

Ansätze, Methoden und Verfahren zur Optimierung in intelligenten Gebäuden

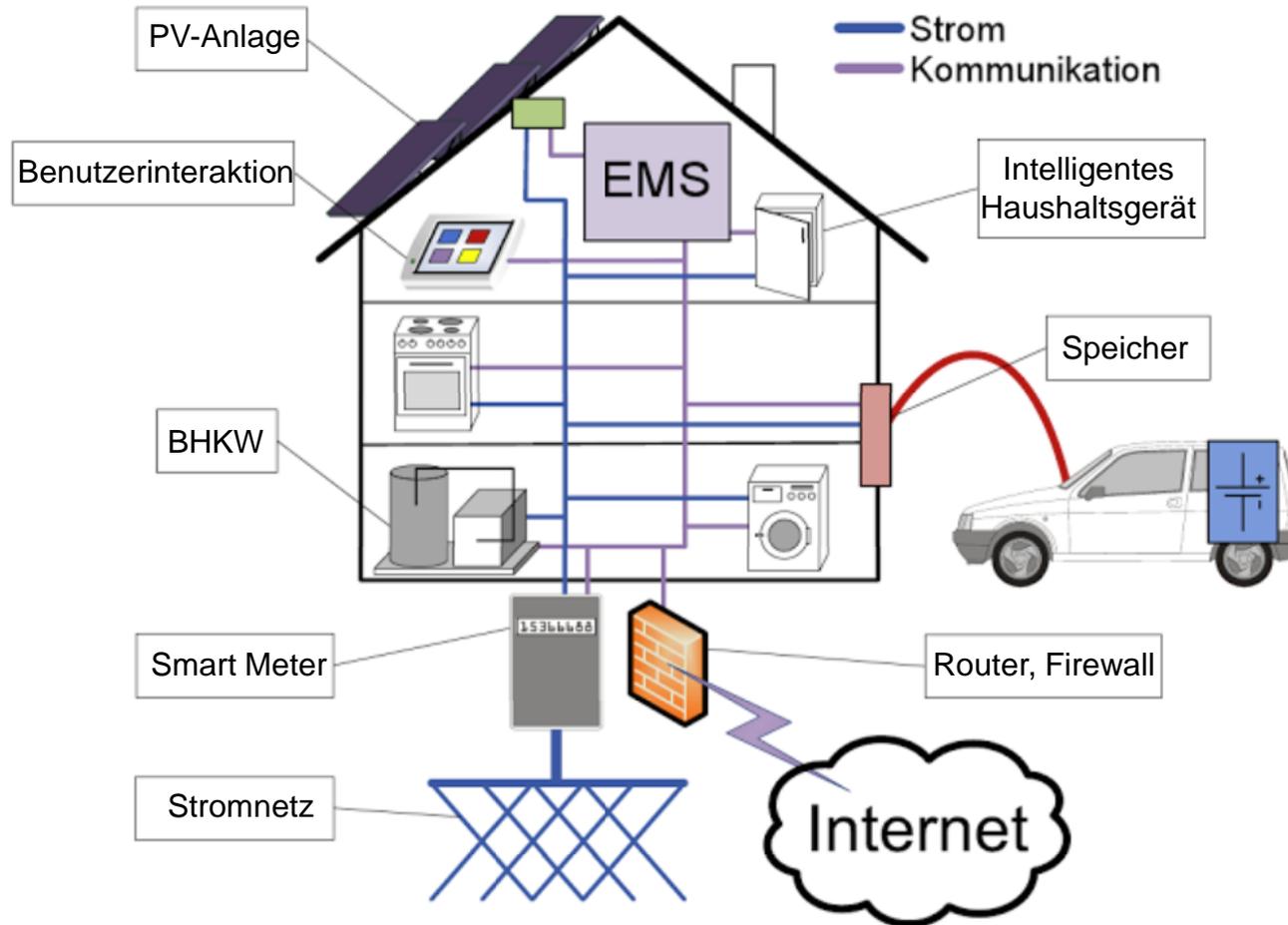
Seminar Energieinformatik (WS 2017/18)
Vortrag von Tobias Hornberger am 21.11.2017
Betreut von Ingo Mauser

Institut für Angewandte Informatik und Formale Beschreibungsverfahren (AIFB)

[EneSol17]

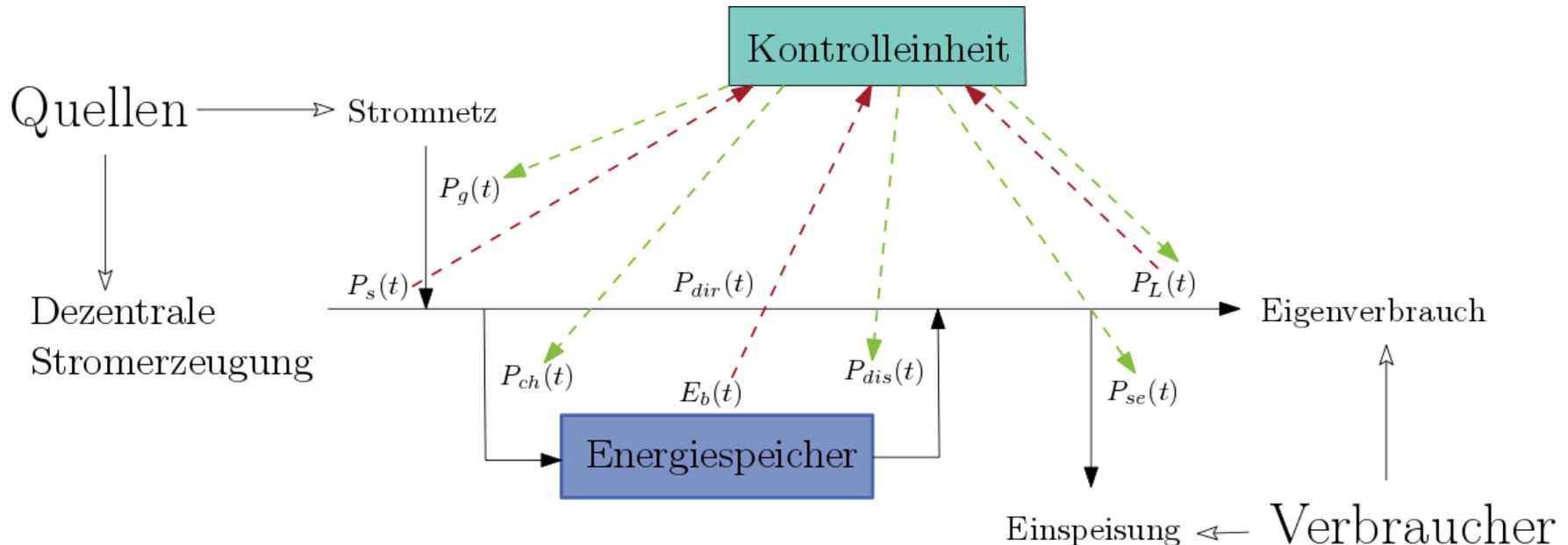


Intelligente Gebäude



[AI14]

Problemstellung

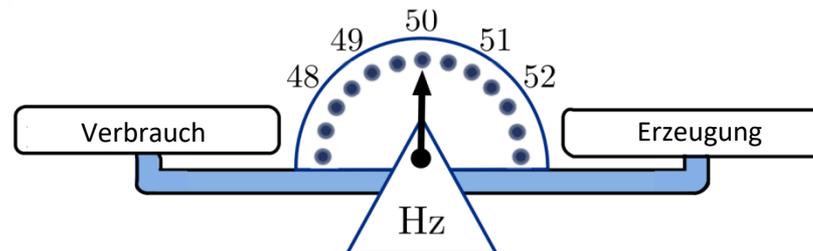


In Anlehnung an:
[Kaz16]

- Entscheidungsfindung
 - Wann Strom einspeisen, beziehen, speichern
 - Kosten minimieren bzw. Gewinn maximieren
- Nebenbedingungen
- Prognosen für Wetter, Strompreise, Verbrauch und Erzeugung

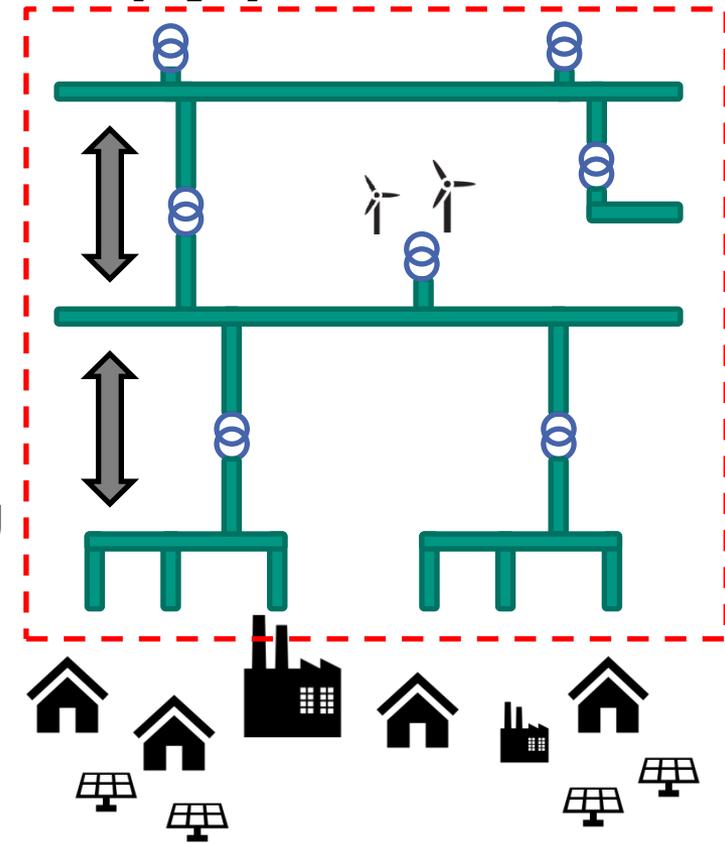
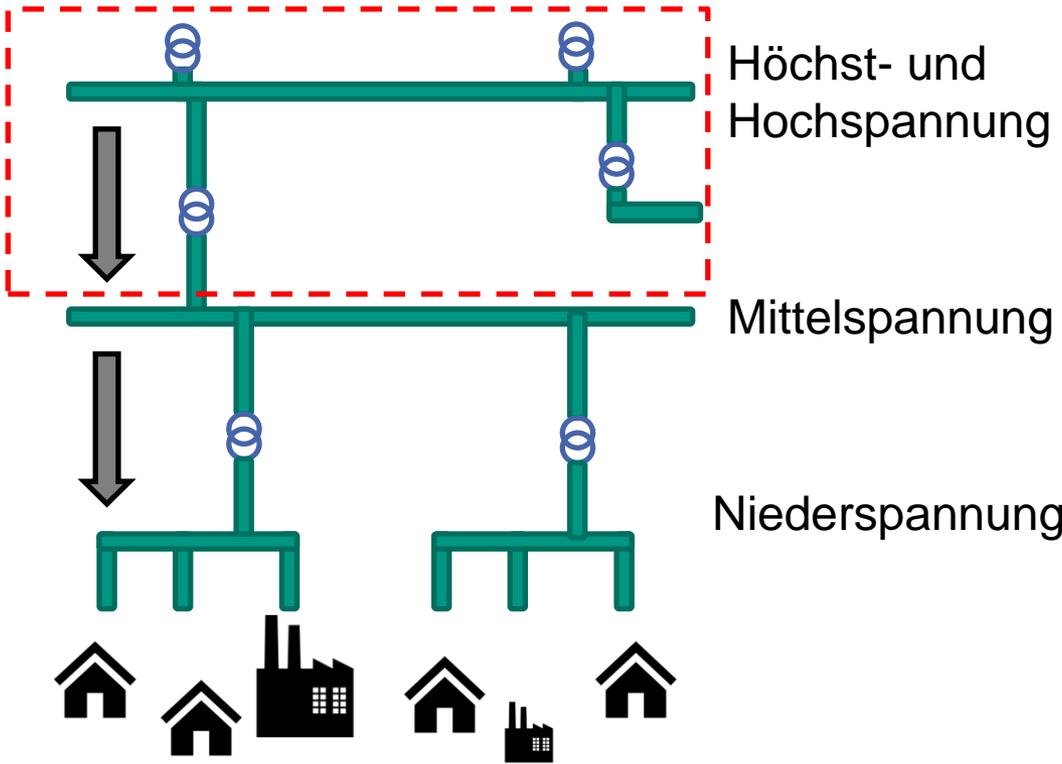
Grundlagen

- Erneuerbare Energien: Wind- und Wasserkraft, Solarstrom...
- Probleme von erneuerbaren Energien
 - Fluktuierende Erzeugung
 - Eingeschränkt steigerbar
 - Dezentral
- Energienetz im Gleichgewicht von Erzeugung und Verbrauch
- Paradigmenwechsel:
Verbrauchsabhängige Produktion → Erzeugungsabhängiger Verbrauch



50 Hertz Waage [Dör15]

Veränderung im Energienetz



- - - = Typisches Einsatzgebiet von IKT

Übersicht

1. Einleitung
2. Optimierungsverfahren
3. Ansätze und Methoden
4. Bewertung von Energiespeichern
5. Zusammenfassung und Ausblick

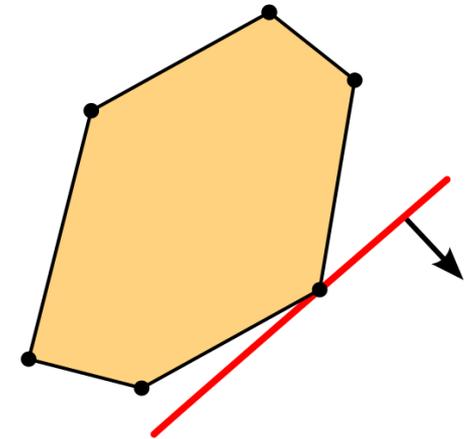
Lineare Programmierung (Linear Programming)

1/2

- Optimierung einer linearen Zielfunktion
 - Einschränkung durch lineare Nebenbedingungen
 - Matrix A , Vektoren b und c
- Typische Anwendungen
 - Produktionsplanung
 - Routing in Netzwerken

$$\begin{array}{ll} \underset{x}{\text{maximize}} & c^t x \\ \text{subject to} & Ax \leq b, \\ & x \geq 0 \end{array}$$

$$A \in \mathbb{R}^{n,m}, b \in \mathbb{R}^m, c \in \mathbb{R}^n, x \in \mathbb{R}^n$$



Geometrische Interpretation [LO17]

Lineare Programmierung

(Linear Programming, LP)

2/2

- Theoretische Lösbarkeit
 - Unzulässig
 - Unbeschränkt
 - Mindestens eine Lösung
- Lösungsverfahren
 - Innere-Punkte-Verfahren (Polynomialzeit)
 - Simplex-Algorithmus (theoretisch exponentiell)

Gemischt ganzzahlige lineare Programmierung (Mixed-integer Linear Programming, MILP)

■ Verallgemeinerung von Linearer Programmierung

- Einige Variablen ganzzahlig
- Leistungsstufen
- Ganze Stückzahlen

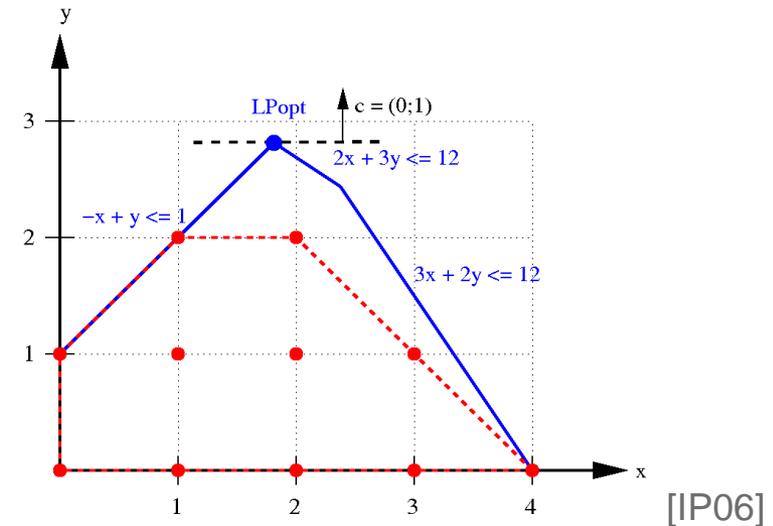
■ Komplexeres Problem: NP-vollständig

■ Typische Anwendungen

- Produktionsplanung
- Routing

■ Lösungsverfahren

- LP Relaxation
- Heuristische Verfahren



$$\begin{aligned} & \underset{x}{\text{maximize}} && c^t x \\ & \text{subject to} && Ax \leq b, \\ & && x \geq 0, \\ & && x_i \in \mathbb{Z}, \forall i \in I. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & A \in \mathbb{R}^{n,m}, b \in \mathbb{R}^m, c \in \mathbb{R}^n, x \in \mathbb{R}^n \\ & I \subseteq \{1, \dots, n\} \end{aligned}$$

Gemischt ganzzahlige nicht-lineare Programmierung (Mixed-integer Non-linear Programming, MINLP)

- Sehr allgemeiner Modellierungsansatz
- Verallgemeinerung
 - Gemischt ganzzahlige lineare Programmierung
 - Nicht-lineare Programmierung
- NP-schwer
- Typische Anwendungen
 - Produktionsplanung mit nicht-linearen Kostenfunktionen oder Nebenbedingungen
 - Gewichtsminimierung von Bauteilen mit speziellen Anforderungen

$$\begin{array}{ll} \underset{x}{\text{maximize}} & f(x) \\ \text{subject to} & c(x) \leq 0, \\ & x \in X, \\ & x_i \in \mathbb{Z}, \forall i \in I. \end{array}$$

$$\begin{array}{l} f : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}, \\ c : \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}^m, \\ X \subseteq \mathbb{R}^n \\ I \subseteq \{1, \dots, n\} \end{array}$$

Dynamische Programmierung

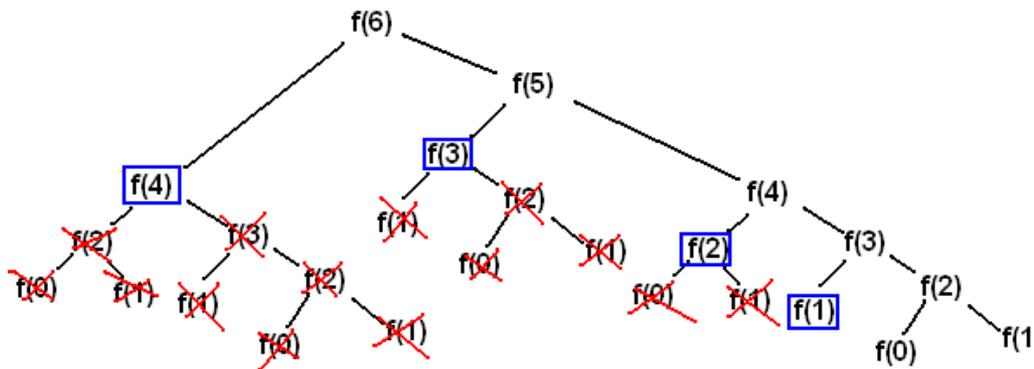
(Dynamic Programming)

- Optimierungsproblem aus vielen gleichartigen Teilproblemen
- Lösung besteht aus Lösungen der Teilprobleme
- Zwischenlösungen werden abgespeichert und potenziell wiederverwendet
- Abwägung Speicherplatz und Rechenzeit

[Fib17]

Dynamische Programmierung (Dynamic Programming)

- Optimierungsproblem aus vielen gleichartigen Teilproblemen
- Lösung besteht aus Lösungen der Teilprobleme
- Zwischenlösungen werden abgespeichert und potenziell wiederverwendet
- Abwägung Speicherplatz und Rechenzeit
- Beispielanwendungen:
 - Fibonacci Reihe
 - Batteriespeicher
 - Levenshtein-Distanz



[Fib17]

Heuristiken und Metaheuristiken

- Zulässige Lösungen approximieren
 - Ausreichend gute Lösungen finden
 - Reduziert benötigte Rechenleistung
- Eingesetzt wenn optimale Lösung suchen nicht praktikabel ist
 - Hohe Komplexität, z.B. NP-Vollständigkeit
 - Zeitkritisch
- Abwägung
 - Optimalität
 - Vollständigkeit
 - Genauigkeit/Präzision
 - Laufzeit

Heuristiken	Metaheuristiken
Problemspezifisch	Nicht problemspezifisch

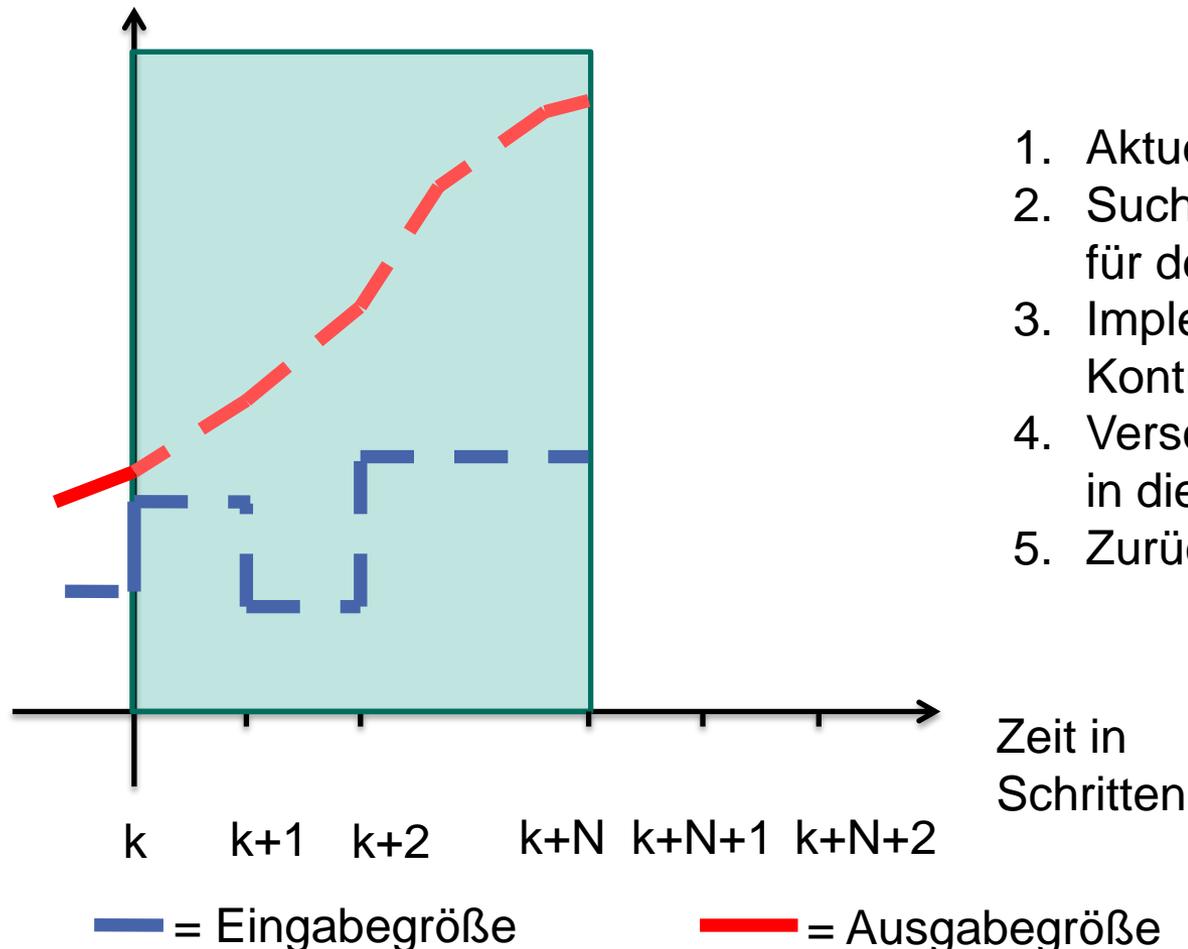
Heuristiken und Metaheuristiken

- Beispiel: Preis-Schwellenwert-Regel
 - Unterhalb Schwellwert: Strom kaufen und Speicher füllen
 - Oberhalb Schwellwert: Strom aus dem Speicher nutzen
- Einsatzgebiete:
 - A*- Algorithmus für kürzeste Pfade
 - Iterative Algorithmen
 - Evolutionäre Algorithmen

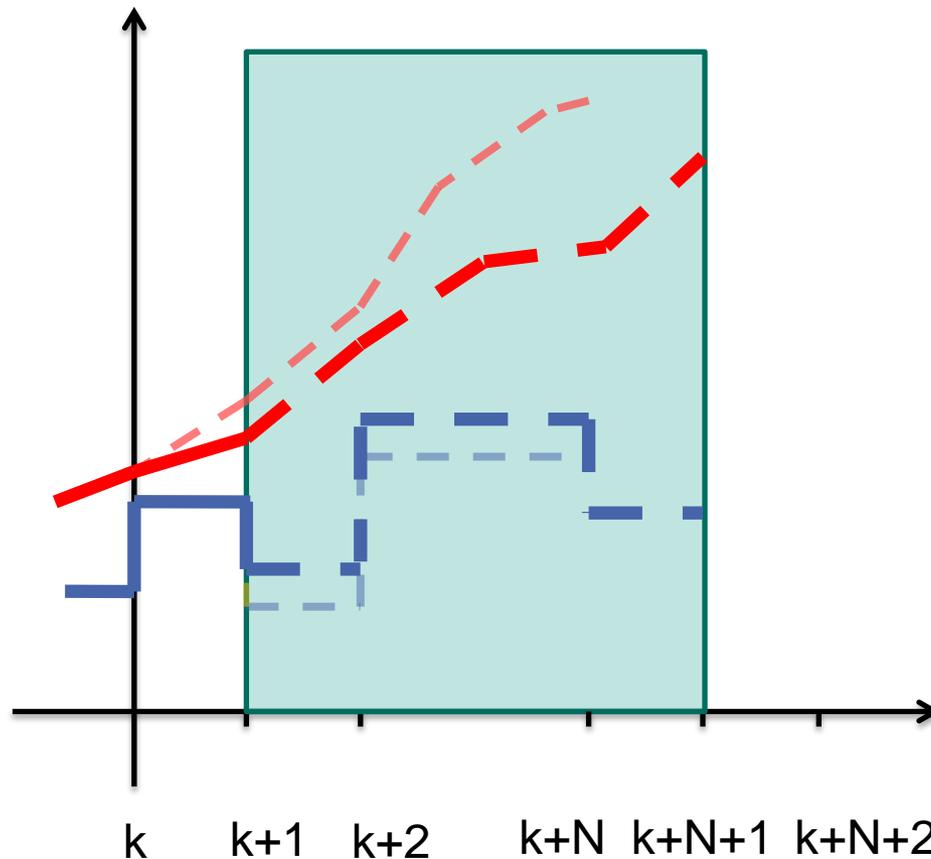
Modellprädiktive Regelung

(Model Predictive Control, MPC)

- Prädiktive Regelung von Prozessen
- Rollierender Horizont
- *Repeated Optimal Control*
- Implementierbar mit verschiedenen Verfahren
 - Gemischt ganzzahlige lineare Programmierung
 - Dynamische Programmierung
- Anforderungen:
 - Zeitdiskretes dynamisches Modell des Prozess
 - Anforderungs- und Produktionsprognosen
 - Kostenfunktion für die Optimierung über den Horizont
- Typische Anwendungsgebietes
 - Gebäudeklimatisierung
 - Ladeplanung von Elektrofahrzeugen



1. Aktueller Zustand wird betrachtet
2. Suche Optimaler Kontrollstrategie für den aktuellen Horizont
3. Implementiere ersten Schritt der Kontrollstrategie
4. Verschiebe Horizont einen Schritt in die Zukunft
5. Zurück zu Schritt 1

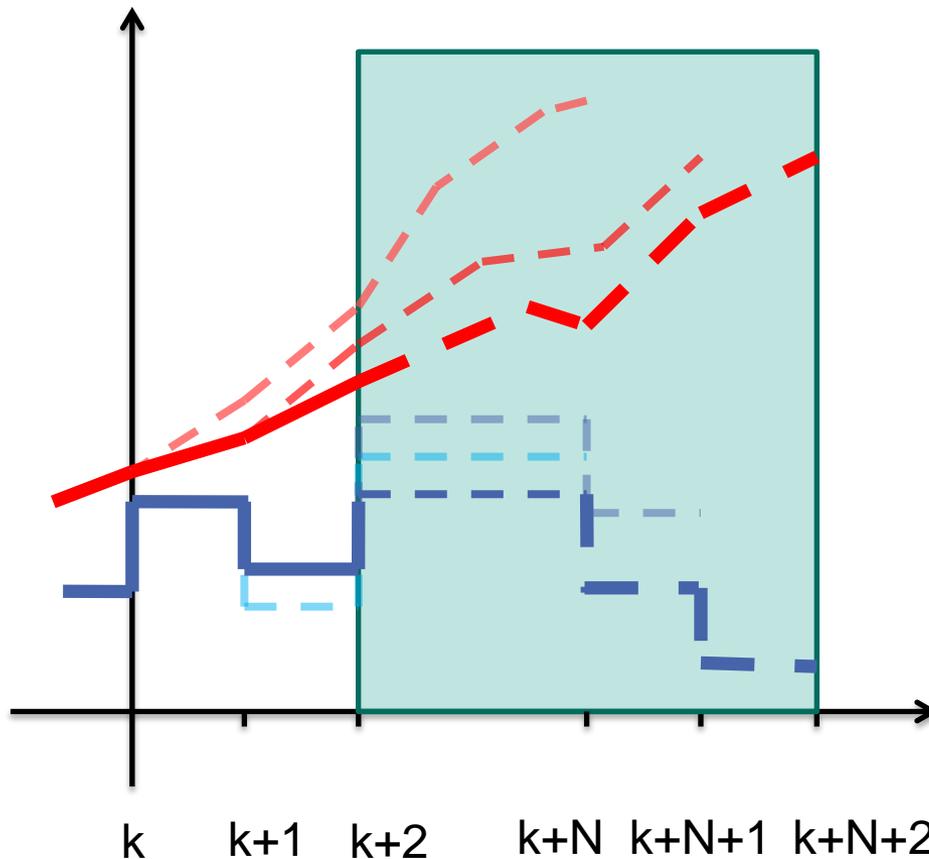


1. Aktueller Zustand wird betrachtet
2. Suche Optimale Kontrollstrategie für den aktuellen Horizont
3. Implementiere ersten Schritt der Kontrollstrategie
4. Verschiebe Horizont einen Schritt in die Zukunft
5. Zurück zu Schritt 1

— = Eingabegröße

— = Ausgabegröße

Eingabe und Ausgabegröße



1. Aktueller Zustand wird betrachtet
2. Suche Optimaler Kontrollstrategie für den aktuellen Horizont
3. Implementiere ersten Schritt der Kontrollstrategie
4. Verschiebe Horizont einen Schritt in die Zukunft
5. Zurück zu Schritt 1

Zeit in
Schritten

— = Eingabegröße

— = Ausgabegröße

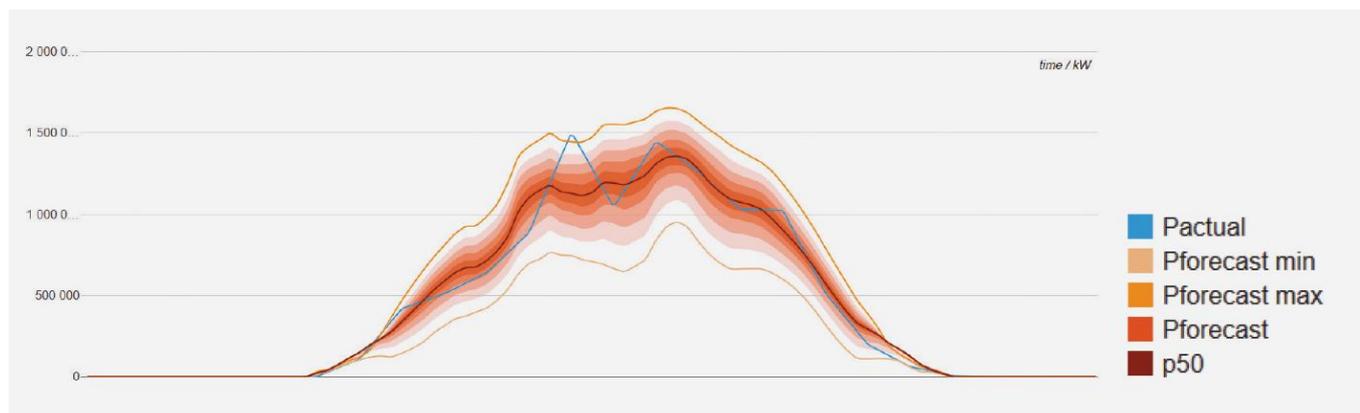
ANSÄTZE, VORGEHEN UND ASPEKTE

Myopisch vs. nicht-myopisch

- Myopisch: „Kurzfristig“
- Begrenzter Planungshorizont
 - Zeitfenster mit Informationen
 - Keine Vorhersagen für danach
- Sequenzielle Entscheidungsfindung
- Potenziell Echtzeitfähig
- Umgang mit Ende des Planungshorizont
- Myopische Anwendungsgebiete
 - MPC mit rollierendem Horizont
 - Portfolio-Optimierung
- Nicht-myopische Anwendungsgebiete
 - Investitionsplanung

Prognosen und Vorhersagen

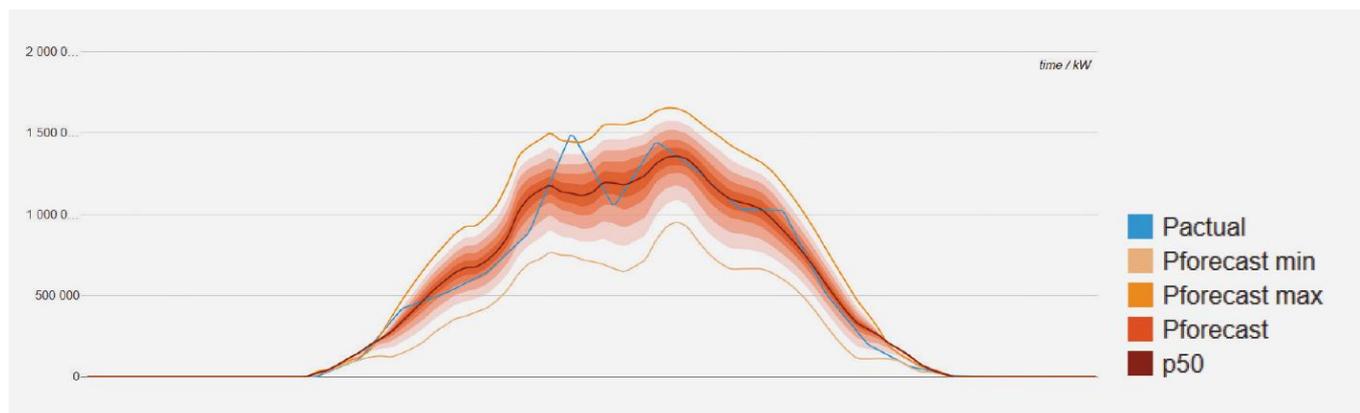
- Aussage über zukünftigen Zustand
- Fehlen von perfekter Information kompensieren
 - Historische Daten, Muster in der echten Welt
 - Äußere Einflüsse
- Beispiele:
 - Wettervorhersagen/Erzeugungsprognosen
 - Sonnenstunden und Intensität
 - Windgeschwindigkeit und Richtung
 - Verbrauchsprognose eines Haushalts



[Sun13]

Unsicherheit

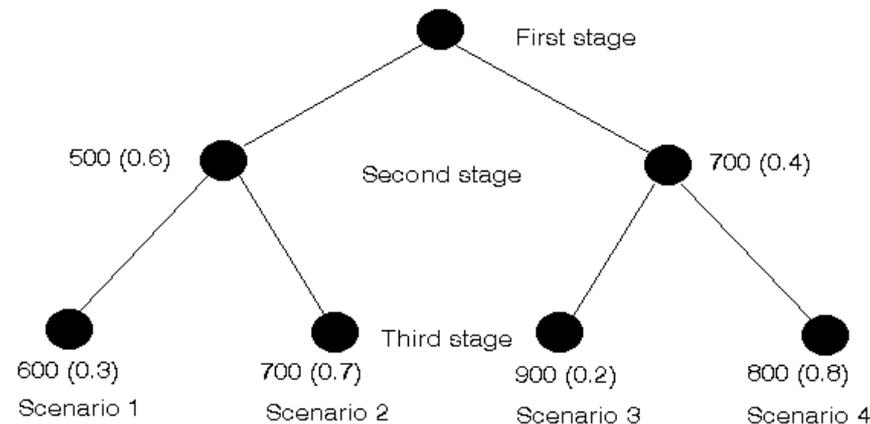
- Problem bei der Planung mit zukünftigen Daten
 - Produktion erneuerbarer Energien, Wetter
 - Energieverbrauch, Verhalten der Bewohner
 - Strompreise in der Zukunft
- Prognosen werden benötigt, sind aber unzuverlässig.
- Unsicherheiten als stochastische Verteilungen
 - Erwartungswert, Varianz
 - Spanne



[Sun13]

- Robuste Optimierung
 - Wählt Strategie mit bestem Worst-Case Szenario
 - Für risikoscheue Kunden
- Chance-constrained Optimierung
 - Minimiert Worst-Case Szenario mit Konfidenzintervall
 - Beispiel Investment:
 - Maximiert Gewinn
 - Wahrscheinlichkeit für Verlust des Einsatz $< P\%$

- Stochastische Optimierung (*stochastic programming*)
 - Probabilistischer Szenarioentscheidungsbaum
 - *Two-stage stochastic Programming*
 - Entscheidungen müssen zu verschiedenen Zeiten getroffen werden
 - Manche Entscheidungen verzögern bis mehr Informationen vorliegen
 - Vorgehen:
 - Initiale Entscheidung
 - Zusätzliche Informationen durch Beobachtung
 - Korrekturentscheidung



[Pro17]

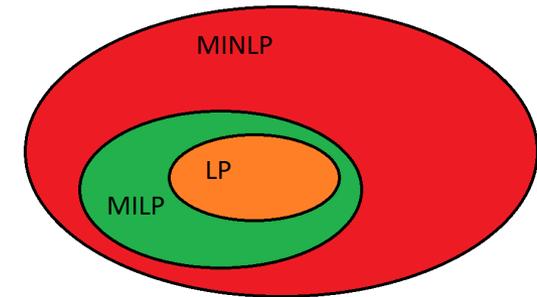
Bewertung von Energiespeichern

- Für myopische Verfahren relevant
- Potenzieller zukünftiger Nutzen von Ladestand
 - Voll: Strom für Nutzung in Hochpreisphase
 - Leer: Günstiger Laden
- Ladestand am Ende des Planungshorizonts
 - Unbedacht: z.B. komplette Entleerung
 - Naive Ansätze:
 - Laden/Entladen entgegengesetzt zur täglichen Energiebedarfsfluktuation
 - Ladestand vergleichbar mit Stand zum gleichen Zeitpunkt am Vortag
- Einflussgrößen
 - Länge des Horizonts
 - Größe des Speichers
 - Energieverbrauch
- Lösungsansatz: Ausprobieren

ZUSAMMENFASSUNG & AUSBlick

Komplexität und Berechnungsaufwand

- Modellierung: Abwägung zwischen Präzision und Aufwand
- Diskrepanz zwischen Theorie und Realität
- Lineare Programmierung
 - Es existieren Lösungen in polynomieller Zeit
 - Innere-Punkte-Verfahren
 - Ellipsoidmethode
 - Praktisch eingesetzt: Simplex Verfahren
 - Theoretisch exponentielle Laufzeit
 - In der Praxis oft schneller
- Gemischt ganzzahlige lineare Programmierung
 - NP-vollständig
 - Mit Optimierungen praktisch sinnvoll lösbar
- Gemischt ganzzahlige nicht-lineare Programmierung
 - NP-schwer
 - Löst LP und MILP



Zusammenfassung & Ausblick

- Unterschiedliche Verfahren für unterschiedliche Situationen
- Betrieb: MPC/Scheduling
- Planung/Investitionsentscheidungen: MILP
- Kommende Vorträge
 - Nachfrageflexibilität in Smart Grids und ihre Nutzen –
Heuristische Optimierung
 - Dezentrale Optimierung in Smart Grids

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Quellen

- [Dör15] Florian Dörfler: (Complex) Dynamics & (Distributed) Control of (Smart) Power Grids 2015
- [EneSol17] Titelfolie Bild: <http://www.energysolution.dk/wp-content/uploads/2017/03/COLOURBOX7136976-1-1.jpg>, 23.10.2017, 21:00 Uhr
- [Fib17] <https://upload.wikimedia.org/wikibooks/en/f/fb/Algorithms-F6CallTreeMemoized.PNG> 22.10.2017, 15:00 Uhr
- Icons:
 - <https://d30y9cdsu7xlg0.cloudfront.net/png/2071-200.png> 7.10.2017, 12:30 Uhr
 - <https://d30y9cdsu7xlg0.cloudfront.net/png/2071-200.png> 7.10.2017, 12:30 Uhr
 - <https://d30y9cdsu7xlg0.cloudfront.net/png/2075-200.png> 7.10.2017, 12:30 Uhr
 - <https://d30y9cdsu7xlg0.cloudfront.net/png/8178-200.png> 8.10.2017, 16:30 Uhr
 - <https://d30y9cdsu7xlg0.cloudfront.net/png/122071-200.png> 8.10.2017, 16:30 Uhr
 - <https://d30y9cdsu7xlg0.cloudfront.net/png/91133-200.png> , 8.10.2017. 16:30 Uhr
- [Kaz16] Kazhamiaka et al. (2016) Practical strategies for storage operation in energy systems: design and evaluation. *IEEE Transactions on sustainable energy*
- [LO17] https://en.wikipedia.org/wiki/File:Linear_optimization_in_a_2-dimensional_polytope.svg Datum: 06.10.2017, 14:20 Uhr
- [Mül16] Müller et al. "Optimization of operation and control strategies for battery energy storage systems by evolutionary algorithms." *European Conference on the Applications of Evolutionary Computation*. Springer, Cham, 2016.
- [All14] Florian Allering (2014) Organic Smart Home - Energiemanagement für Intelligente Gebäude
- [Sun17] <http://steady-sun.com/wp-content/uploads/steadySat-prev3-EN.png> Datum: 16.11.2017, 16:00 Uhr
- [Pro17] <http://people.brunel.ac.uk/~mastijb/jeb/or/sp.html> Datum: 15.11.2017, 11:00 Uhr
- [IP06] https://en.wikipedia.org/wiki/Integer_programming#/media/File:IP_polytope_with_LP_relaxation.png Datum: 18.11.2017, 17:00 Uhr

Backup Beweis NP-Vollständigkeit MILP

- Knotenüberdeckungsproblem (*vertex cover*) ist eines der 21 klassischen NP-vollständigen Probleme
- Beweis durch Reduktion:
 - Ungerichteter Graph G
 - Lösung kann als Subset von Knoten interpretiert werden
 - 0: Nicht Teil des Subsets
 - 1: Teil des Subsets
 - Jede Kante hat mindestens einen Endknoten im Subset
 - Minimale Summe \rightarrow Minimale Überdeckung
 - Minimale Überdeckung \rightarrow Minimale Summe

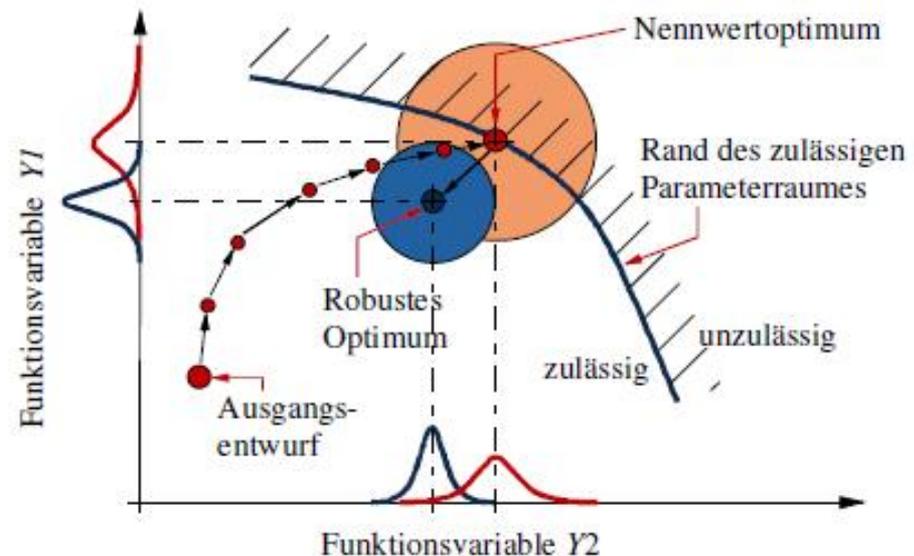
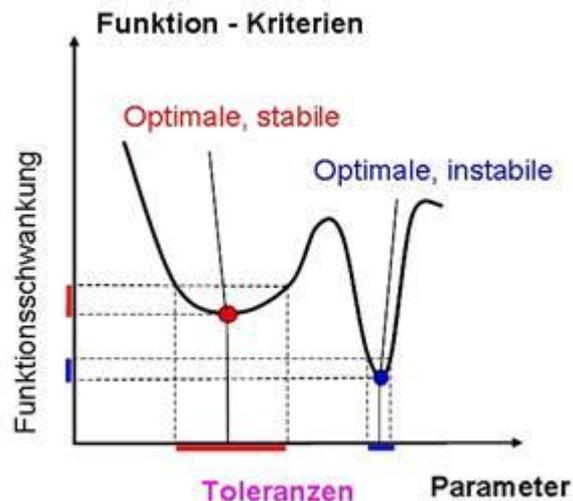
$$\begin{array}{ll}
 \min \sum_{v \in V} y_v & \\
 y_v + y_u \geq 1 & \forall uv \in E \\
 y_v \geq 0 & \forall v \in V \\
 y_v \in \mathbb{Z} & \forall v \in V
 \end{array}$$

Quelle:

<https://web.archive.org/web/20150518072946/https://courses.engr.illinois.edu/cs498dl1/sp2015/solutions/hw10sol.pdf>, Datum 19.11.2017, 14:00 Uhr

Alternative Robuste Optimierung

- Robustheit gegen Unsicherheiten
- Robustheit gegen Störungen



Quelle:

http://www.optiyummy.de/images/Software_SimX_-_Nadelantrieb_-_Robust-Optimierung_-_varianz-minimierung.jpg, Datum 20.11.2017, 15:00 Uhr

<http://www.optiy.de/images/RobustDesign.jpg>, Datum 20.11.2017, 16:00 Uhr