xanxi



3 Techniken der binären Modellierung

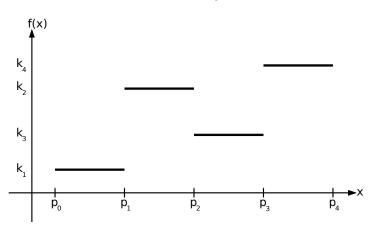
> CC-BY-SA A. Popp

- 3.1 Abbildung logischer Ausdrücke
- 3.2 Entscheidungs-Ibhängige Vebenbedingungen
- OPL: Modellieren v Zeitperioden
- Disjunktive Vebenbedingungen
- Kompakte Schreibweise
 - 3.4 Stückweise Iefinierte Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

Treppenfunktionen

Sei x eine kontinuierliche Entscheidungsvariable:



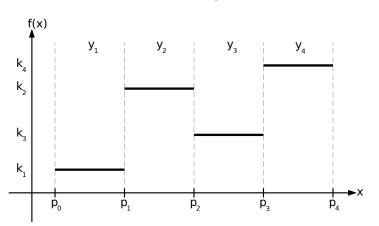
3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

Treppenfunktionen

Treppenfunktionen

Sei x eine kontinuierliche Entscheidungsvariable:



3 Techniken der binären Modellierung

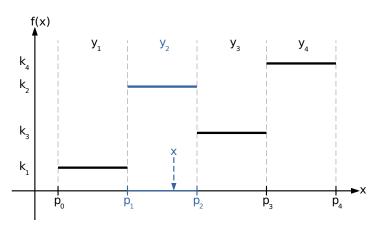
> CC-BY-SA A. Popp

- 3.1 Abbildung logischer Ausdrücke
- .2 Entscheidungsbhängige Jebenbedingungen
- OPL: Modellieren w Zeitperioden
- Nebenbedingungen
- Kompakte Schreibweise
- 3.4 Stückweise definierte Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

Treppenfunktionen

Sei x eine kontinuierliche Entscheidungsvariable:



3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

2 Entscheidungsbhängige ebenbedingungen

Zeitperioden
Disjunktive

3.3 OPL:

Schreibweise

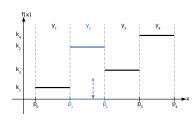
definierte Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

OPL: Der piecewise-Befeh

ightharpoonup z.B.: $x = \frac{1}{3} \cdot p_1 + \frac{2}{3} \cdot p_2$

Entscheidungsvariablen als Konvexkombination der Stützstellen



$$x = \sum_{n=0}^{N} z_n \cdot p_n$$

$$\sum_{n=0}^{N} z_n = 1$$

$$\sum_{n=0} z_n = 1$$

$$0 \le z_n \le 1 \quad \forall n \in \{1, \dots, N\}$$

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

3.2 Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

OPL: Modellieren vo Zeitperioden Disjunktive

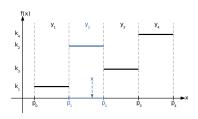
Disjunktive Nebenbedingungen

Kompakte Schreibweise

3.4 Stückweise definierte Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

Auswahl des korrekten Intervalls



$$\sum_{n=1}^{N} y_n = 1$$

$$z_0 \le y_1$$

$$z_n \le y_n + y_{n+1} \quad \forall n \in \{1, \dots, N-1\}$$

$$z_N \le y_N$$

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

3.2 Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

Zeitperioden
Disjunktive

Nebenbedingungen

Kompakte Schreibweise

definierte
Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

Vollständige Modellierung

$$f(x) = \sum_{n=1}^{N} y_n \cdot k_n$$

$$x = \sum_{n=0}^{N} z_n \cdot p_n$$

$$\sum_{n=0}^{N} z_n = 1$$

$$0 \le z_n \le 1 \quad \forall n \in \{1, \dots, N\}$$

$$\sum_{n=1}^{N} y_n = 1$$

$$z_0 \le y_1$$

 $z_n \leq y_n + y_{n+1} \quad \forall n \in \{1, \dots, N-1\}$

 $z_N < y_N$

3 Techniken der binären Modellierung

CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

3.2 Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

DPL: Modellieren von Zeitperioden Disjunktive Nebenbedingungen

Kompakte Schreibweise

definierte Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

OPL: Der piecewise-Befel

У,

 y_4

Beispiel: Lewig Tadelbach

Ausgangssituation ist ein Produktionsproblem.

Kapazitäten

	Maschine A	Maschine B	Maschine C	
I_1	2,2	1,6	2,8	
I_2	1,2	1,9	2,3	
	72	48	60	

Verkaufserlöse

$$f_1(x_1) = 2000 \cdot \sqrt{x_1}$$

 $f_2(x_2) = 1800 \cdot \sqrt{x_2}$

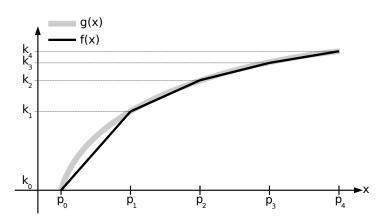
3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

Stiickweise lineare

Funktionen

Stückweise lineare Funktionen



3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

2 Entscheidungsbhängige ebenbedingungen

OPL: Modellieren v Zeitperioden

Disjunktive Nebenbedingunger

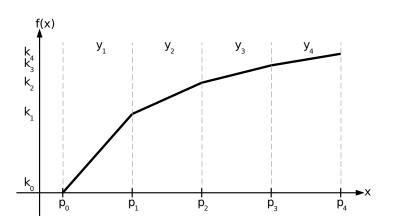
3.3 OPL: Kompakte

3.4 Stückweis definierte

Treppenfunktione

Stückweise lineare Funktionen

Stückweise lineare Funktionen



3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

2 Entscheidungsbhängige ebenbedingungen

OPL: Modellieren vor Zeitperioden Disjunktive

3.3 OPL: Kompakte

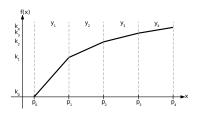
Schreibweise 3.4 Stückweis

3.4 Stuckweise definierte Funktionen

Stückweise lineare

Funktionen

Funktionswerte als Konvexkombination



$$x = \sum_{n=0}^{N} z_n \cdot p_n$$

$$f(x) = \sum_{n=0}^{N} z_n \cdot f(p_n)$$

$$\sum_{n=0}^{\infty} z_n = 1$$

$$0 \le z_n \le 1 \quad \forall n \in \{1, \dots, N\}$$

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

> 3.2 Entscheidungs-Ibhängige Nebenbedingungen

PPL: Modellieren von eitperioden Disjunktive lebenbedingungen

8.3 OPL: Kompakte Schreibweise

3.4 Stückweise definierte Funktionen

Stückweise lineare

Vollständige Modellierung

 $z_N < y_N$

$$f(x) = \sum_{n=0}^{N} z_n \cdot k_n$$

$$x = \sum_{n=0}^{N} z_n \cdot p_n$$

$$\sum_{n=0}^{N} z_n = 1$$

$$0 \le z_n \le 1 \quad \forall n \in \{1, \dots, N\}$$

$$\sum_{n=1}^{N} y_n = 1$$

$$z_0 \le y_1$$

$$z_n \le y_n + y_{n+1} \quad \forall n \in \{1, \dots, N-1\}$$

3 Techniken der binären Modellierung

CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

3.2 Entscheidungsabhängige Nebenbedingungen

OPL: Modellieren von Zeitperioden Disjunktive

Schreibweise

definierte Funktionen

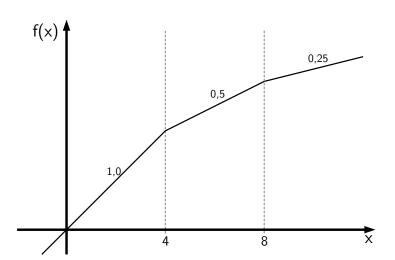
Stückweise lineare

OPL: Der piecewise-Bef

У,

У₃

Stückweise lineare Funktionen nach Steigung



3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

> 2 Entscheidungsbhängige ebenbedingungen

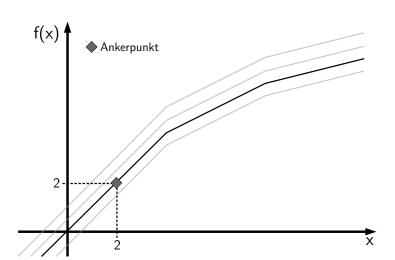
ie Big-M-Methode
PL: Modellieren von
eitperioden
isjunktive

Kompakte Schreibweise

3.4 Stückweise definierte Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

Verankerung von stückweise linearen Funktionen



3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

3.2 Entscheidungsibhängige Nebenbedingungen

OPL: Modellieren v Zeitperioden

Disjunktive Nebenbedingunger

Kompakte Schreibweise

3.4 Stückweise definierte Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare Funktionen

Syntax des piecewise-Befehls

Array p der Stützstellen und Array s der Steigungen:

```
piecewise(i in 1..N){
  s[i] -> p[i];
  s[N+1]
} (Ankerpunkt) x;
```

Beispiel aus obiger Abbildung

```
int N = 2;
float p[1..N] = [4, 8];
float s[1..N+1] = [1.0, 0.5, 0.25];
dvar float+ x;
piecewise(i in 1..N){
   s[i] -> p[i];
   s[N+1]
} (2. 2) x:
```

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung ogischer Ausdrücke

.2 Entscheidungsbhängige lebenbedingungen

OPL: Modellieren vo Zeitperioden

Disjunktive Nebenbedingungen

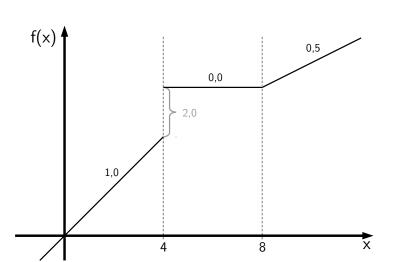
3.3 OPL: Kompakte Schreibweise

Schreibweise

s.4 Stuckweise lefinierte ⁻unktionen

Stückweise lineare Funktionen

Treppenfunktionen und allgemeine Unstetigkeiten



3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

> .2 Entscheidungsbhängige lebenbedingungen

OPL: Modellieren v Zeitperioden

Disjunktive Nebenbedingunger

Kompakte Schreibweise

3.4 Stückweise definierte Funktionen

Treppenfunktionen Stückweise lineare

Treppenfunktionen und allgemeine Unstetigkeiten

3 Techniken der binären Modellierung

> CC-BY-SA A. Popp

Zweiter Steigungswert an einem Punkt im piecewise-Befehl wird zu Sprungwert.

Beispiel aus obiger Abbildung

```
int N = 3;
float p[1..N] = [4, 4, 8];
float s[1..N+1] = [1.0, 2.0, 0.0, 0.5];
dvar float+ x;
piecewise(i in 1..N){
  s[i] -> p[i];
  s[N+1]
} x:
```

3.1 Abbildung logischer Ausdrücke

> 2 Entscheidungsbhängige ebenbedingungen

Die Big-M-Methode OPL: Modellieren vo Zeitperioden

> Disjunktive Nebenbedingunger

3.3 OPL: Kompakte

3.4 Stückweise definierte

Treppenfunktionen Stückweise lineare