

# *Algebraische Modellierung als Planungswerkzeug für den Mittelstand*

---

## **Herausforderungen und Ausblick**

*Michael R. Bussieck, Robin Schuchmann  
{mbussieck,rschuchmann}@gams.com*

## Die Firma GAMS

- *Seit 30+ Jahren Entwicklung und Vertrieb vom **General Algebraic Modeling System (GAMS)***
- *Software System zur Modellierung und Lösung von mathematischen Optimierungsproblemen*
- *Standorte:*
  - *Washington DC*
  - *Köln/Braunschweig/Berlin*
- *Selbst KMU/Small business mit ~30 Mitarbeitern*
- *~10.000 Installationen + demo/student Systems*
- *Kunden: 50% akademisch, 50% kommerziell*

# Breites *Anwendungsspektrum*

---

Agrarökonomie	Angewandtes allg. Gleichgewicht
Chemie- und Verfahrenstechnik	Wirtschaftliche Entwicklung
Ökonometrie	Energie
Umweltökonomie	Ingenieurwesen
Finanzen	Forstwirtschaft
Internationaler Handel	Logistik
Makroökonomie	Militär
Management Science/OR	Mathematik
Mikroökonomie	Physik

---

# Schlüsselkonzepte

- *Unabhängigkeit*
  - *Model*
  - *Lösungsalgorithmus/Solver*
  - *Daten*
  - *User Interface*
  - *Plattform/Betriebssystem*
- *Mix von deklarativen und prozeduralen Sprachelementen*
  - *Monolithische & polyolithische Modelle*
- *Einfachste Sprachelemente: Algebra & Tabellen*
- *Tool für*
  - *Optimierungsexperten (Universitäten & Praxis)*
  - *Anwendungsexperten*

# Herausforderungen für Unternehmen

- Modellentwicklung und -pflege

```
defpick(s).. w(s) =l= p(s);  
defnumstock.. sum(s, p(s)) =l= maxstock;  
defobj.. obj =e= sum(td, slpos(td) + slneg(td));  
  
Model pickStock /all/;  
option optCR=0.01;  
  
td(d) = ord(d)<=trainingdays;  
ntd(d) = not td(d);
```



- Integration der Modelle in bestehende Abläufe



- Visualisierung der Optimierungsergebnisse



# Entwicklung eines (GAMS) Modells

## Mögliche Ansätze

### Analytic unit

- Interne Entwicklung
- Hohe Kontrolle & Flexibilität
- Oftmals sehr kostspielig

### Academic research

- Doktor- oder Masterarbeit
- Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten
- Meist kostengünstig aber zeitintensiver
- Neue Kontakte & ggf. Nachfolgeprojekte

### Solution specialist

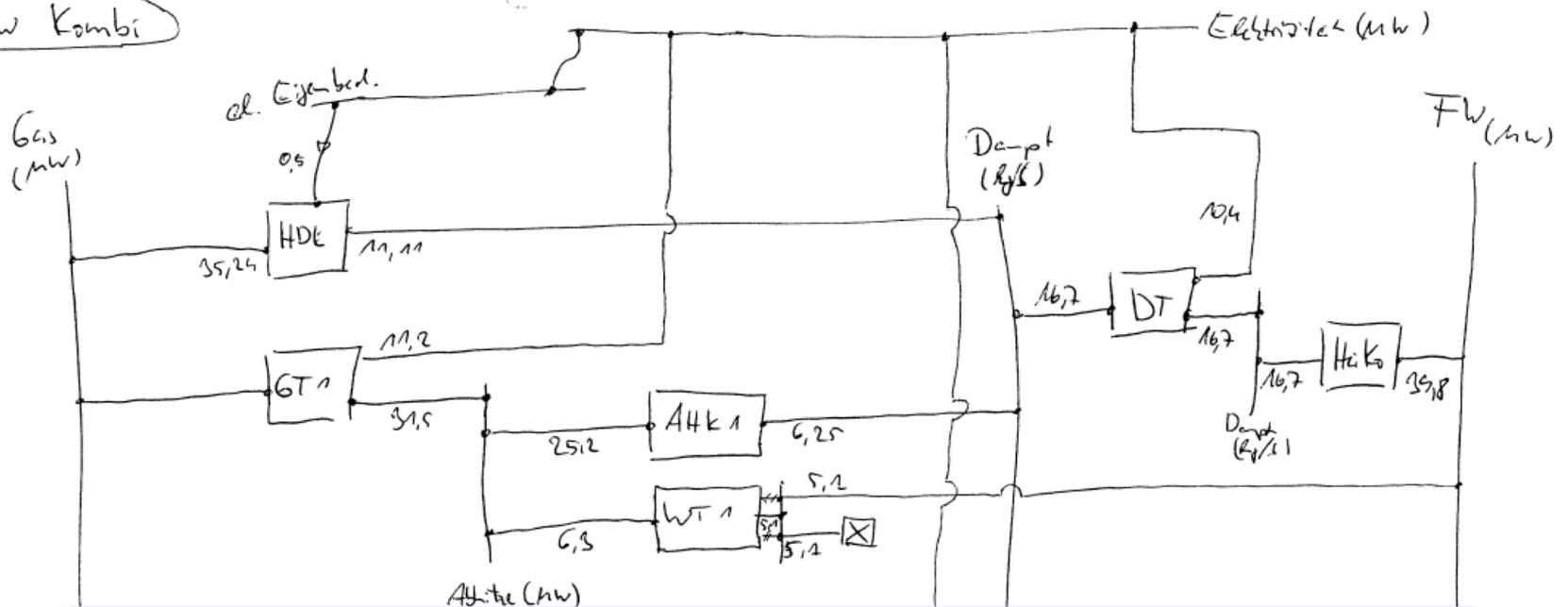
- Externer Entwickler
- Viel Know-How
- State-of-the-art Lösungen

# Fallbeispiel 1

# *Beispiel 1: Kassler Verkehrs u. Versorgungs GmbH*

- *Entscheidungsunterstützung*
  - *Investition (Biofuel, neue Gas Turbine, Wärmespeicher...)*
  - *Verhandlung bei Änderung der Besitzanteile von Kraftwerken*
  - *Vertragsgestaltung bei neuen Industriekunden*
- *Modell*
  - *Nachfrage Strom & Wärme*
  - *Make (eigene Kraftwerke) or Buy (Strom)*
  - *Wärmenetzwerk mit Speichern*
  - *Zeitauflösung: 1 Stunde, Horizont: 1 Jahr*
  - *Abbildung der Prozesse im Kraftwerk*

HKW Kombi



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1		HWK	HWK	GT	GT	AHK	WT	DT	HEIKO			
2		0	1	0	1	1		1	1			
3	Gas	0	-39.6	-54.69	-85.67							MWh
4	Kohle											MWh
5	Abhitze			36.43	53.2	-42.56	-10.64					MWh
6	Dampf					10.72		-16.7				kg/s
7	Abdampf							16.7	-16.7			kg/s
8	Waerme	0	18				8.6184		39.84			MWh
9	Strom			13.77	29.55			10.39				MWh

# Beispiel 1: Kassler Verkehrs u. Versorgungs GmbH

- *Entscheidungsunterstützung*
  - *Investition (Biofuel, neue Gas Turbine, Wärmespeicher...)*
  - *Verhandlung bei Änderung der Besitzanteile von Kraftwerken*
  - *Vertragsgestaltung bei neuen Industriekunden*
- *Modell*
  - *Nachfrage Strom & Wärme*
  - *Make (eigene Kraftwerke) or Buy (Strom)*
  - *Wärmenetzwerk mit Speichern*
  - *Zeitauflösung: 1 Stunde, Horizont: 1 Jahr*
  - *Abbildung der Prozesse im Kraftwerk*
- *Realisierung*
  - *Sehr knappes Budget*
  - *Excel: "Datenbank" & Frontend zu GAMS*

# Fallbeispiel 2

## *Beispiel 2: GSE Software Solutions (I)*

- *Software u. a. zur Optimierung des Schneidprozesses von Papierrollen*

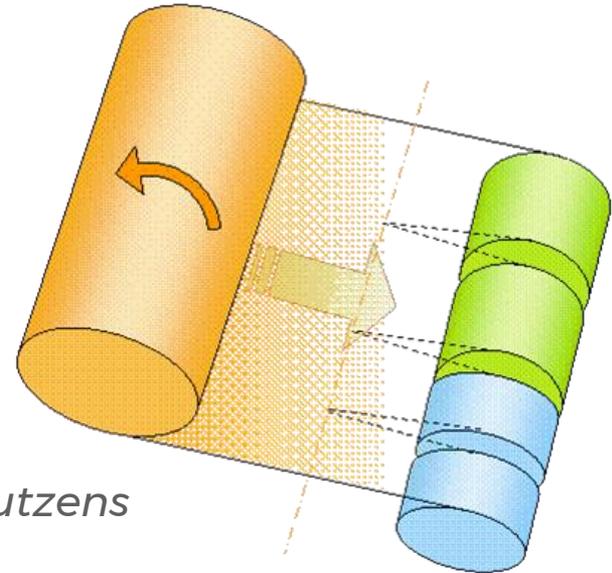


# Beispiel 2: GSE Software Solutions (I)

- Software u. a. zur Optimierung des Schneidprozesses von Papierrollen
- Kernproblem ist klassisches Optimierungsproblem („Cutting Stock Problem“)

- Gegeben:
  - Breite der Ausgangsrolle
  - Nachfrage verschiedener kleinerer Rollen
- Ziel: Minimierung der Anzahl benötigter Ausgangsrollen

→ Maximierung des wirtschaftlichen Nutzens



```
numberPattern.. z =e= sum(pp, xp(pp));  
demand(i).. sum(pp, aip(i,pp)*xp(pp)) =g= d(i);
```

# Entwicklung eines GAMS Modells

## Mögliche Ansätze

### Analytic unit

- Interne Entwicklung
- Hohe Kontrolle & Flexibilität
- Oftmals sehr kostspielig

### Academic research

- Doktor- oder Masterarbeit
- Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten
- Meist kostengünstig aber zeitintensiver
- Neue Kontakte & ggf. Nachfolgeprojekte

### Solution specialist

- Externer Entwickler
- Viel Know-How
- State-of-the-art Lösungen  
→ Gewählter Ansatz von GSE Software Solutions (Prof. Dr. J. Kallrath)

Start Optimierungslauf  
mit Vorgabe Maschinen- und  
Optimierungsparameter

GSE-TRIM - gsetrim - Session: 35

Datei Auftrag Schnittplan Extras Hilfe

Programmende Import Optionen... Sessions

**GSE TRIM**

Aufträge Schnittplan

Maschine  Sorte  Rollendurchm.  Hülsendurchm.  Auftragsnummer   
 Gruppe  Fl.Gew.  Rollenbreite  Siebseite  Schnittplan

ID	Gruppe	Auftrags-Nr.	Auftragsdatum	Maschinen-Nr.	Artikel-Nr.	Sorte	Kunden-Nr.	Kundenname	Rollendurchmesser	Rollenbreite	Anzahl Rollen	OptAnzRollen	Fl.Gew.	Hülsen-D.	Siebseite	hritplai
1036	50	1017/16		3211	XYZ			ABC	1066,7	1840	15			70		
1037	50	1018/17		3211	XYZ			ABC	1066,7	1840	27			70		
1022	100	1003/2		3211	XYZ			ABC	1073,6	2100	1			70		
1020	150	1001/18		3211	XYZ			ABC	1087,15	2200	13			70		
1026	200	1007/6		3211	XYZ			ABC	1106,85	2070	6			70		
1032	200	1013/12		3211	XYZ			ABC	1106,85	2060	12			70		
1021	250	1002/1		3211	XYZ			ABC	1113,25	2150	6			70		
1023	250	1004/3		3211	XYZ			ABC	1113,25	2100	1			70		
1024	250	1005/4		3211	XYZ			ABC	1113,25	2100	2			70		
1025	250	1006/5		3211	XYZ			ABC	1113,25	2100	23			70		
1027	250	1008/7		3211	XYZ			ABC	1113,25	2070	6			70		
1028	250	1009/8		3211	XYZ			ABC	1113,25	2070	16			70		
1029	250	1010/9												70		
1030	250	1011/10												70		
1031	250	1012/11												70		
1033	250	1014/13												70		
1034	250	1015/14												70		
1035	250	1016/15												70		

**Optimierung Batchlauf**

Schließen Starten

Arbeitsplatz

Nutzbreite [mm]  Messer berücksichtigen

Mindestbreite [mm]  Anzahl Messer

Max. Verschnitt [%]  Anzahl Breiten

Rollen auffüllen

Musteroptimierung

Optimierungsaufträge

-ASCII, XML, CSV,  
Datenbanken

User-Interface

Auftragsauswahl

**Auftrags-POOL**  
- Für Optimierung

User-Interface

**TRIM-Einstellungen**

User-Interface

**Maschinendaten**

- Arbeitsbreite  
- Anzahl Messer,..

**TRIM  
OPTIMIZATION**



Schnittplan

User-Interface

Ergebnisdatei

-ASCII, XML, CSV,  
Datenbanken

**WORKFLOW**

## Beispiel 2: GSE Software Solutions (II)

- *Neue Anforderungen in Kundenprojekt:*
  - *Minimierung der Messerstellungswechsel*
  - *Einhaltung von Mindestbreiten bei Schnitten*
  - *Handhabung unterschiedlicher Papiersorten*
- *Modell bildet dies nicht ab*

→ *Erweiterung des Grundmodells um neue Anforderungen*



# Fallbeispiel 3

# Entwicklung eines GAMS Modells

## Mögliche Ansätze

### Analytic unit

- Interne Entwicklung
- Hohe Kontrolle & Flexibilität
- Oftmals sehr kostspielig

### Academic research

- Doktor- oder Masterarbeit
- Zusammenarbeit mit Forschungsinstituten
- Meist kostengünstig
- Neue Kontakte & ggf. Nachfolgeprojekte

### Solution specialist

- Externer Entwickler
- Viel Know-How
- State-of-the-art Lösungen
- Gewählter Ansatz von GSE Software Solutions (Prof. Dr. J. Kallrath)

# Examensterminierung in West Point

## *Situation:*

- *~ 5000 Kadetten*
- *> 21 000 Prüfungen*
- *11 Zeitfenster*
- *Kadett kann nur an einer Prüfung pro Periode teilnehmen*
- *Zeitfenster reichen nicht aus, um Konfliktfreien Plan zu erstellen.*
- *Einige Kurse benötigen daher eine zusätzliche Prüfung*

## *Ziel:*

- *Minimierung der Zusatzprüfungen*
  - *Trotzdem Prüfungsplan jedes Kadetten so gut wie möglich streuen*
  - *Wunschtermine von Kadetten einhalten*
  - *Kapazitäten sollen eingehalten werden*
  - *[...]*
- Suche nach gutem Gleichgewicht*

# *Examensterminierung in West Point*

*Bisher:*

- *20 Jahre altes GAMS Modell (damalige Doktorarbeit)*
- *Bildet Situation in West Point nicht mehr korrekt ab*
- *Verwendung zum finden einer Startlösung*
- *Danach Anpassung des Plans in Handarbeit  
(benötigte Zeit: mehrere Wochen)*

*Projekt (Neuaufgabe):*

- *Gemeinsame Masterarbeit (6 Monate) von zwei Studenten*
- *Besuch vor Ort, um genaue Kundenvorstellungen zu klären*
- *Entwicklung eines Prototypen für die Examensterminierung*
- *Überarbeitung durch GAMS Mitarbeiter für Endprodukt*

# *Examensterminierung in West Point*

- *Academic research*
- *Kostengünstig, aber zeitintensiv*
- *Kontakt durch Doktorarbeit*
- *Nachfolgeprojekt 20 Jahre später*
- *GAMS diente mit seinem akademischen Netzwerk als Vermittler*

**Fazit**

# Mathematische Optimierung in der Praxis

## Voraussetzungen für einen erfolgreichen Einsatz

### Modellierung

- Realitätsnahes Modell
- Leichte Wartung
- Flexibles Anpassen an neue Situationen

### Kompatibilität

- Gutes Modell sehr lange verwendbar
- Umgebungsbedingungen können sich stark verändern (Verantwortlichkeit, Betriebssystem, Benutzeroberfläche)
- AMLs erhalten Kompatibilität und ermöglichen Innovationen

### Bereitstellung

- Endanwender oft keine Modellierungsexperten
- Anwender muss Modell bedienen können
- Bedarf nach Werkzeug zur Visualisierung und Auswertung von Daten / Ergebnissen

# Innovation und Kompatibilität

## Modelle müssen profitieren von

Fortschrittliche Hardware /  
Neue Plattformen

Erweiterte / neue Löser- und  
Lösungstechnologie

Verbesserte / zukünftige  
Schnittstellen zu anderen Systemen

**Neue Modellierungskonzepte**

## Schutz der Kundeninvestitionen

Lebensdauer eines Modells:  
15+ Jahre

Neuer Verantwortlicher, neue  
Plattform, Löser, Benutzeroberfläche

Rückwärtskompatibilität

**Software-Qualitätssicherung**



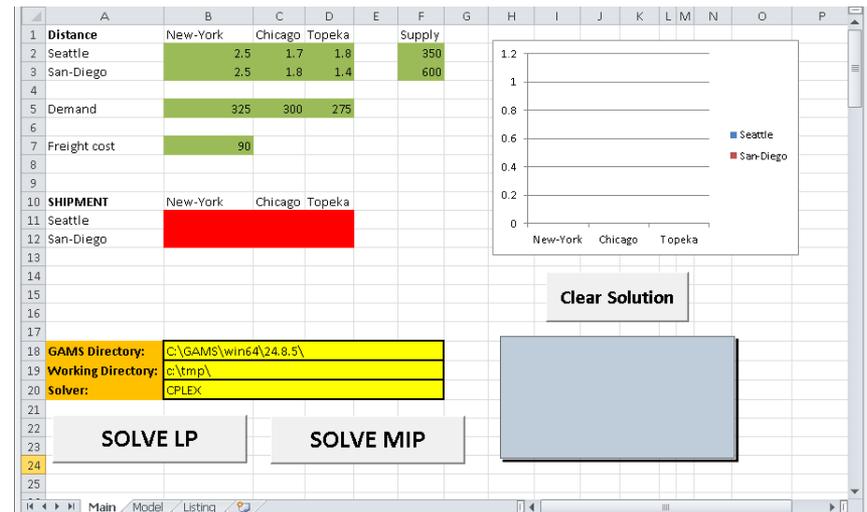
# Bereitstellung von GAMS Modellen

# Bereitstellung von GAMS-Modellen

## Aktuelle Möglichkeiten

### Expert level APIs

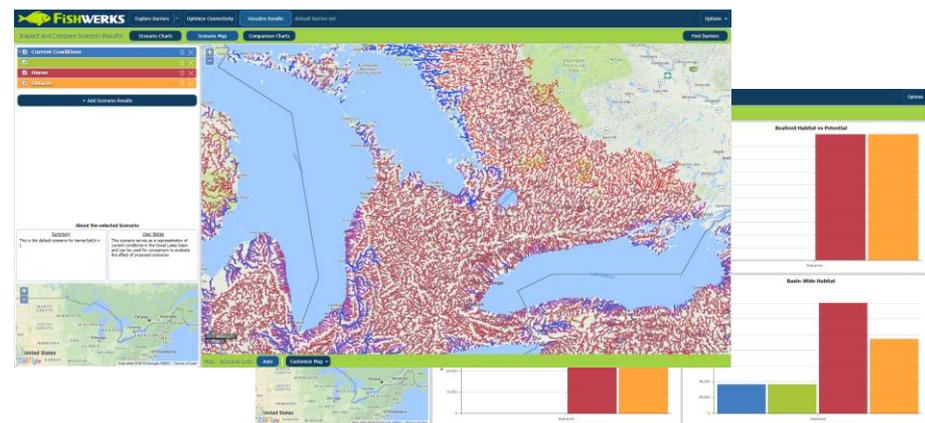
- GDX, OPT, GAMSX, GMO, ...
- Hohe Performance & Flexibilität
- Automatisch generierte imperative APIs für mehrere Sprachen (C, C++, C#, Delphi, Java, Python, VBA, ...)



### Object Oriented APIs

- GAMS verfügt über mehrere OO-APIs (Python, Java, C++, C#, ...) zur Entwicklung von Anwendungen

→ Programmierung für die Realisierung einer Anwendung erforderlich



# GAMS MIRO

## Entwicklung des GAMS Modells

Click to  
deploy

Webbrowser

```

GAMS Model Development Screenshot:
- Left pane: GAMS code editor showing model formulation.
- Right pane: Output window showing solver results.
- Bottom pane: Mathematical model summary.

```

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && \text{obj} := \sum_{ds} \text{slpos}_{ds} + \text{slneg}_{ds} \\ & \text{subject to} && \sum_s \text{price}_{ds} \cdot w_s = \text{index}_{ds} + \text{slpos}_{ds} - \text{slneg}_{ds} \quad (\forall ds) \\ & && w_s \leq p_s \quad (\forall s) \\ & && \sum_s p_s \leq \text{maxstock} \\ & && w_s \geq 0, \quad p_s \in \{0, 1\} \quad (\forall s) \\ & && \text{slpos}_{ds} \geq 0, \quad \text{slneg}_{ds} \geq 0 \quad (\forall ds) \end{aligned}$$



- ✓ Web-Interface für GAMS-Modelle
- ✓ Nutzung über den Webbrowser
- ✓ GAMS Modell ist black box für Endanwender

# GAMS MIRO – schematische Darstellung



- Input
- Output
- GAMS interaction
- Compare Scenarios

Load data

Solve model

☰
Scenario ▾ Help ▾

**Model status**

Run successfully terminated.

**GAMS output**

Log file Listing file

```

162 70 13.7959 14 19.8845 0.3772 6061 98.18%
396 188 11.7772 13 19.8845 2.8346 12065 85.85%
* 443 283 integral 0 18.9584 3.1246 13943 83.52%
Found incumbent of value 18.958351 after 0.55 sec. (693.29 ticks)
* 543+ 215 15.9889 3.5302 77.88%
Found incumbent of value 15.988902 after 0.76 sec. (867.98 ticks)
684 238 8.2383 13 15.9889 3.9805 18573 75.60%
911 372 18.9016 12 15.9889 5.5506 25499 65.28%
1245 582 7.3481 15 15.9889 6.5774 32989 58.89%
1616 617 cutoff 15.9889 7.1211 48298 55.52%
1736 268 cutoff 15.9889 7.1665 43726 55.18%
* 3136 587 integral 0 14.2563 7.3665 72281 49.73%

```

**transport**

capacity of plant i in cases demand at market j in cases distance in thou

**freight in dollars per case per thousand miles**

1 50

**minimum shipment (MIP- and MINLP-only)**

0 51

**beta (MINLP-only)**

0

**Select model type**

MIP

LP

MIP

MINLP

**pickstock\_newCase**

2018-12-10 13:31:53

what part of the portfolio dow jones vs. index fund absolute error Price Input scalars

Show 15 entries

Search:

Part of the portfolio

stockSymbol what part of the portfolio

DD 0.60

MCD 0.51

All All

**pickstock\_newCase2**

2018-12-10 13:32:28

what part of the portfolio dow jones vs. index fund absolute error Price Input scalars

Show 15 entries

Search:

Part of the portfolio

stockSymbol what part of the portfolio

BA 0.07

DIS 0.09

GS 0.08

IBM 0.08

MMM 0.17

MRK 0.20

**pickstock**

stock price what part of the portfolio dow jones vs. index fund absolute error

Show 15 entries

date dow jones index fund

date	dow jones	index fund
2017-08-01	133.08	133.92
2017-08-02	133.71	133.94
2017-08-03	133.78	134.18
2017-08-04	134.31	133.90
2017-08-07	134.72	134.42
2017-08-08	134.58	134.11
2017-08-09	134.27	133.53
2017-08-10	133.00	133.02
2017-08-11	133.19	133.20
2017-08-14	134.09	133.83
2017-08-15	134.22	134.23
2017-08-16	134.29	133.89
2017-08-17	132.68	132.56
2017-08-18	132.26	132.31
2017-08-21	132.42	132.51

All All

Showing 1 to 15 of 252 entries Previous 1 2 3 4 5 ... 17 Next

**Dow Jones vs. Index Fund**

# Festlegen von Eingabedaten für das Modell

transport ×

capacity of plant i in cases    demand at market j in cases    distance in thousands of miles    Input Options

---

**freight in dollars per case per thousand miles**

1 90 500

1    51    101    151    201    251    301    351    401    451    500

**minimum shipment (MIP- and MINLP-only)**

0 51 500

0    50    100    150    200    250    300    350    400    450    500

**beta (MINLP-only)**

0 0.95 1

0    0.1    0.2    0.3    0.4    0.5    0.6    0.7    0.8    0.9    1

**Select model type**

MIP| ▲

LP

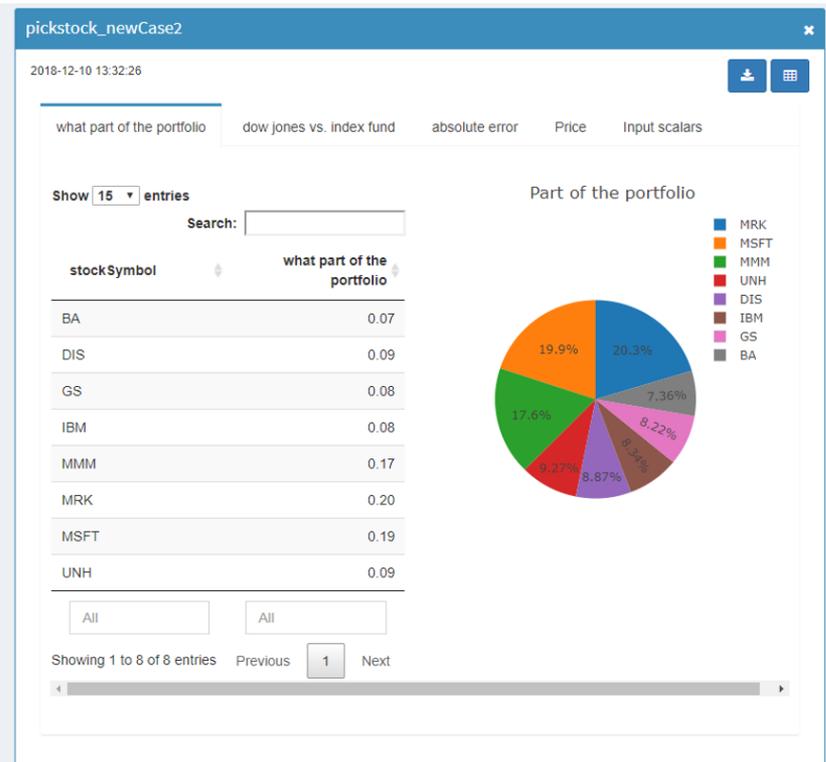
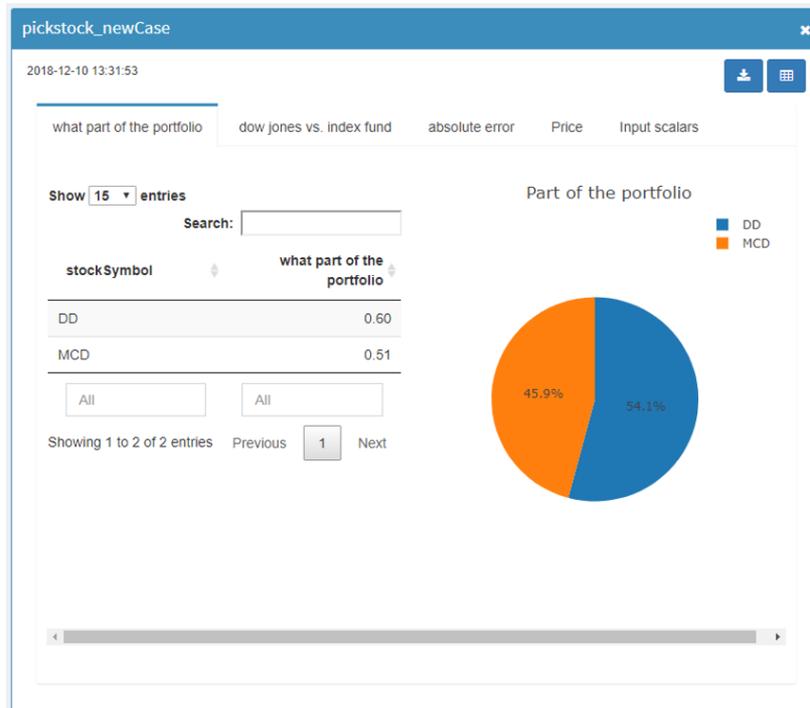
MIP

MINLP

# Visualisierung von Ein- und Ausgabedaten



# Direkter Vergleich von Szenarios



# Automatische Generierung von Szenarios

## Der GAMS MIRO Hypercube Modus

The screenshot displays the 'Input widgets' section of the GAMS MIRO Hypercube Modus interface. It features several interactive elements:

- Select the maximum number of stocks:** A slider ranging from 1 to 30. The current value is 10. A 'Step size' input field is set to 1.
- Select the number of days for training:** A slider ranging from 1 to 252. The current value is 130. A 'Step size' input field is set to 5.
- Time window:** A date range selector showing '08/01/2017' to '07/31/2018'.
- Solver to use for MIP:** A dropdown menu with 'solver 4', 'solver 1', and 'solver 5' selected. Other options include 'solver 2' and 'solver 3'.

# Übersicht abgesetzter GAMS Jobs

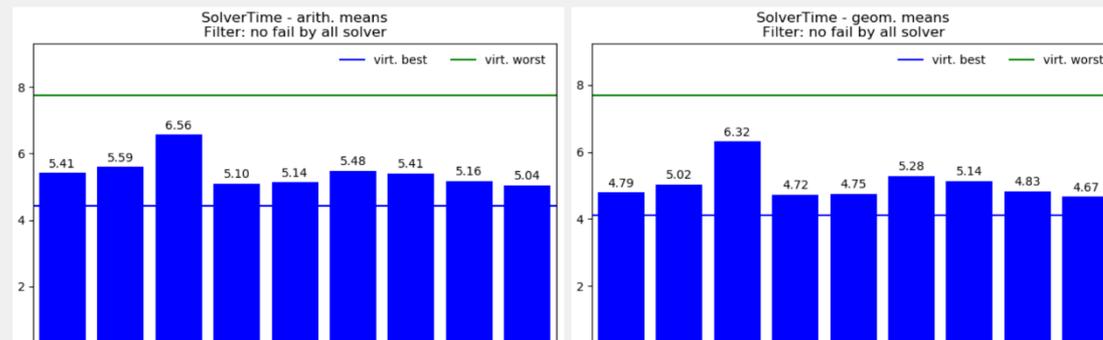
Import data 				
Owner	Submission date	Job tags	Status	Action
user	2019-01-18 15:05:09	<input type="text" value="runxy"/>	running	<input type="button" value="Show log"/> <input type="button" value="Discard"/>
user	2019-01-18 15:04:53	<input type="text"/>	running	<input type="button" value="Show log"/> <input type="button" value="Discard"/>
user	2019-01-18 15:04:42	<input type="text" value="run1"/>	completed	<input type="button" value="Import"/> <input type="button" value="Show log"/> <input type="button" value="Discard"/>
user	2019-01-18 15:02:57	<input type="text" value="all_types"/>	completed	<input type="button" value="Import"/> <input type="button" value="Show log"/> <input type="button" value="Discard"/>
user	2019-01-18 14:58:50	<input type="text" value="MIP min_ship"/>	completed	<input type="button" value="Import"/> <input type="button" value="Show log"/> <input type="button" value="Discard"/>

# Integrierte Szenario- & Sensitivitätsanalyse

## Analyze Scenarios

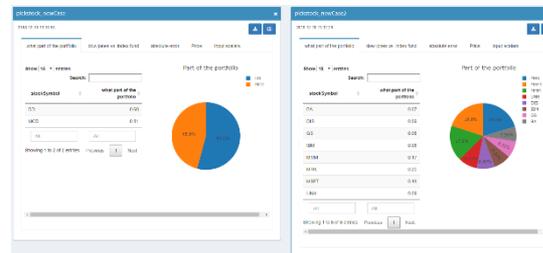
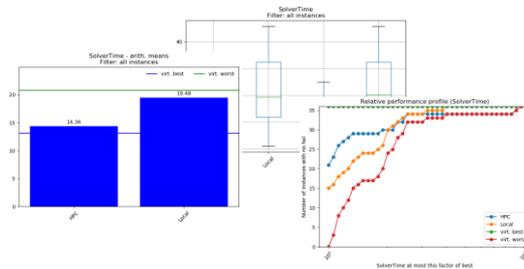
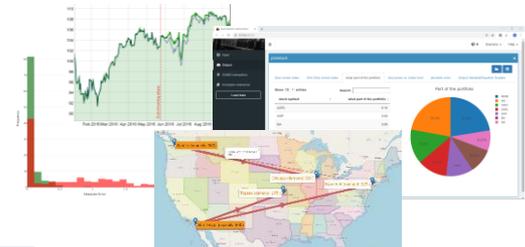
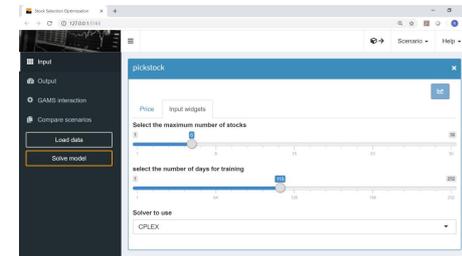
Index	stat_Status	stat_Efficiency			stat_SolutionQuality				solvedata		documentation
<b>arith. std.</b>	2.56	2.33	1.91	1.70	1.71	1.34	1.52	1.63	1.68	1.52	1.05
<b>geom. mean</b>	4.79	5.02	6.32	4.72	4.75	5.28	5.14	4.83	4.67	4.11	7.70
<b>geom. std.</b>	1.71	1.68	1.33	1.56	1.57	1.34	1.43	1.50	1.56	1.53	1.13
<b>sh.geom. mean</b>	5.23	5.44	6.47	5.01	5.04	5.42	5.34	5.08	4.95	4.36	7.73
<b>sh.geom. std.</b>	1.17	1.16	1.11	1.12	1.12	1.09	1.10	1.11	1.12	1.11	1.06
<b>min</b>	1.66	1.72	3.89	1.80	1.76	2.75	2.31	1.97	1.76	1.66	6.31
<b>10.0%</b>	2.81	3.27	4.53	3.23	3.35	4.38	4.16	3.44	3.26	2.77	6.79
<b>25.0%</b>	4.30	4.87	5.39	5.01	5.21	6.02	6.02	5.18	4.97	4.12	7.28
<b>50.0%</b>	5.66	5.66	6.65	6.02	6.02	6.02	6.03	6.02	5.82	4.92	7.61
<b>75.0%</b>	6.12	7.07	7.73	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	5.13	8.24
<b>90.0%</b>	7.77	7.84	8.51	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	5.59	8.87
<b>max</b>	9.38	8.36	9.12	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.03	6.01	9.38

geometric mean shift: 10.0



# GAMS MIRO

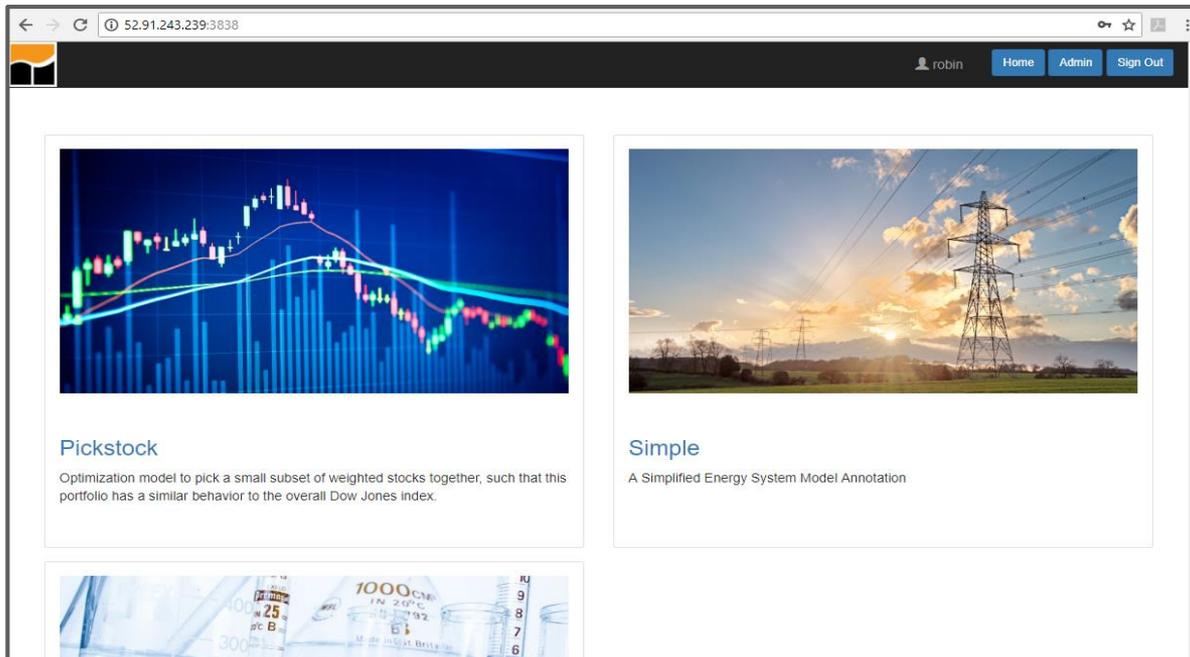
- *Schnelle und automatisierte Bereitstellung von GAMS-Modellen*
- *Datenvisualisierung mit Tabellen, Diagrammen, Grafiken*
- *Generierung, Verarbeitung und Auswertung von Szenariodaten*
- *Erstellung von Leistungsstatistiken und Sensitivitätsanalysen*
- *Datenexport für externe GAMS-Jobs und -Analysen*
- *Intuitives und strukturiertes Arbeiten ohne GAMS-Kenntnisse*
- *Einfache und komfortable Datenverwaltung*



# Ausblick - GAMS MIRO Server

## Basierend auf Docker-Technologie

- *Multi-user Verwaltung*
- *Authentifizierung: LDAP, OAuth 2.0, Google, GitHub, Facebook, ...*
- *Alle Anwendungen auf einen Blick*
- *Load balancing*
- *Rollende Updates*
- *Verschiedene Lizenzmodelle denkbar*



The screenshot displays a web browser window with the URL 52.91.243.239:3838. The interface features a dark header with a user profile 'robin' and navigation buttons for 'Home', 'Admin', and 'Sign Out'. The main content area contains several application tiles. The first tile, titled 'Pickstock', shows a candlestick chart with overlaid trend lines and is described as an optimization model for selecting a subset of stocks. The second tile, titled 'Simple', shows a landscape with power lines and a sun, described as a simplified energy system model annotation. A third tile at the bottom left shows a close-up of banknotes.

# Fazit

- *Kommerziell unterstütztes GAMS-Produkt*
- *BETA*
- *Betriebssystem: Windows, MacOS, Linux, Linux*
- *GAMS MIRO wird in enger Zusammenarbeit mit akademischen und kommerziellen Kunden entwickelt*

[www.gams.com](http://www.gams.com)

Weitere Informationen zu MIRO  
unter:

[www.gams.com/miro](http://www.gams.com/miro)  
oder auf YouTube:

<https://www.youtube.com/gamslessons>