

Einschulung erster Schultag: Was kommt nicht in die Tüte, sollte aber besser sorgfältig geplant sein?

Schulwegoptimierung und Lehrereinsatzplanung
in einer Millionenstadt

Carola Röttig, Senior Data Scientist
Ulrich Reincke, Principal Data Scientist

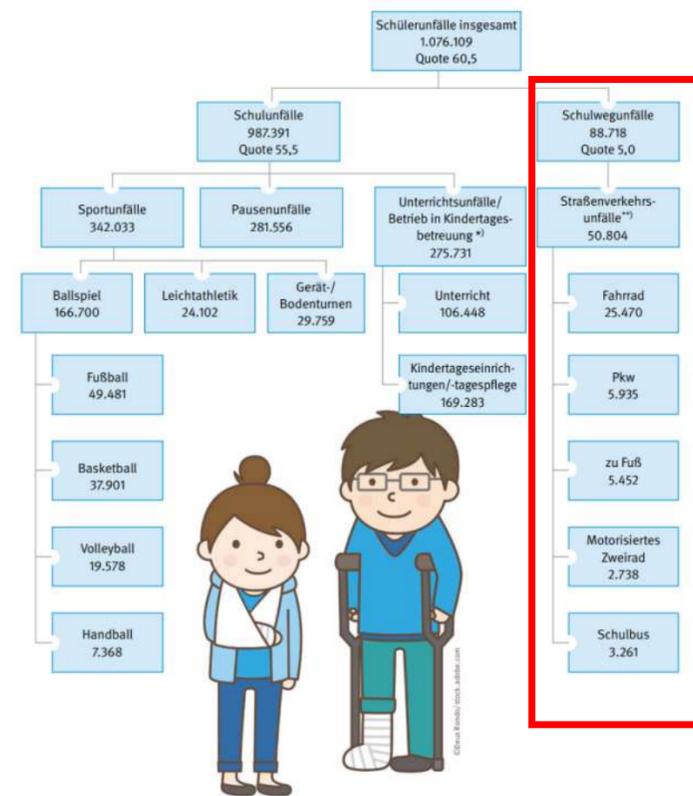
SAS innovate
on tour 2024

Lange Schulwege sind nicht nur mühsam und lästig...

sonderen auch gefährlich: [\(Quelle: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung Jahresbericht 2022\)](#)

(UnfallTyp=Schulweg)
(N=88718)

(Schultyp=Grundschule)
(N=18342)



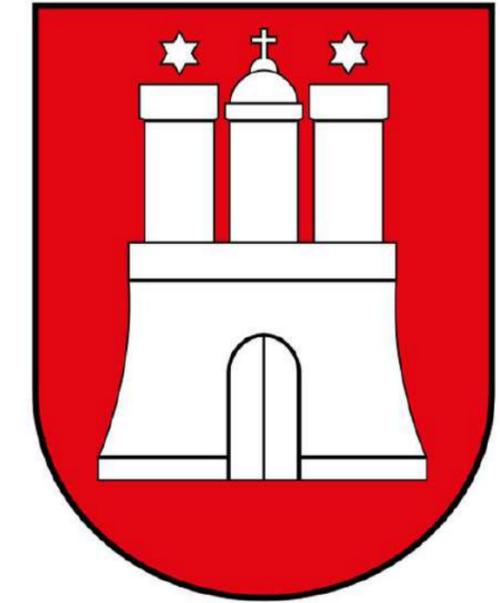
Einrichtung	Schulunfall			Schulwegunfall		
	Anzahl	%	je 1.000 Versicherte	Anzahl	%	je 1.000 Versicherte
Kindertagesbetreuung (Summe)	233.371	23,6	58,2	6.466	7,3	1,6
Grundschulen	251.268	25,4	86,3	18.342	20,7	6,3
Hauptschulen	27.010	2,7	83,3	3.144	3,5	9,7
Förderschulen	28.752	2,9	86,5	3.238	3,7	9,7
Realschulen	98.737	10,0	129,5	9.620	10,8	12,6
Gymnasien	141.542	14,3	62,7	18.451	20,8	8,2
Gesamtschulen u. sonst. allg.-bild. Schulen	164.861	16,7	89,9	15.047	17,0	8,2
Allgemeinbildende Schulen insgesamt	712.169	72,1	84,6	67.843	76,5	8,1
Berufliche Schulen	34.711	3,5	14,2	10.939	12,3	4,5
Hochschulen	7.140	0,7	2,4	3.471	3,9	1,2
Gesamt	987.391	100,0	55,5	88.718	100,0	5,0

An jedem Schultag verunglücken 92 ein Grundschüler auf dem Schulweg



Fragestellung Schulwegminimierung

Einschulung in den Hamburger Grundschulen 2024



Gegeben

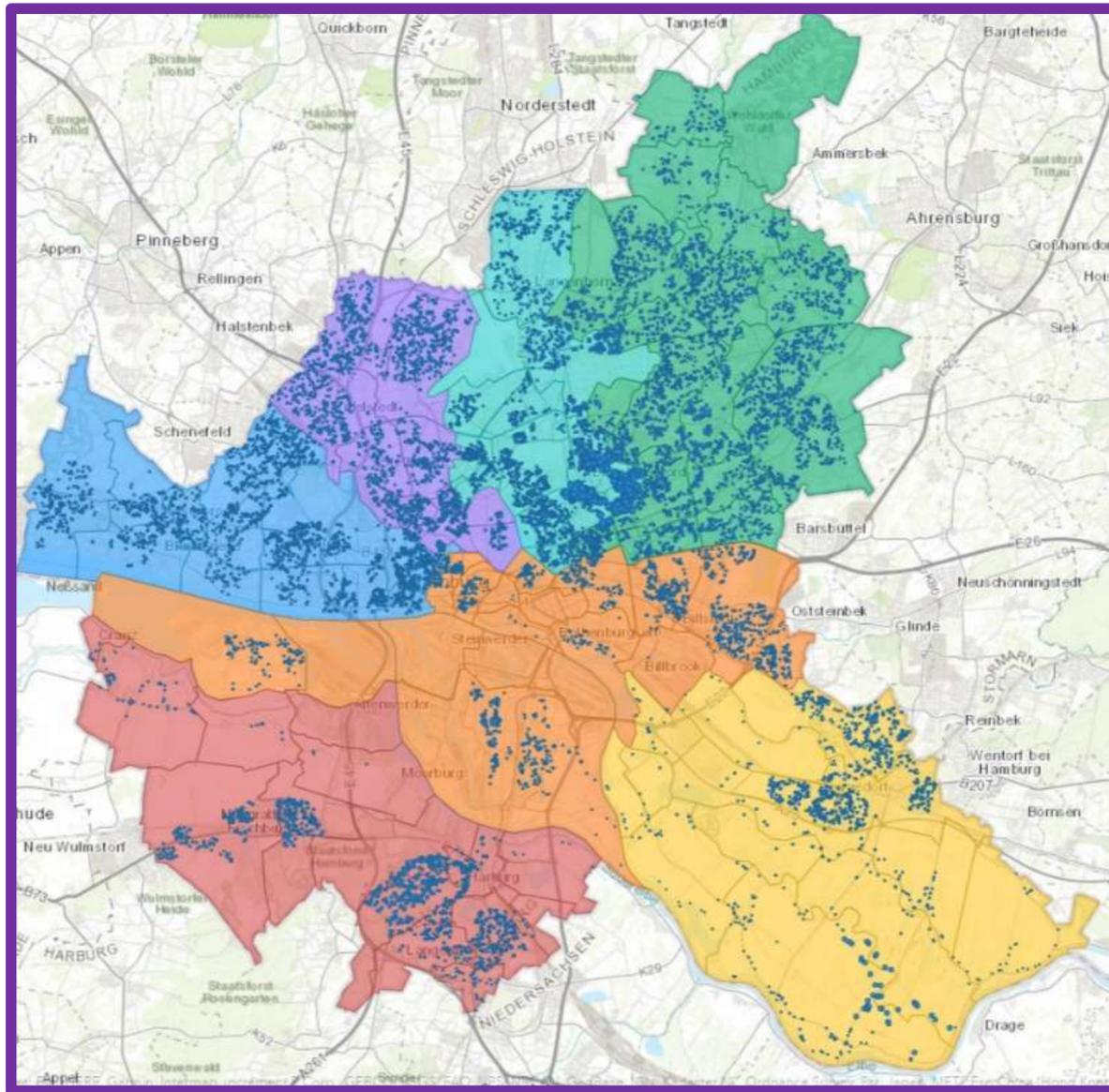
- 18 146 Erstklässler (Wachstum 4,8%)
- 205 Grund- und Sonderschulen
- 3864,8 Grundschullehrer (Wachstum 3,6%,)
- Nebenbedingungen: Fremdsprache, Betreuungsfenster, Essen, Inklusion, Rollstuhlgerechte Ausstattung

Gesucht:

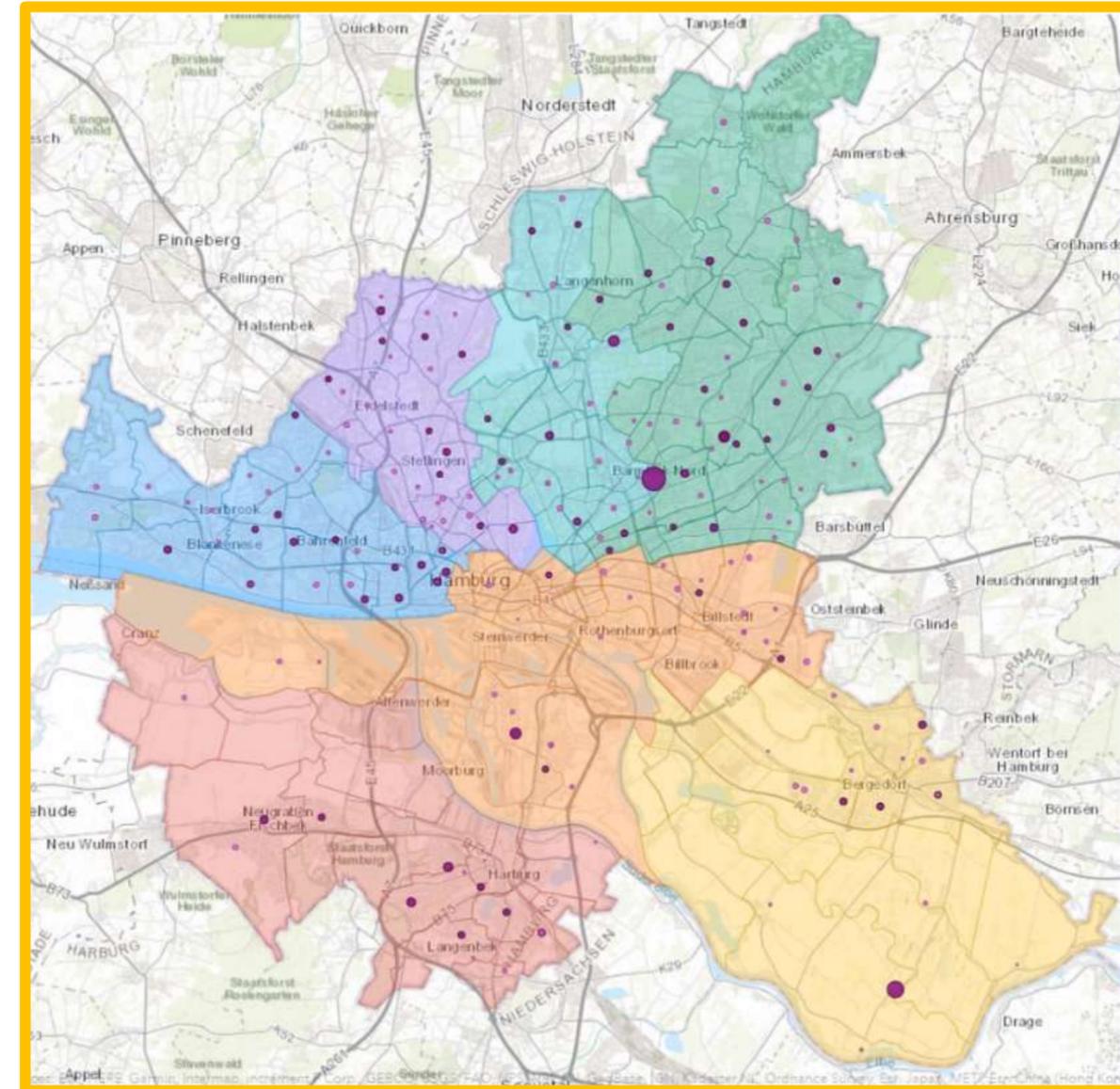
- Bedarfsgerechte minimale Schulweglänge, Wieviel Lehrer/Klassen an jeder Schule
- „Was Wäre Wenn“-Planspiele: Schulwegbegrenzung, Lehrerkapazitäten, Schulaus- und Neubau

Dimensionalität des Lösungsraumes in Hamburg

Menge der Wohnorte: $\{ID=1...w\}$



Menge der Schulen: $\{ID=w+1...18351\}$



Jeder einzelne der ~18 146 Erstklässler

hat eine Wahl von ~205 Schulen

$18\ 146 \times 205 = 3\ 719\ 930$ Schulwege sind theoretisch möglich

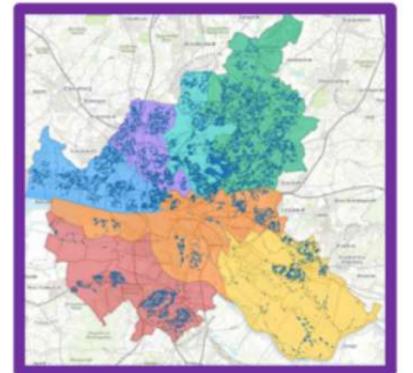
Wichtige Bestandteile des Optimierungsmodells

Datenaufbereitung Modelinput

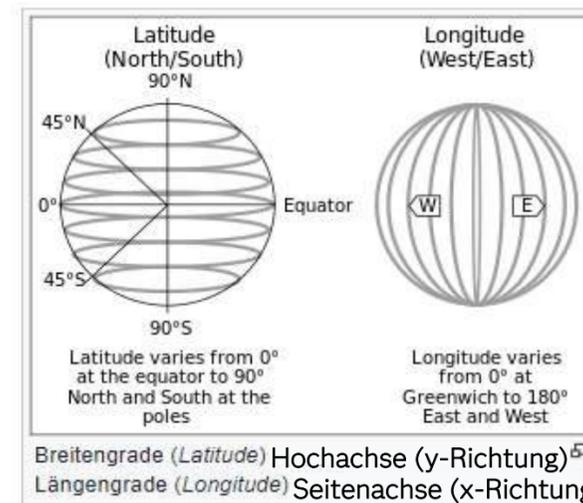
Wohnorte, Prognose, Geokoordinaten, Anzahl, päd. Bedarfe
Schulen, Geokoordinaten, Kapazitäten, päd. Angebote

	ID	Typ	N	Adresse
	13724	Wohnort	2	Hauskoppelstieg 12, 22111 Hamburg
	13725	Wohnort	1	Friedrichstraße 55, 20359 Hamburg
	13726	Wohnort	1	Oberschleems 9, 22117 Hamburg
	13727	Wohnort	1	Archenholzstraße 55, 22117 Hamburg
	13728	Wohnort	1	Sonnenland 27, 22115 Hamburg
	13729	Wohnort	1	Bonhoefferstraße 13, 22117 Hamburg
	13730	Wohnort	2	Mümmelmannsberg 54, 22115 Hamburg
	13731	Wohnort	1	Rahewinkel 9, 22115 Hamburg
	13732	Wohnort	1	Holmbrook 20, 22605 Hamburg
	13733	Wohnort	2	Kurze Straße 30, 20355 Hamburg
	13734	Schule	159	Fahrstraße 90, 21107 Hamburg
	13735	Schule	165	Rotenhäuser Damm 45, 21107 Hamburg
	13736	Schule	124	Perlstieg 1, 21107 Hamburg
	13737	Schule	103	Krieterstraße 2B, 21109 Hamburg
	13738	Schule	169	Krieterstraße 2a, 21109 Hamburg
	13739	Schule	145	Stockflethweg 160, 22417 Hamburg

SchülerInnen



Schulen



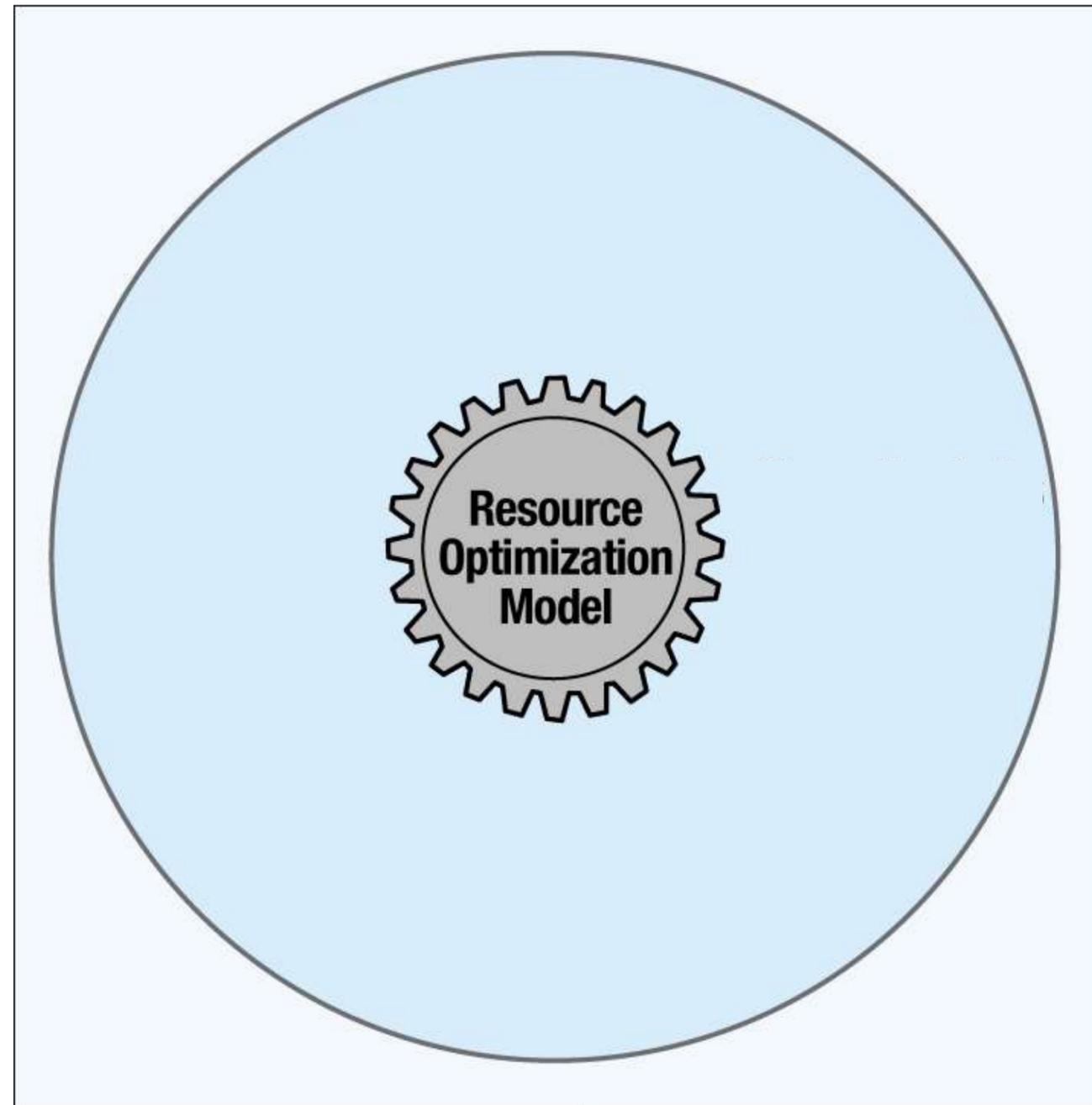
 **esri** Rest API Aufruf mit postalischer Adresse

GET [geocode-api.arcgis.com/arcgis/rest/services/World/GeocodeServer/findAddressCandidates?f=pjson&singleLine=Hauskoppelstieg 12,D-69115 Hamburg, DC&token=<ACCESS_TOKEN>](https://geocode-api.arcgis.com/arcgis/rest/services/World/GeocodeServer/findAddressCandidates?f=pjson&singleLine=Hauskoppelstieg%2012,D-69115%20Hamburg,DC&token=<ACCESS_TOKEN>) HTTP/1.1

Geo-Koordinaten: (y=Latitude, x=Longitude)



Wichtige Bestandteile des Optimierungsmodells

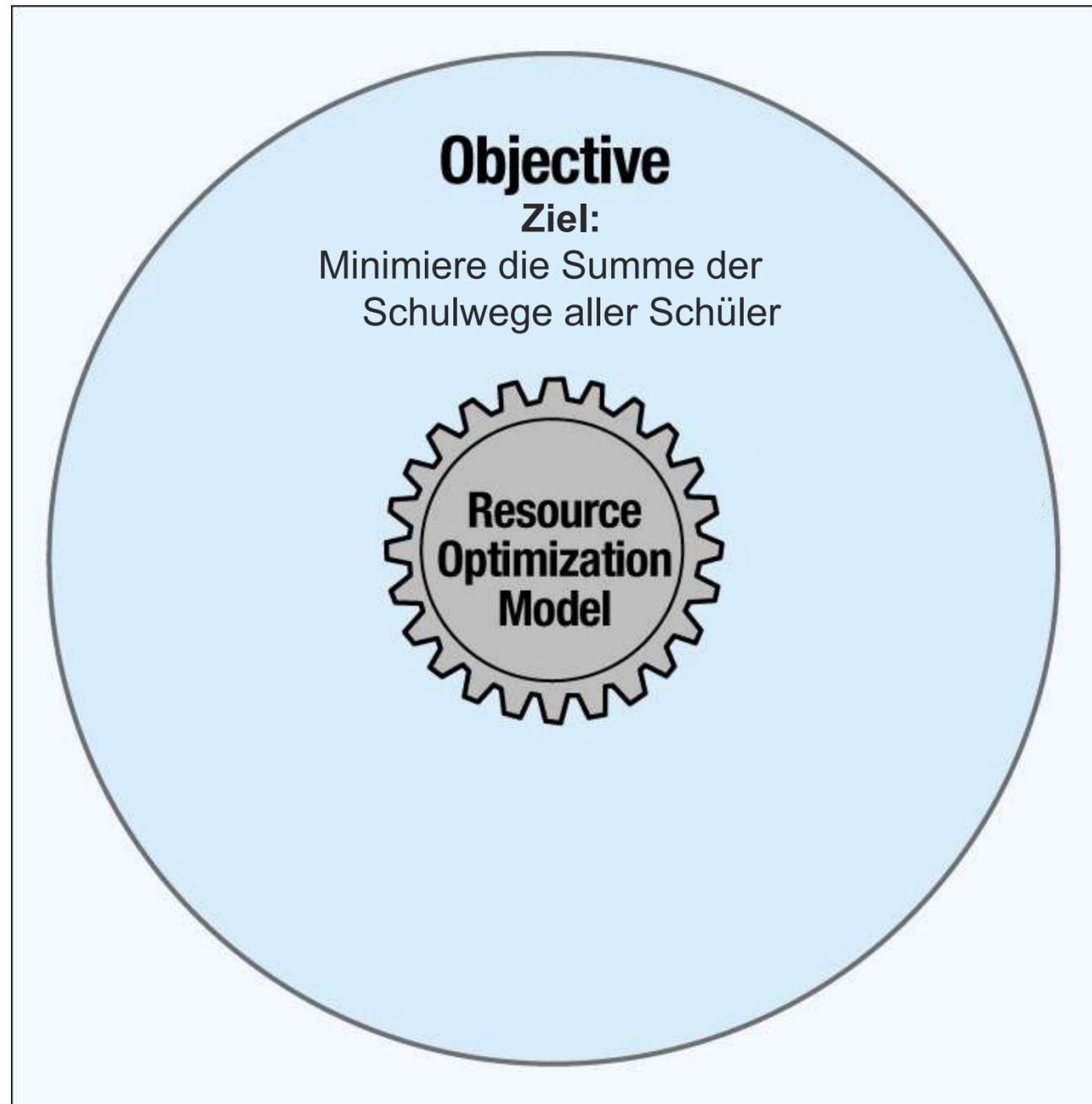


Datenaufbereitung Modelinput

Schulen, Geokoordinaten, Kapazitäten, päd. Angebote
Schüler, Prognose, Geokoordinaten, Anzahl, päd. Bedarfe

Die Daten aus den Inputtabellen erzeugen die Modelgleichungen

Wichtige Bestandteile des Optimierungsmodells

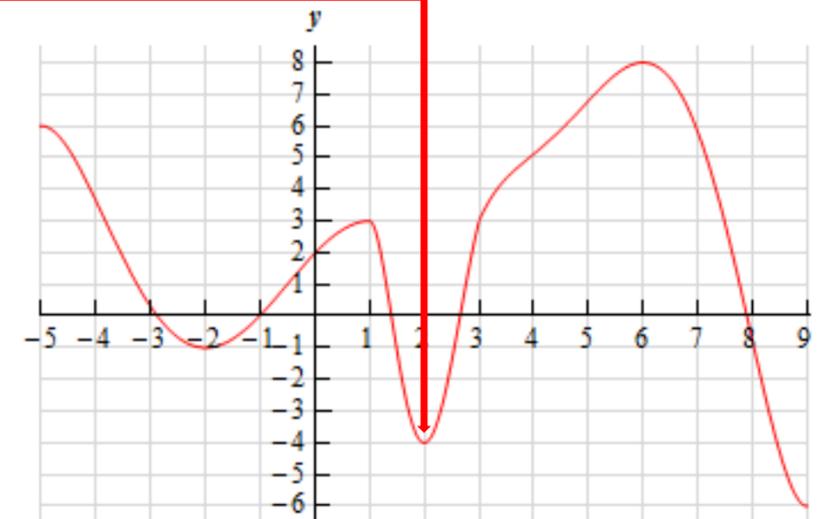


Datenaufbereitung Modelinput

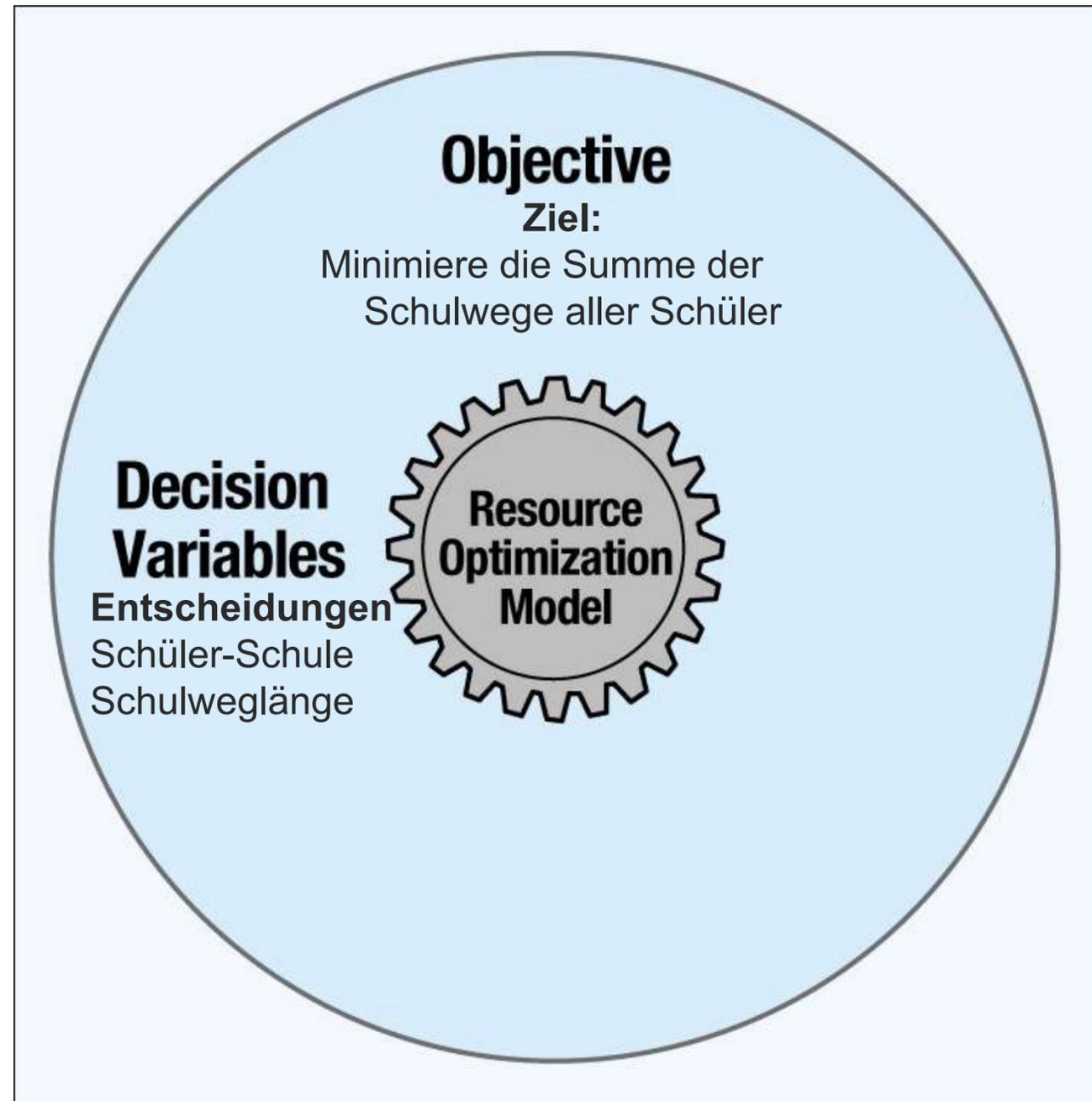
Schulen, Geokoordinaten, Kapazitäten, päd. Angebote
Schüler, Prognose, Geokoordinaten, Anzahl, päd. Bedarfe

Die Daten aus den Inputtabellen erzeugen die Modelgleichungen

$$\min \text{TotalDistanz} = \sum \{ \langle i, j \rangle \text{ in WEGE} \} \text{Distanz}[i, j] * \text{Personenfluss}[i, j];$$



Wichtige Bestandteile des Optimierungsmodells



Datenaufbereitung Modelinput

Schulen, Geokoordinaten, Kapazitäten, päd. Angebote
Schüler, Prognose, Geokoordinaten, Anzahl, päd. Bedarfe

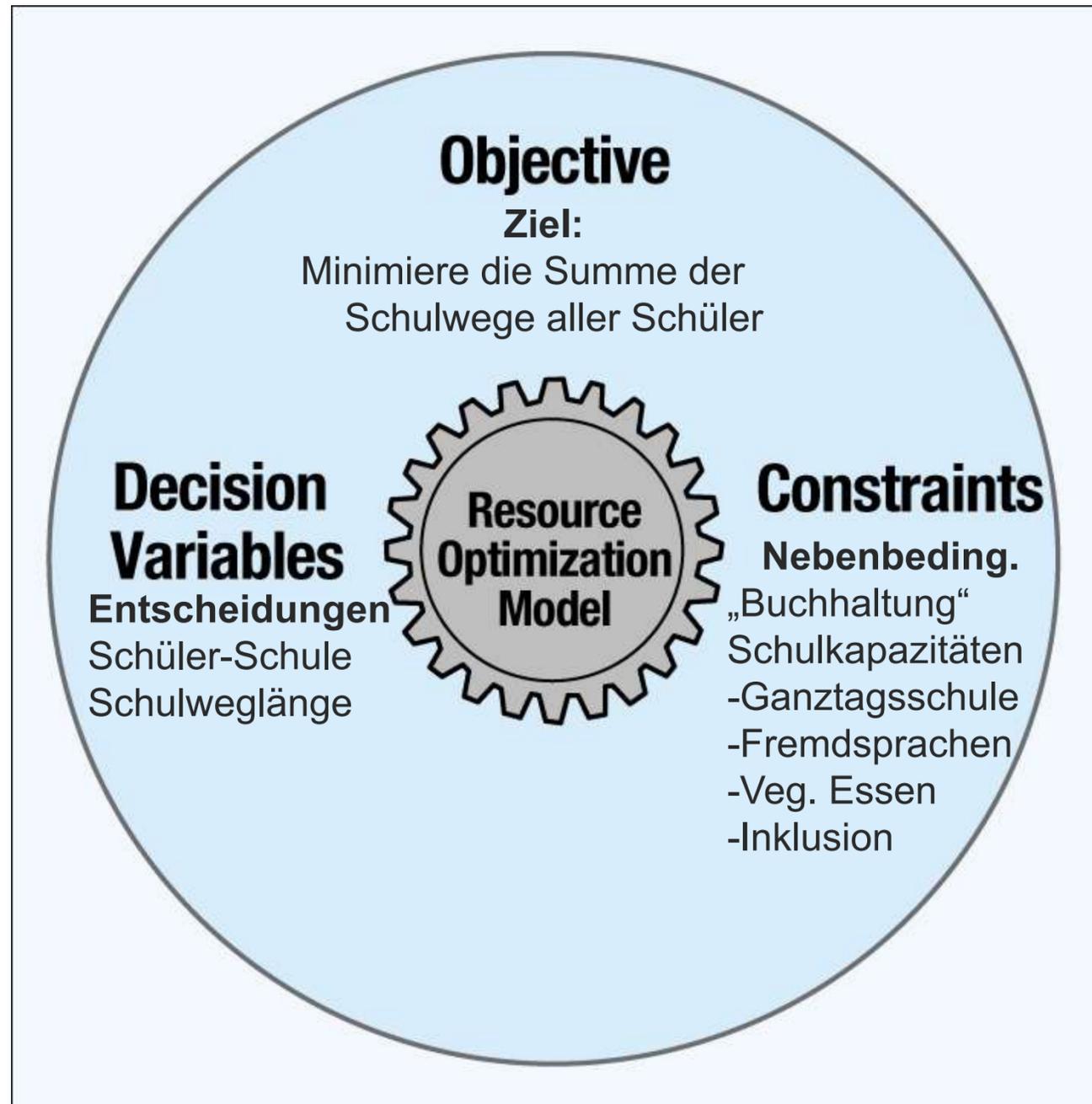
Die Daten aus den Inputtabellen erzeugen die Modelgleichungen

```
min TotalDistanz =  
  sum {<i,j> in WEGE}  
    Distanz[i,j] * Personenfluss[i,j];  
var Personenfluss {WEGE} >=0;
```

Verbindungen Wohnorte zu Schulen



Wichtige Bestandteile des Optimierungsmodells



Datenaufbereitung Modelinput

Schulen, Geokoordinaten, Kapazitäten, päd. Angebote
Schüler, Prognose, Geokoordinaten, Anzahl, päd. Bedarfe

Die Daten aus den Inputtabellen erzeugen die Modelgleichungen

```
min TotalDistanz =  
  sum {<i,j> in WEGE}  
    Distanz[i,j] * Personenfluss[i,j];  
var Personenfluss {WEGE} >=0;  
Con Schulpflicht{i in ORTE : i<%eval(&W.+1)}  
  Personenfluss[i,j] eq N[i];  
con Kapazitaet{j in ORTE : j>&W.}:  
  Personenfluss[i,j] <=N[j];
```



PROC Optmodel: „Algebraischen Modellierungssprache“:

Erzeugt mit 16 Zeilen Code 8 Mio. Modellgleichungen aus einer Input Tabelle

```
proc optmodel;
```

```
set ORTE;
```

```
num x {ORTE};
```

```
num y {ORTE};
```

```
num N {ORTE};
```

```
str Schul id {ORTE};
```

```
read data Optmodel input into ORTE=[ID] x y N Schul id;
```

```
set WEGE = {i in ORTE , j in ORTE: i<%eval(&W.+1) and j>&W.};
```

```
num Distanz {<i,j> in WEGE}=GEODIST(y[i], x[i], y[j], x[j], 'K');
```

```
var Personenfluss {WEGE} >=0;
```

```
min TotalDistanz = sum {<i,j> in WEGE} Distanz[i,j] * Personenfluss[i,j];
```

```
Con Schulpflicht{i in ORTE : i<%eval(&W.+1)}:
```

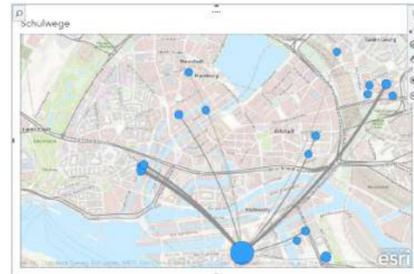
```
sum{j in ORTE : j>&W.} Personenfluss[i,j] eq N[i];
```

```
solve;
```

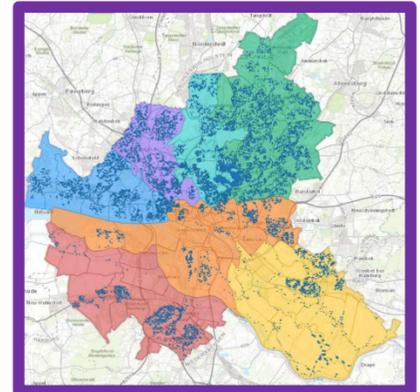
```
quit;
```

Bitte löse mir dieses Problem möglichst effizient!

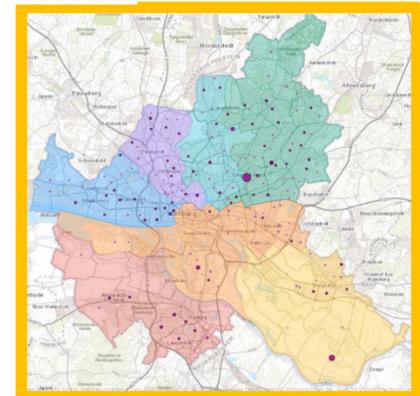
	ID	Typ	N	x	y
	13724	Wohnort	2	9.955459353	53.580358195
	13725	Wohnort	1	10.158834575	53.484167654
	13726	Wohnort	1	9.7589919223	53.580697765
	13727	Wohnort	1	10.004600211	53.581950478
	13728	Wohnort	1	10.170664761	53.515866744
	13729	Wohnort	1	10.072291301	53.651641897
	13730	Wohnort	2	10.141163318	53.537989363
	13731	Wohnort	1	10.050055725	53.572336802
	13732	Wohnort	1	10.116694131	53.645333364
W	13733	Wohnort	2	10.017750796	53.589900115
	13734	Schule	159	10.0475122	53.6324392
	13735	Schule	165	10.0695611	53.5874779
	13736	Schule	124	10.1397	53.52877
	13737	Schule	103	10.1538695	53.5277092
	13738	Schule	169	10.1084317	53.6012534
	13739	Schule	145	10.1084317	53.6012534



SchülerInnen



Schulen



Def: Logische Paare für mögl. Wege (von Wohnort i zu Schule j)

Def: Entscheidungsvariable flow: #Schüler entlang Schulweg

Optimierungsziel: Schulweg Minimierung

Nebenbedingung Schulpflicht: „Es darf keiner zuhause bleiben. Alle Schüler eines Wohnortes müssen in eine Schule gehen.“

SAS Funktion GEODIST zur Berechnung der Geodistanz (von Wohnort i zu Schule j) entlang der Wege

Summe über alle Wege bestehend aus Distanz * Schülerfluss entlang des Weges

Problem 1: 2,8 Mio. Variablen, 13T NB, 2,8 Mio. Koeffizienten

Nix zu optimieren hier: Lösung in 16 Sec.: Schulweg für alle Schüler 11 067 km.

```
5881 proc optmodel;
5882     set ORTE;
5883     num x {ORTE};
5884     num y {ORTE};
5885     num N {ORTE};
5886     str Schul_id {ORTE};
5887     read data Optmodel_input into ORTE=[ID] x y N Schul_id;
NOTE: There were 13912 observations read from the data set WORK.OPTMODEL_INPUT.
5888     set WEGE = {i in ORTE , j in ORTE: i<%eval(&W.+1) and j>&W.};
5889     num Distanz {<i,j> in WEGE}=GEODIST(y[i], x[i], y[j], x[j], 'K');
5890     var Personenfluss {WEGE} >=0;
5891     min TotalDistanz = sum {<i,j> in WEGE} Distanz[i,j] * Personenfluss[i,j];
5892     Con Schulpflicht{i in ORTE : i<%eval(&W.+1)}:
5893         sum{j in ORTE : j>&W.} Personenfluss[i,j] eq N[i];
5894 solve;
```

```
NOTE: Problem generation will use 4 threads.
NOTE: The problem has 2809935 variables (0 free, 0 fixed).
NOTE: The problem has 13707 linear constraints (0 LE, 13707 EQ, 0 GE, 0 range).
NOTE: The problem has 2809935 linear constraint coefficients.
NOTE: The problem has 0 nonlinear constraints (0 LE, 0 EQ, 0 GE, 0 range).
NOTE: The OPTMODEL presolver is disabled for linear problems.
NOTE: The problem is a pure network instance. The ALGORITHM=NETWORK option is recommended for
solving problems with this structure.
NOTE: The LP presolver value AUTOMATIC is applied.
NOTE: The LP presolver time is 1.15 seconds.
NOTE: The LP presolver removed all variables and constraints.
NOTE: Optimal.
NOTE: Objective = 11067.337587.
```

```
5895 Quit:
NOTE: PROCEDURE OPTMODEL used (Total process time):
real time          16.31 seconds
user cpu time      16.50 seconds
system cpu time    0.78 seconds
memory            2715017.40k
OS Memory          2765104.00k
Timestamp         11/13/2023 05:15:42 PM
Step Count        293 Switch Count 9
```

	ID	Typ	N	x	y
13724	13724	Wohnort	2	9.955459353	53.580358195
13725	13725	Wohnort	1	10.158834575	53.484167654
13726	13726	Wohnort	1	9.7589919223	53.580697765
13727	13727	Wohnort	1	10.004600211	53.581950478
13728	13728	Wohnort	1	10.170664761	53.515866744
13729	13729	Wohnort	1	10.072291301	53.651641897
13730	13730	Wohnort	2	10.141163318	53.537989363
13731	13731	Wohnort	1	10.050055725	53.572336802
13732	13732	Wohnort	1	10.116694131	53.645333364
13733	W 13733	Wohnort	2	10.017750796	53.589900115
13734	13734	Schule	159	10.0475122	53.6324392
13735	13735	Schule	165	10.0695611	53.5874779
13736	13736	Schule	124	10.1397	53.52877
13737	13737	Schule	103	10.1538695	53.5277092
13738	13738	Schule	169	10.1084317	53.6012534
13739	13739	Schule	145	10.1084317	53.6012534

Problem 2: Berücksichtigung Schulkapazitäten

Lösung in 34 Sec.: Minimaler summierter Schulweg für alle Schüler 15 829 km.

```
proc optmodel;
```

```
set ORTE;
```

```
num x {ORTE};
```

```
num y {ORTE};
```

```
num N {ORTE};
```

```
str Schul_id {ORTE};
```

```
read data Optmodel_input into ORTE=[ID] x y N Schul_id;
```

```
set WEGE = {i in ORTE , j in ORTE: i<%eval(&W.+1) and j>&W.};
```

```
num Distanz {<i,j> in WEGE}=GEODIST(y[i], x[i], y[j], x[j], 'K');
```

```
var Personenfluss {WEGE} >=0;
```

```
min TotalDistanz = sum {<i,j> in WEGE} Distanz[i,j] * Personenfluss[i,j];
```

```
con Kapazitaet{j in ORTE : j>&W.}: Die Summe der Schüler pro Schule darf die Gesamtkapazität einer Schule nicht überschreiten
```

```
sum{i in ORTE : i<%eval(&W.+1)} Personenfluss[i,j] <=N[j];
```

```
Con Schulpflicht{i in ORTE : i<%eval(&W.+1)}:
```

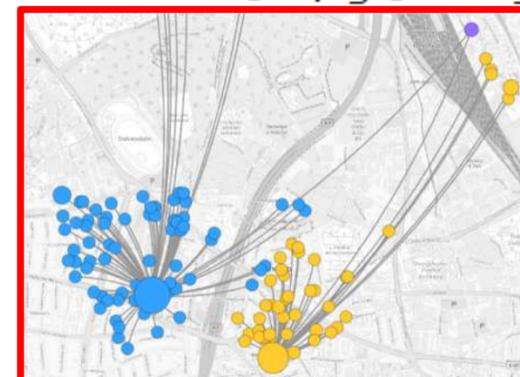
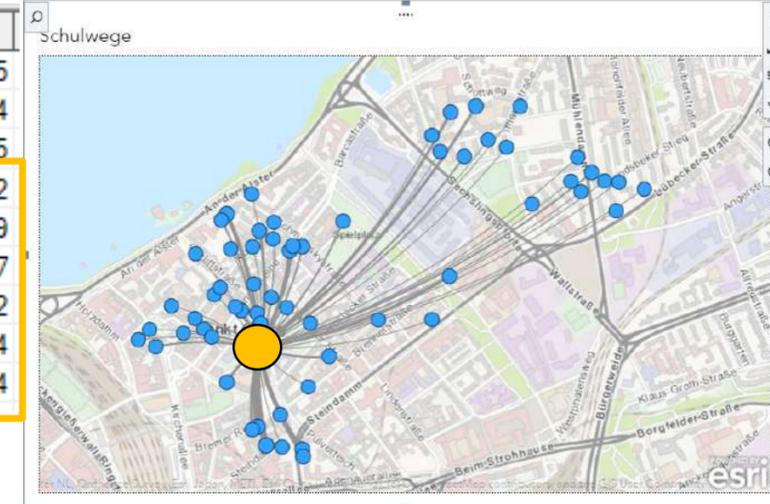
```
sum{j in ORTE : j>&W.} Personenfluss[i,j] eq N[i];
```

```
solve;
```

```
Quit;
```

```
NOTE: Optimal.  
NOTE: Objective = 15829.697431.  
NOTE: The Dual Simplex solve time is 18.99 seconds.  
5934 Quit;  
NOTE: PROCEDURE OPTMODEL used (Total process time):  
real time          35.22 seconds  
user cpu time      35.64 seconds  
system cpu time    1.03 seconds  
memory             2719984.28k  
OS Memory          2782156.00k  
Timestamp          11/13/2023 05:30:26 PM  
Step Count         295 Switch Count 152
```

	ID	Typ	N	x	y
13724	13724	Wohnort	2	9.955459353	53.580358195
13725	13725	Wohnort	1	10.158834575	53.484167654
13726	13726	Wohnort	1	9.7589919223	53.580697765
13734	13734	Schule	159	10.0475122	53.6324392
13735	13735	Schule	165	10.0695611	53.5874779
13736	13736	Schule	124	10.1397	53.52877
13737	13737	Schule	103	10.1538695	53.5277092
13738	13738	Schule	169	10.1084317	53.6012534
13739	13739	Schule	145	10.1084317	53.6012534



Model Kern (Pflicht)

6 Zeilen Code

```
proc optmodel;
  set ORTE;
  num x {ORTE};
  num y {ORTE};
  num N {ORTE};
  str Schul_id {ORTE};
  read data Optmodel_input into ORTE=[ID] x y N Schul_id;
  set WEGE = {i in ORTE , j in ORTE: i<%eval(&W.+1) and j>&W.};
  num Distanz {<i,j> in WEGE}=GEODIST(y[i], x[i], y[j], x[j], 'K');
  var Personenfluss {WEGE} >=0;
  min TotalDistanz = sum {<i,j> in WEGE} Distanz[i,j] * Personenfluss[i,j];
  con Kapazitaet{j in ORTE : j>&W.}:
    sum{i in ORTE : i<%eval(&W.+1)} Personenfluss[i,j] <=N[j];
  Con Schulpflicht{i in ORTE : i<%eval(&W.+1)}:
    sum{j in ORTE : j>&W.} Personenfluss[i,j] eq N[i];
  solve;
quit;
```

	ID	Typ	N	x	y
	13724	Wohnort	2	9.955459353	53.580358195
	13725	Wohnort	1	10.158834575	53.484167654
	13726	Wohnort	1	9.7589919223	53.580697765
	13727	Wohnort	1	10.004600211	53.581950478
	13728	Wohnort	1	10.170664761	53.515866744
	13729	Wohnort	1	10.072291301	53.651641897
	13730	Wohnort	2	10.141163318	53.537989363
	13731	Wohnort	1	10.050055725	53.572336802
	13732	Wohnort	1	10.116694131	53.645333364
W	13733	Wohnort	2	10.017750796	53.589900115
	13734	Schule	159	10.0475122	53.6324392
	13735	Schule	165	10.0695611	53.5874779
	13736	Schule	124	10.1397	53.52877
	13737	Schule	103	10.1538695	53.5277092
	13738	Schule	169	10.1084317	53.6012534
	13739	Schule	145	10.1084317	53.6012534



Model-Ausbau (Kür):

Inklusion + Ganztagsbetreuung + Fremdsprachenunterricht (9) + Mittagessen

proc optmodel;

```

set NODES;
num x {NODES};
num y {NODES};
num N {NODES};
num Inklusion {NODES};
num GTS {NODES};
num FS_EN {NODES};
num FS_FR {NODES};
num FS_ES {NODES};
num FS_PT {NODES};
num FS_IT {NODES};
num FS_CN {NODES};
num FS_TR {NODES};
num FS_AR {NODES};
num FS_IR {NODES};

```

```

str Schul_id {NODES};
read data Optmodel_input (firstobs=4) into NODES=(ID| x | y | N | Schul_id | Inklusion | GTS |

```

```

FS_EN | FS_FR | FS_ES | FS_PT | FS_IT |
FS_AR | FS_CN | FS_TR | FS_IR;

```

```

set EDGES = {i in NODES , j in NODES: i<&eval(&W.+1) and j>&W.};
num distance {<i,j> in EDGES}=GEODIST(y[i], x[i], y[j], x[j], 'K');

```

```

var flow {EDGES} >=0;
min TotalDistance = sum {<i,j> in EDGES} distance[i,j] * flow[i,j];
con Kapazitaet{j in nodes : j>&W.}:
sum{i in nodes : i<&eval(&W.+1)} flow[i,j] <=N[j];
con Schulpflicht{i in nodes : i<&eval(&W.+1)}:
sum{j in nodes : j>&W.} flow[i,j] eq N[i];

```

```

con NB_Inklusion{<i,j> in EDGES}:
(Inklusion[i] - Inklusion[j])*Flow[i,j] <=0;
con NB_GTS{<i,j> in EDGES}:
(GTS[i] - GTS[j])*Flow[i,j] <=0;
con NB_FS_EN{<i,j> in EDGES}:
(FS_EN[i] - FS_EN[j])*Flow[i,j] <=0;
con NB_FS_FR{<i,j> in EDGES}:
(FS_FR[i] - FS_FR[j])*Flow[i,j] <=0;
con NB_FS_ES{<i,j> in EDGES}:
(FS_ES[i] - FS_ES[j])*Flow[i,j] <=0;
con NB_FS_PT{<i,j> in EDGES}:
(FS_PT[i] - FS_PT[j])*Flow[i,j] <=0;
con NB_FS_IT{<i,j> in EDGES}:
(FS_IT[i] - FS_IT[j])*Flow[i,j] <=0;
con NB_FS_AR{<i,j> in EDGES}:
(FS_AR[i] - FS_AR[j])*Flow[i,j] <=0;
con NB_FS_CN{<i,j> in EDGES}:
(FS_CN[i] - FS_CN[j])*Flow[i,j] <=0;
con NB_FS_TR{<i,j> in EDGES}:
(FS_TR[i] - FS_TR[j])*Flow[i,j] <=0;
con NB_FS_IR{<i,j> in EDGES}:
(FS_IR[i] - FS_IR[j])*Flow[i,j] <=0;

```

solve;

quit;

ID	Typ	N	x	y	Inklusion	GTS	Essen_Veg	FS_EN	FS_FR	FS_ES	FS_IT	FS_PT	FS_TR	FS_IR	FS_AR	FS_CN
13724	13724 Wohnort	2	9.955459353	53.580358195	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
13725	13725 Wohnort	1	10.158834575	53.484167654	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13726	13726 Wohnort	1	9.7589919223	53.580697765	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
13727	13727 Wohnort	1	10.004600211	53.581950478	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
13728	13728 Wohnort	1	10.170664761	53.515866744	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
13729	13729 Wohnort	1	10.072291301	53.651641897	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13730	13730 Wohnort	2	10.141163318	53.537989363	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
13731	13731 Wohnort	1	10.050055725	53.572336802	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
13732	13732 Wohnort	1	10.116694131	53.645333364	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13733	13733 Wohnort	2	10.017750796	53.589900115	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
13734	13734 Schule	159	10.0475122	53.6324392	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
13735	13735 Schule	165	10.0695611	53.5874779	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
13736	13736 Schule	124	10.1397	53.52877	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13737	13737 Schule	103	10.1538695	53.5277092	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13738	13738 Schule	169	10.1084317	53.6012534	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
13739	13739 Schule	145	10.1084317	53.6012534	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0

Model Kern (Pflicht)

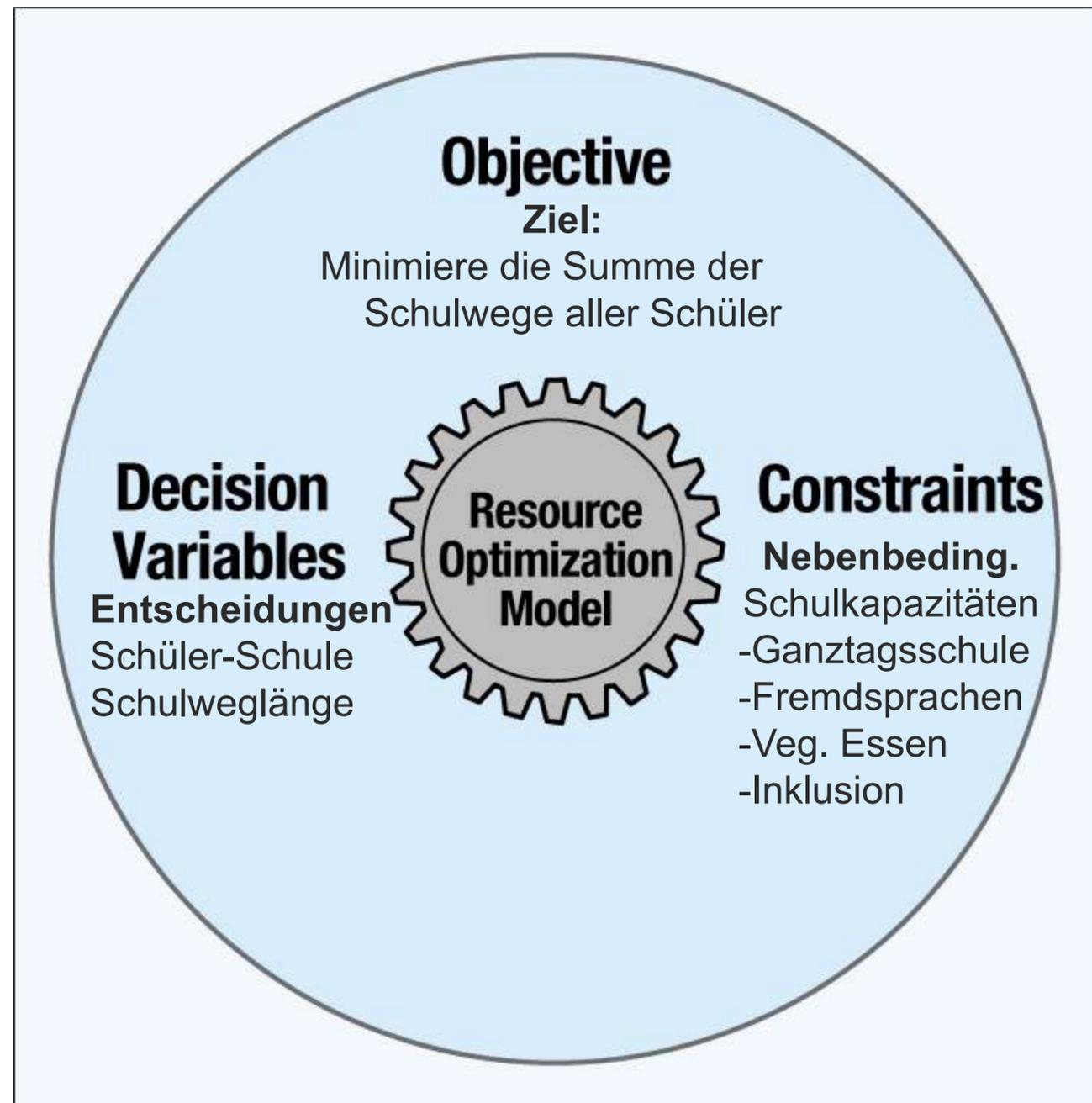
Model Ausbaustufe (Kür)

Model Kern (Pflicht)

Model Ausbaustufe (Kür)



Wichtige Bestandteile des Optimierungsmodells



Datenaufbereitung Modelinput

Schulen, Geokoordinaten, Kapazitäten, päd. Angebote
Schüler, Prognose, Geokoordinaten, Anzahl, päd. Bedarfe

Die Daten aus den Inputtabellen erzeugen die Modelgleichungen

Output

Zuordnung der Schüler auf die Schulen
Detaillierter Schulweg für jeden Schüler
Zuordnung der Lehrer auf die Schulen

Sind die Nebenbedingungen machbar (Schlupf)?

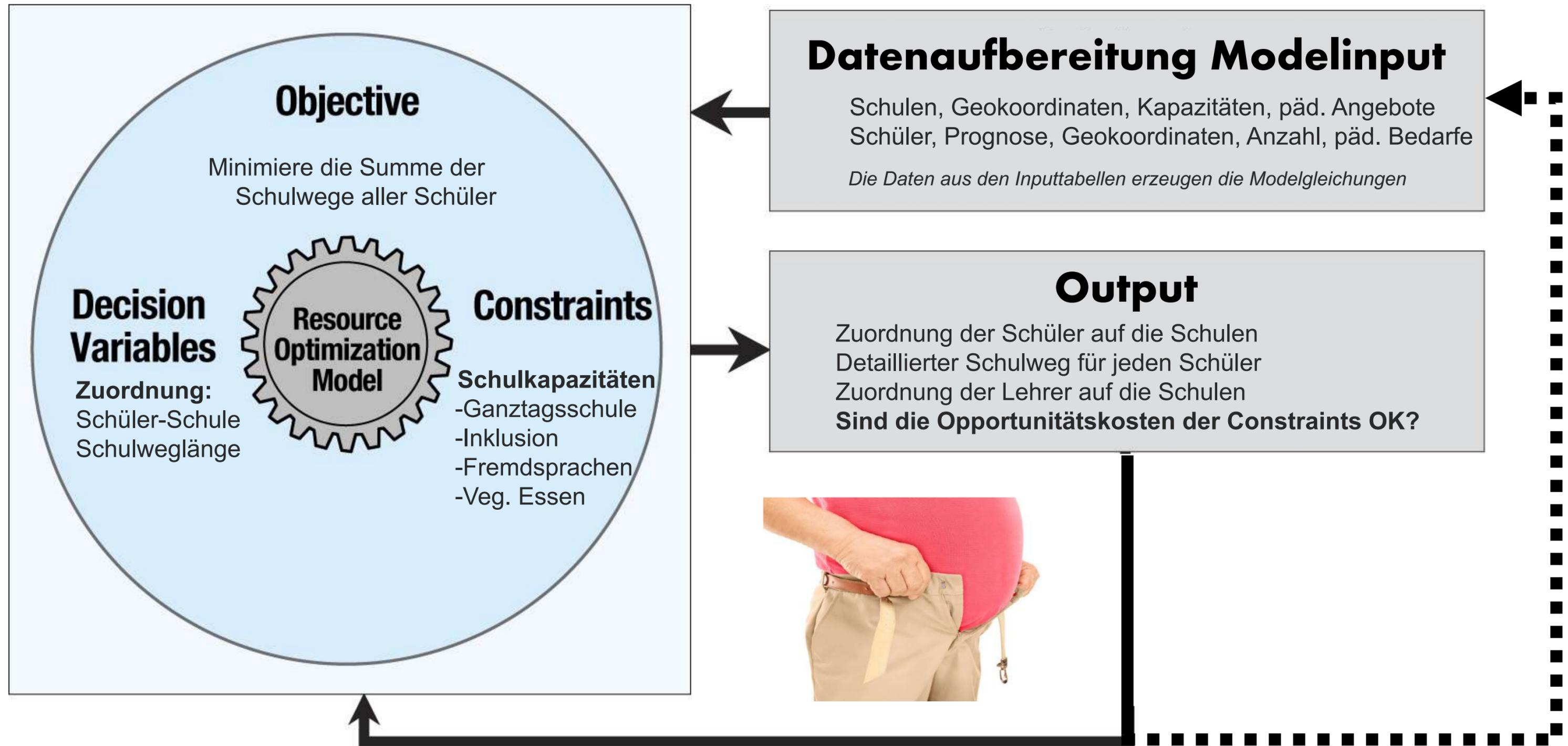
NOTE: Constraint Schulpflicht[5] causes the problem to be infeasible.

Schlupf: die singuläre Passgröße einer jeden Nebenbedingung
(notwendige aber nicht hinreichende Bedingung)

Nebenbedingung	Angebot N	Nachfrage N	Schlupf N	Angebot %	Nachfrage %	Schlupf %
Essen_Veg	960	183	777	4.5%	0.9%	3.6%
FS_AR	277	69	208	1.3%	0.3%	1.0%
FS_CN	277	69	208	1.3%	0.3%	1.0%
FS_EN	21148	17809	3339	100%	89%	11.4%
FS_ES	1081	358	723	5.1%	1.8%	3.3%
FS_FR	1440	501	939	6.8%	2.5%	4.3%
FS_IR	185	46	139	0.9%	0.2%	0.6%
FS_IT	144	72	72	0.7%	0.4%	0.3%
FS_PO	311	120	191	1.5%	0.6%	0.9%
FS_PT	115	38	77	0.5%	0.2%	0.4%
FS_RU	299	99	200	1.4%	0.5%	0.9%
FS_TR	2029	909	1120	9.6%	4.5%	5.1%
GTS	5497	3573	1924	26%	18%	8.2%
Inklusion	4190	525	3665	20%	2.6%	17.2%
Kapazität	21148	20090	1058	100%	95%	5.0%



Wichtige Bestandteile des Optimierungsmodells



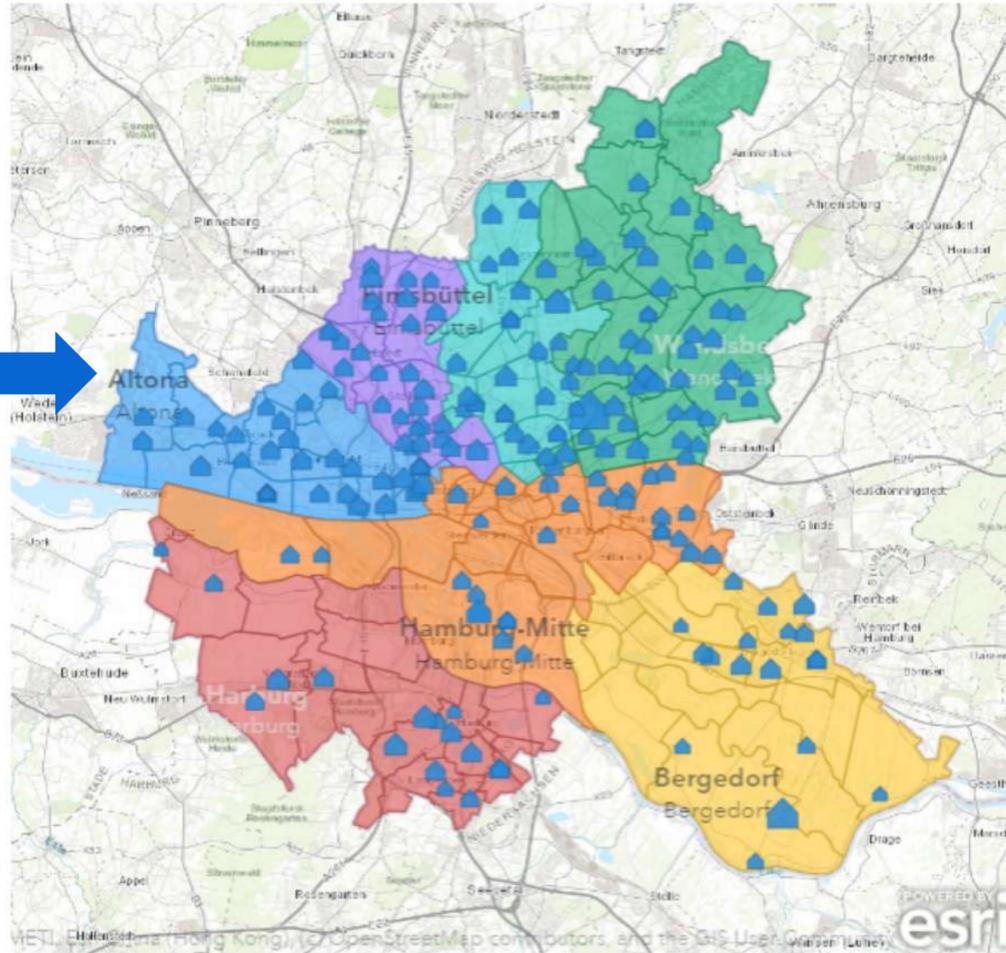
Nebenbedingungen zu eng oder Opportunitätskosten nicht akzeptabel?

Modifikation der Kapazitäten (Lehrer, Klassenräume, Schulgebäude, pädag. Angebote)

Übersicht : Optimierung

- Altona 33
- Bergedorf 18
- Eimsbüttel 29
- Hamburg-Mitte 29
- Hamburg-Nord 26
- Harburg 17
- Wandsbek 53

Übersicht Schulen



GTS teilweise gebunden (25)
GTS voll gebunden (26)
offen (154)

Anzahl Schüler der 1 Kl. in der Wohnadresse

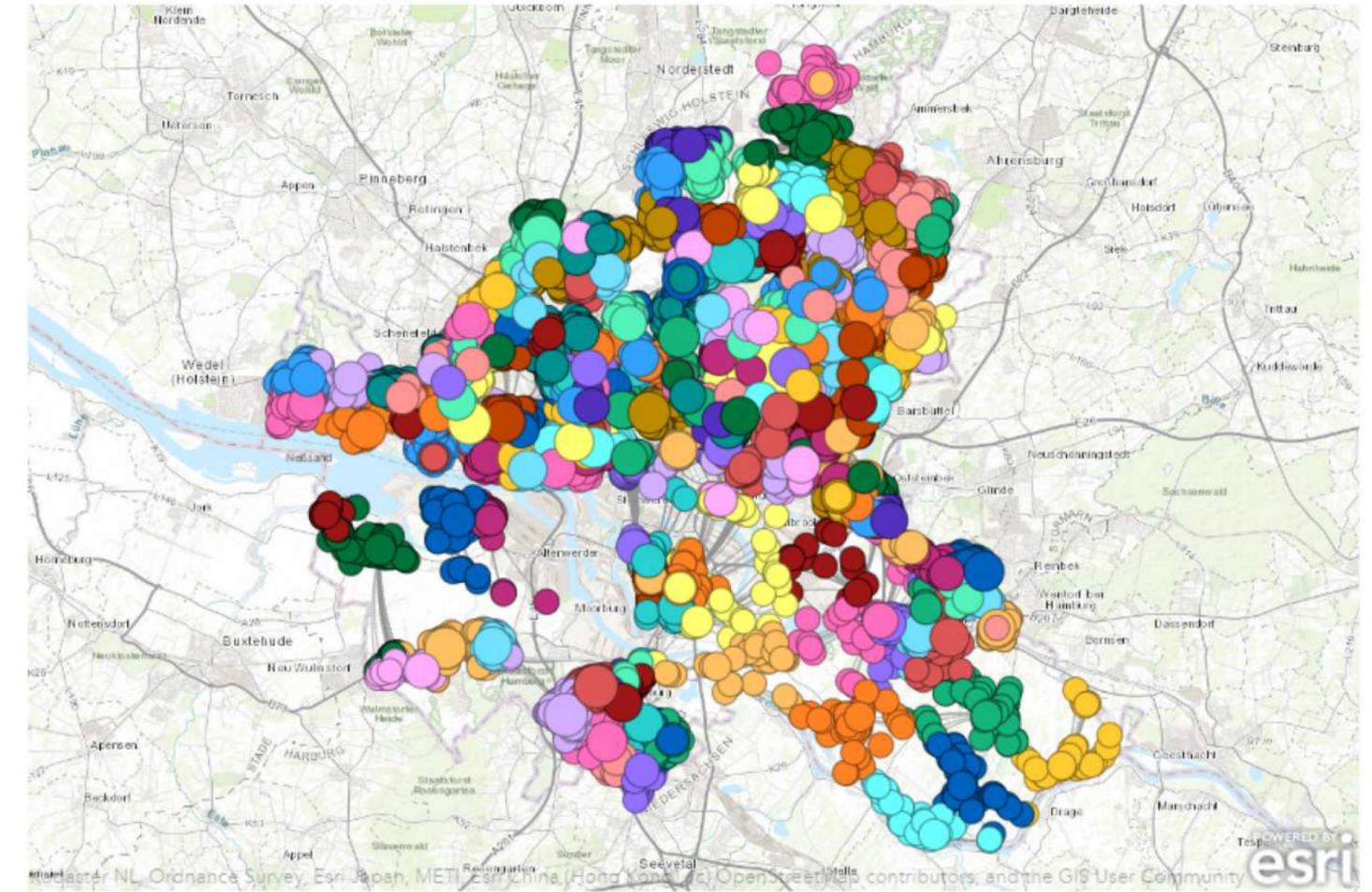
18.250

=> Optimierung

Überblick Schulen

Schulname	Schul-ID	Aufnahmekapazität für Schüler der 1 Kl. in der Schule
Adolph-Diesterweg-Schule	5616-0	94
Adolph-Schönfelder-Schule	5430-0	72
Adolph-Schönfelder-Schule	5430-1	82
Albert-Schweitzer-Schule	5053-0	188
Anton-Rée-Schule Allermöhe	5603-0	122
Aueschule Finkenwerder	5100-0	54

Schulwege

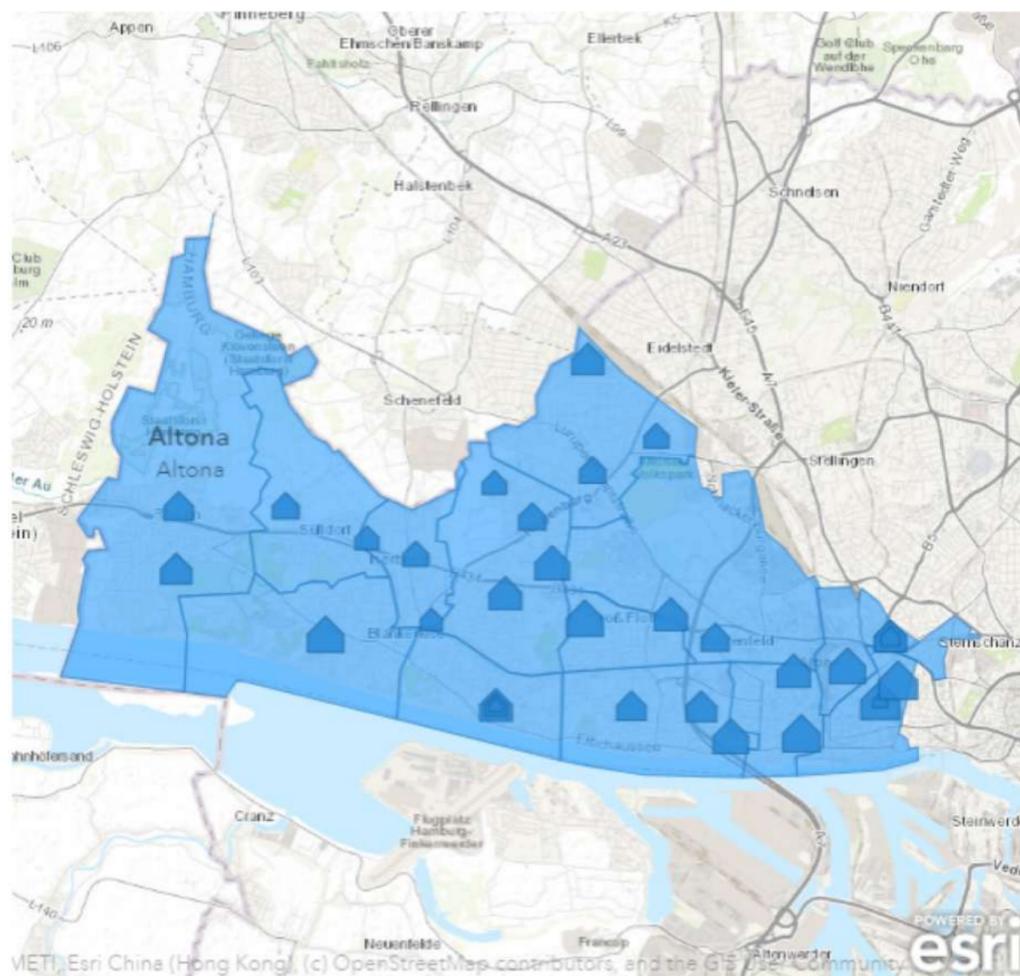


Details (Schulen & Wohnorte)

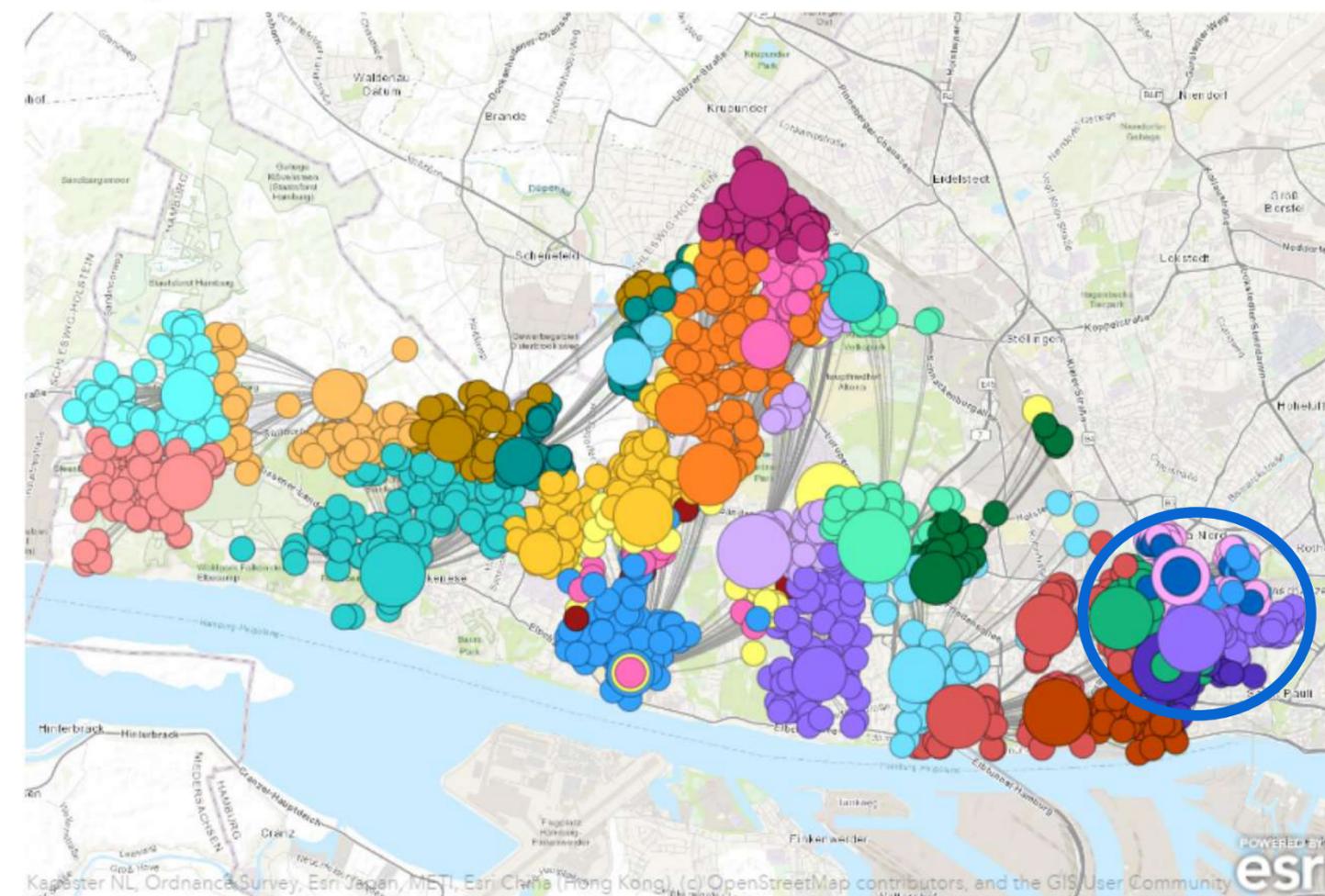
Schulname	ID der Wohnadresse	Anzahl Schüler der 1 Kl. in der Wohnadresse	Individueller Schulweg Wohnort/Schule
		18.250	9.457,8
Adolph-Diesterweg-Schule	244	1	0,2
Adolph-Diesterweg-Schule	11086	1	0,2
Adolph-Diesterweg-Schule	4677	1	3,0
Adolph-Diesterweg-Schule	10810	1	3,1

- Altona 33
- Bergedorf 18
- Eimsbüttel 29
- Hamburg-Mitte 29
- Hamburg-Nord 26
- Harburg 17
- Wandsbek 53

Übersicht Schulen



Schulwege



GTS teilweise gebunden (6)

GTS voll gebunden (6)

offen (21)

Anzahl Schüler der 1 Kl. in der Wohnadresse
2.992

=> Optimierung

Überblick Schulen

Schulname	Schul-ID	Aufnahmekapazität für Schüler der 1 Kl. in der Schule
Elbkinder Grundschule	5158-0	58
Fridtjof-Nansen-Schule	5264-2	18
Fridtjof-Nansen-Schule	5264-0	107
Fridtjof-Nansen-Schule	5264-1	57
Ganztagsgrundschule Sternschanze	5167-1	44
Ganztagsgrundschule Sternschanze	5167-0	104

Details (Schulen & Wohnorte)

Schulname	ID der Wohnadresse	Anzahl Schüler der 1 Kl. in der Wohnadresse	Individueller Schulweg Wohnort/Schule	An...
		2.992	1.603,0	
Elbkinder Grundschule	5848	1	0,3	
Elbkinder Grundschule	9205	2	1,2	
Elbkinder Grundschule	2118	1	0,4	
Elbkinder Grundschule	402	1	0,9	

Filters: Altona x Schul-ID (7) x

Mehr Schüler an Adresse als Schulweg

0 1

Altona

Auswahl Schulen

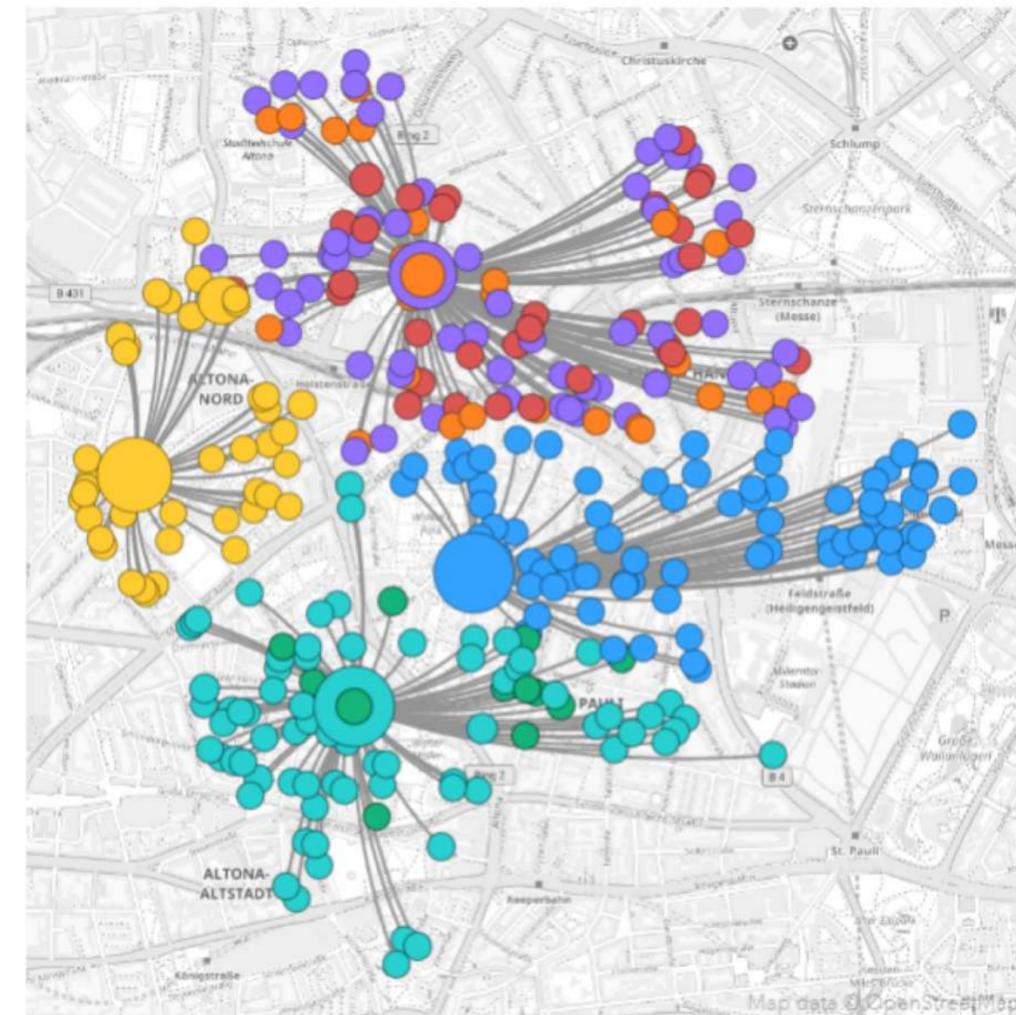
Enter ID der Wohnadresse...

Enter Schulname...



Schulname	ID der Wohnadresse	Individueller Schulweg Wohnort/Schule	Aufnahmekapazität für Schüler der 1 Kl. in der Schule	Geplante optimierte Schulbelegung	OPP-Kosten (in km Schulweg) für eine Kapazitätserwei...	Anzahl Schüler der 1 Kl. in der Wohnadresse	Anzahl Schüler entlang eines Schulwegs	Bezirk	Sc
Theodor-Haubach-Schule	9981	0,5	122	122	-3,3	53	53	Altona	52
Grundschule Arnkielstraße	10610	0,3	100	100	-3,4	16	16	Altona	51
Louise Schroeder Schule	4917	0,3	136	136	-3,2	10	10	Altona	52
Theodor-Haubach-Schule	2980	0,4	122	122	-3,3	7	7	Altona	52
Louise Schroeder Schule	7683	0,3	136	136	-3,2	7	7	Altona	52
Louise Schroeder Schule	8349	0,4	136	136	-3,2	7	7	Altona	52
Theodor-Haubach-Schule	2576	0,5	122	122	-3,3	6	6	Altona	52
Grundschule Arnkielstraße	3735	0,2	100	100	-3,4	6	6	Altona	51
Grundschule Thadenstraße	4224	0,8	135	135	-3,5	6	6	Altona	52
Louise Schroeder Schule	5121	0,2	136	136	-3,2	6	6	Altona	52
Ganztagsgrundschule Sternsc...	5257	1,0	44	44	-3,4	6	6	Altona	51
Grundschule Arnkielstraße	1109	0,3	100	100	-3,4	5	5	Altona	51
Theodor-Haubach-Schule	1189	0,4	122	122	-3,3	5	5	Altona	52
Ganztagsgrundschule Sternsc...	1996	0,9	104	104	-3,4	5	5	Altona	51
Louise Schroeder Schule	2885	0,3	136	136	-3,2	5	5	Altona	52
Ganztagschule an der Elbe	3844	0,5	23	23	-3,2	5	5	Altona	52
Ganztagsgrundschule Sternsc...	4667	1,0	104	104	-3,4	5	5	Altona	51
Ganztagsgrundschule Sternsc...	8906	0,4	104	104	-3,4	5	5	Altona	51
Sum:		161,8	Average: 112	Sum: 37114	Sum: -1.109,7	Sum: 670	Sum: 664		

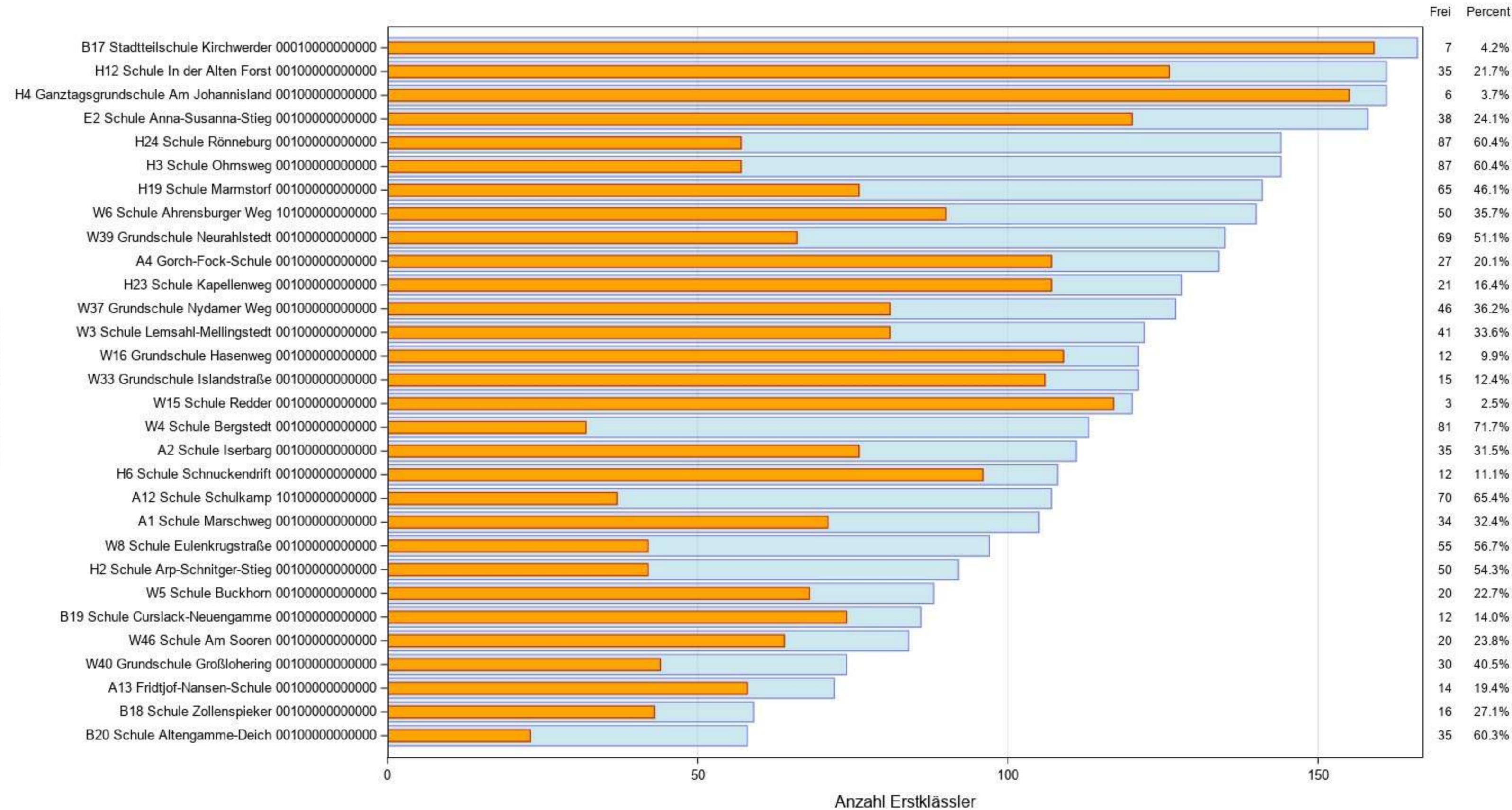
Network of Wohnadresse Geo



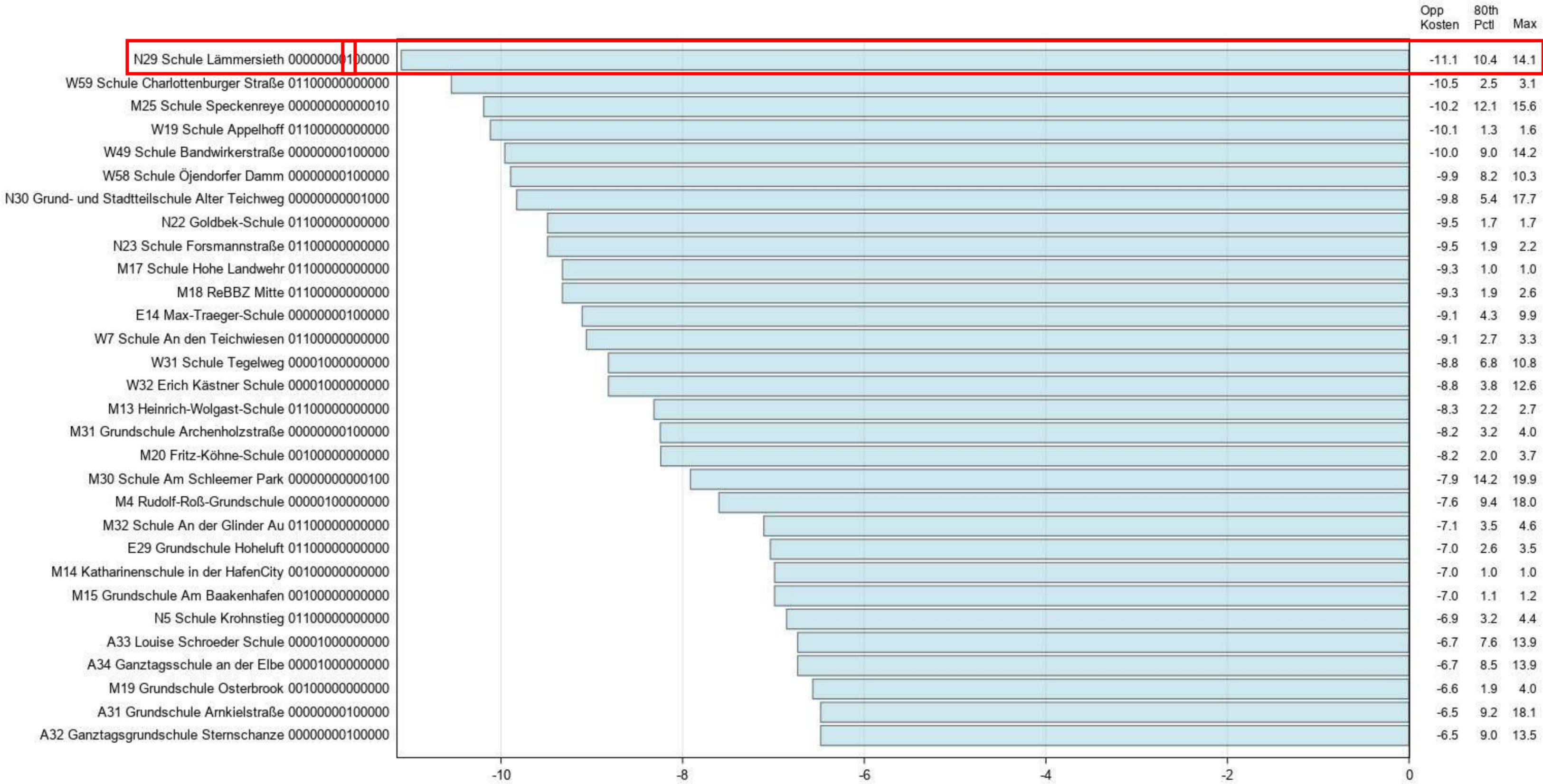
=> ESRI Optimierung

Schulenauslastung und freie Kapazitäten

Schule und Angebote



Opportunitätskosten bzw Schattenpreis einer Kapazitätserweiterung



Summarische Schulwegreduktion in km durch Kapazitätserweiterung um einen Schüler

Übersicht : Optimierung +

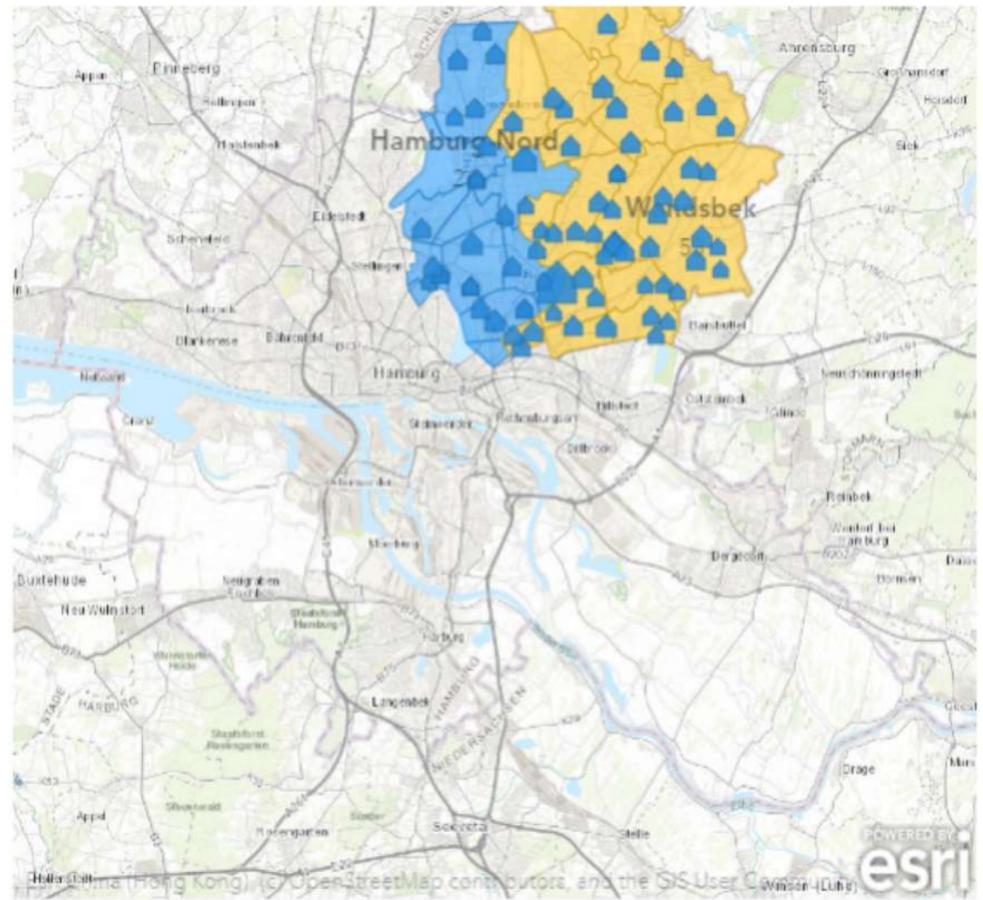
- Altona 33
- Bergedorf 18
- Eimsbüttel 29
- Hamburg-Mitte 29
- Hamburg-Nord 26
- Harburg 17
- Wandsbek 53

GTS teilweise gebunden (6)
 GTS voll gebunden (5)
 offen (68)

Anzahl Schüler der 1 Kl. in der Wohnadresse (1)
7558

Anzahl Schüler entlang eines Schulwegs
7367

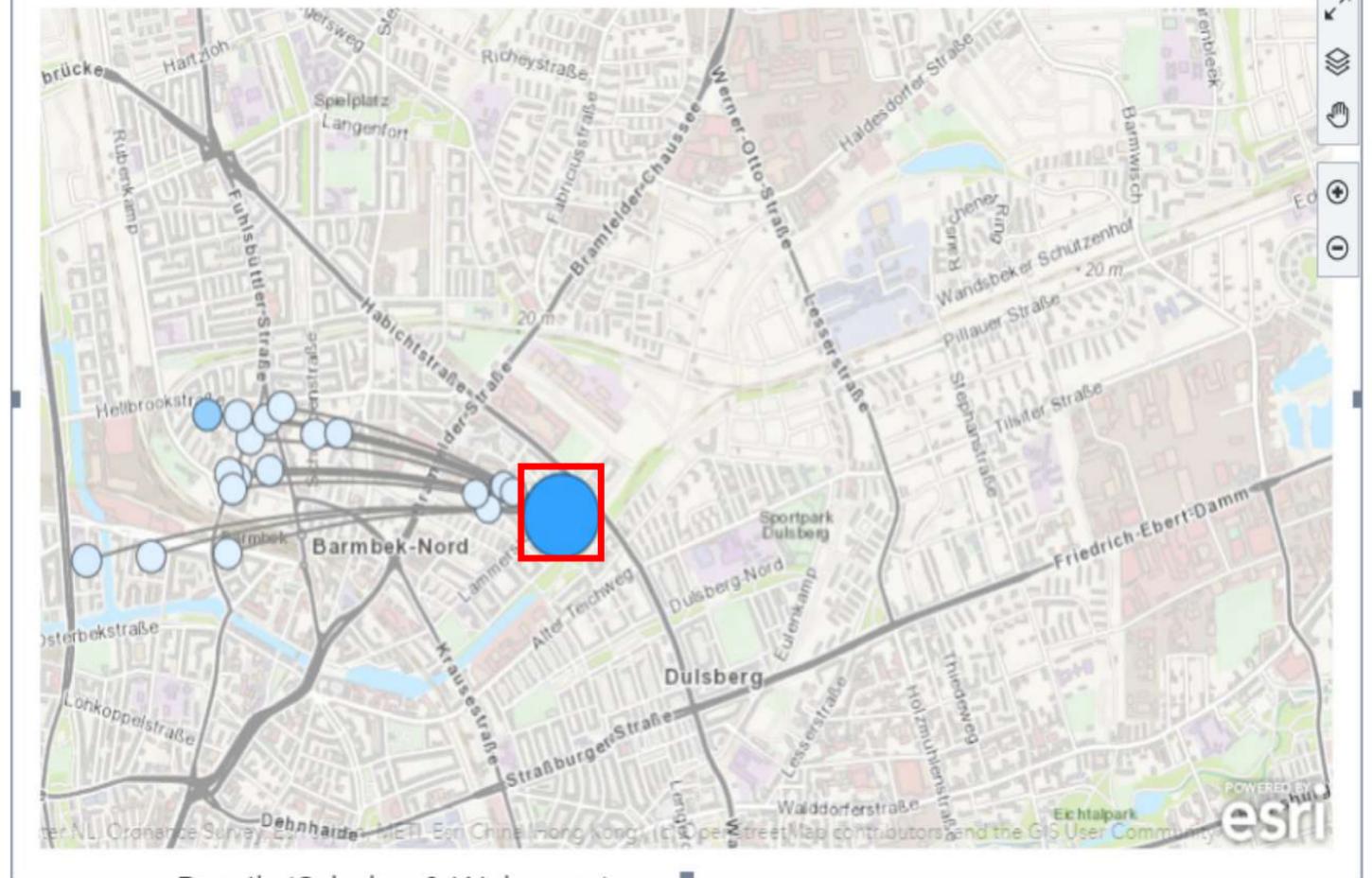
Übersicht Schulen



Überblick Schulen

schulname	String-ID der Schule	Aufnahmekapazität für Schüler der 1 Kl.
Schule Lämmersieth	5439-0	47
Schule Lemsahl-Mellingstedt	5535-0	99
Schule Müssenredder	5537-0	116
Schule Neubergerweg	5472-0	107

Schulwege



Details (Schulen & Wohnorte)

schulname	ID der Wohnadresse	Individueller Schulweg Wohnort...	Anzahl Schüler der 1 Kl. in der Wohnadr...	Anzahl entlang eir
Schule Lämmersieth		18,0	47	
Schule Lämmersieth	1099	1,2	1	
Schule Lämmersieth	1754	1,2	1	
Schule Lämmersieth	2182	1,2	1	
Schule Lämmersieth	3086	1,2	1	

Übersicht : Optimierung +

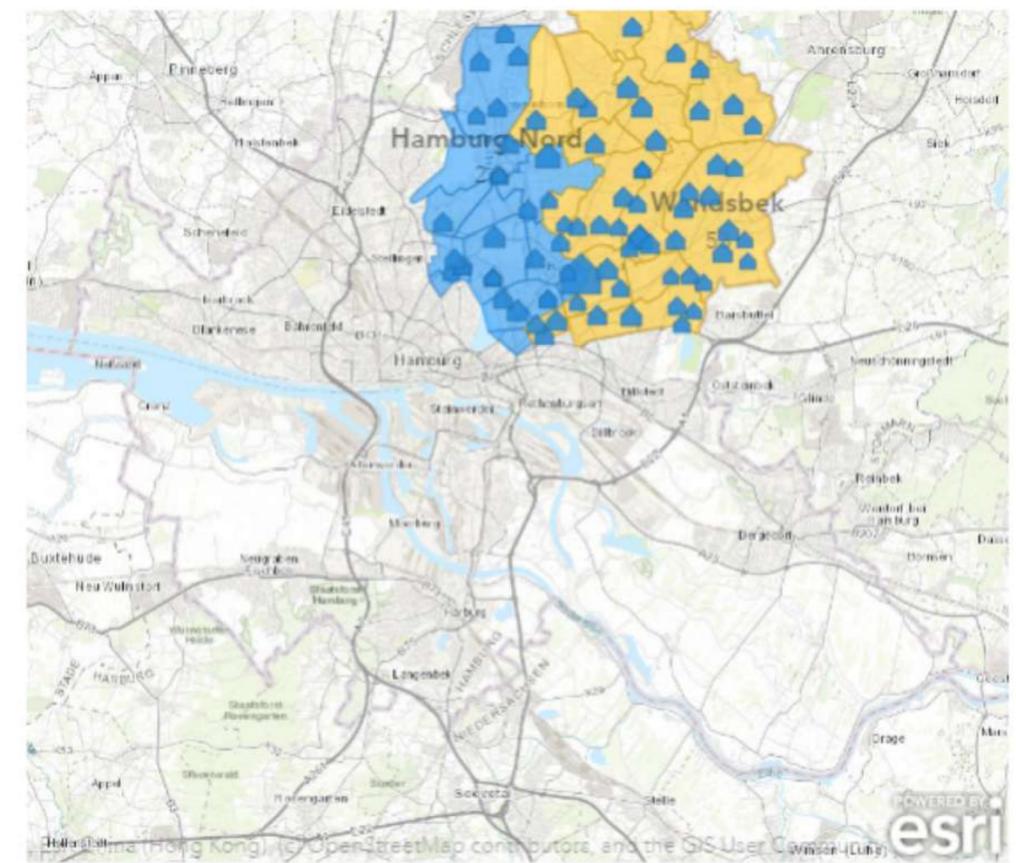
- Altona 33
- Bergedorf 18
- Eimsbüttel 29
- Hamburg-Mitte 29
- Hamburg-Nord 26
- Harburg 17
- Wandsbek 53

GTS teilweise gebunden (6)
 GTS voll gebunden (5)
 offen (68)

Anzahl Schüler der 1 Kl. in der Wohnadresse (1)
7558

Anzahl Schüler entlang eines Schulwegs
7367

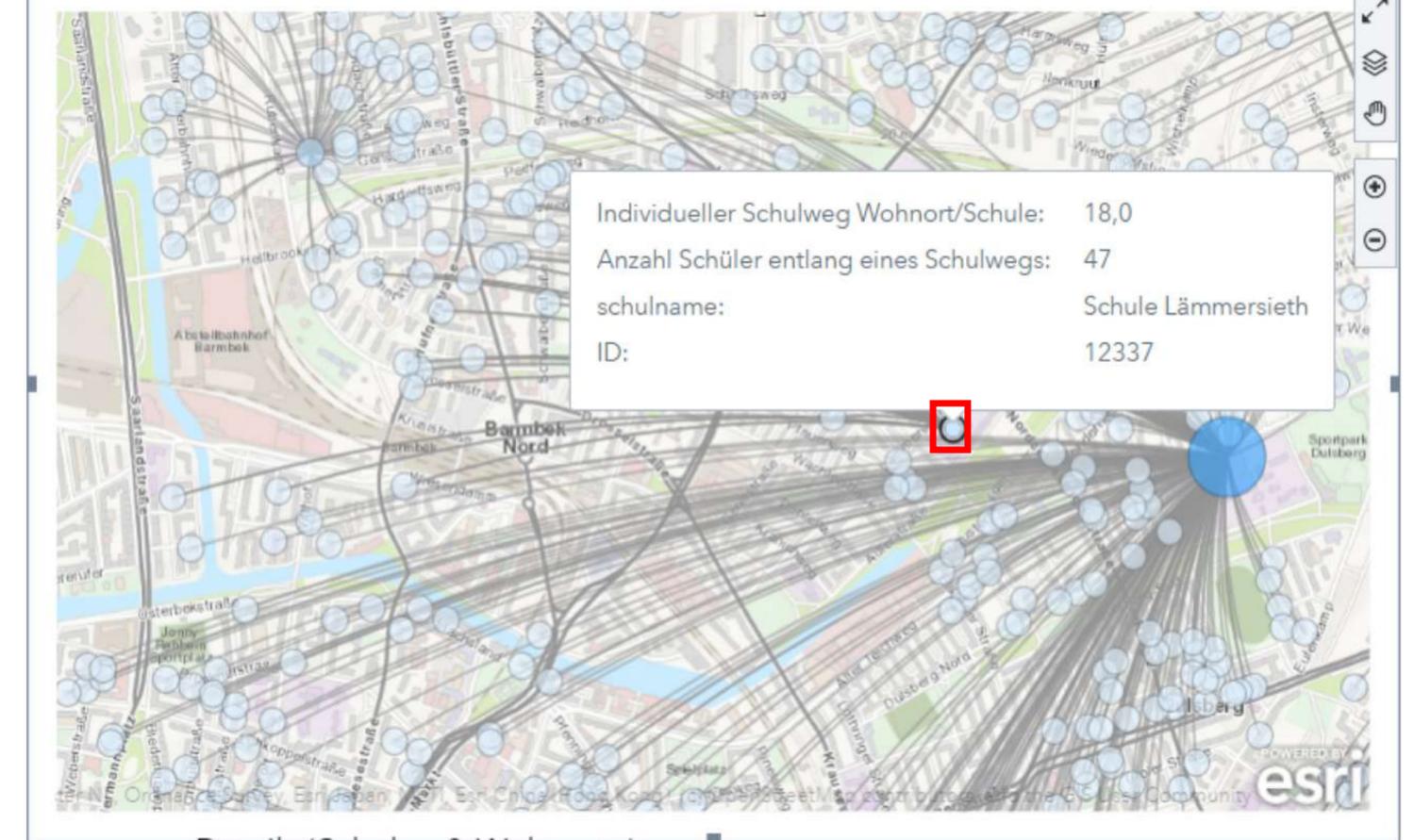
Übersicht Schulen



Überblick Schulen

schulname	String-ID der Schule	Aufnahmekapazität für Schüler der 1 Kl.
Adolph-Schönfelder-Schule	5430-1	82
Adolph-Schönfelder-Schule	5430-0	72
Albert-Schweitzer-Schule	5053-0	188
Carl-Cohn-Schule	5462-0	139
Carl-Götze-Schule	5463-0	100

Schulwege



Individueller Schulweg Wohnort/Schule: 18,0
 Anzahl Schüler entlang eines Schulwegs: 47
 schulname: Schule Lämmersieth
 ID: 12337

Details (Schulen & Wohnorte)

schulname	ID der Wohnadresse	Individueller Schulweg Wohnort...	Anzahl Schüler der 1 Kl. in der Wohnadr...	ent
		4.115,0	7558	
Adolph-Schönfelder-Schule	1764	1,1	1	
Adolph-Schönfelder-Schule	8413	0,4	1	
Adolph-Schönfelder-Schule	5038	0,9	2	
Adolph-Schönfelder-Schule	7849	1,2	1	

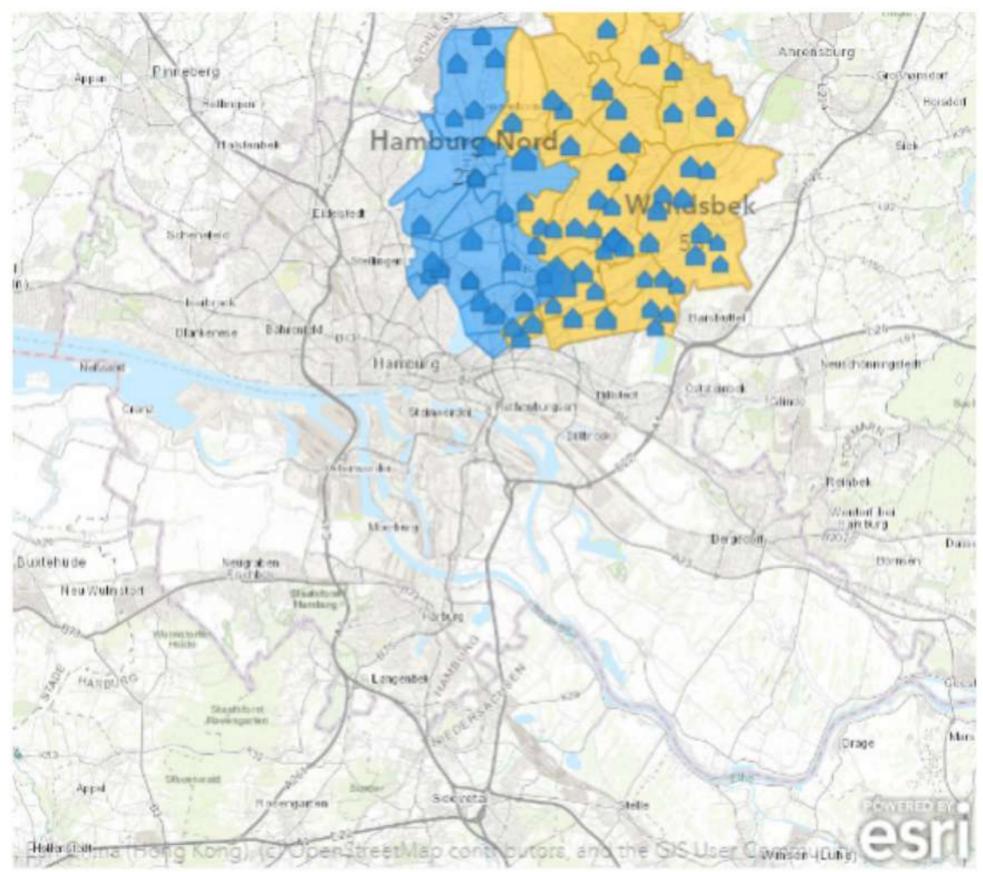
- Altona 33
- Bergedorf 18
- Eimsbüttel 29
- Hamburg-Mitte 29
- Hamburg-Nord 26
- Harburg 17
- Wandsbek 53

GTS teilweise gebunden (6)
 GTS voll gebunden (5)
 offen (68)

Anzahl Schüler der 1 Kl. in der Wohnadresse (1)
7558

Anzahl Schüler entlang eines Schulwegs
7367

Übersicht Schulen



Überblick Schulen

schulname	String-ID der Schule	Aufnahmekapazität für Schüler der 1 Kl.
Adolph-Schönfelder-Schule	5430-1	82
Adolph-Schönfelder-Schule	5430-0	72
Albert-Schweitzer-Schule	5053-0	188
Carl-Cohn-Schule	5462-0	139
Carl-Götze-Schule	5463-0	100

Schulwege

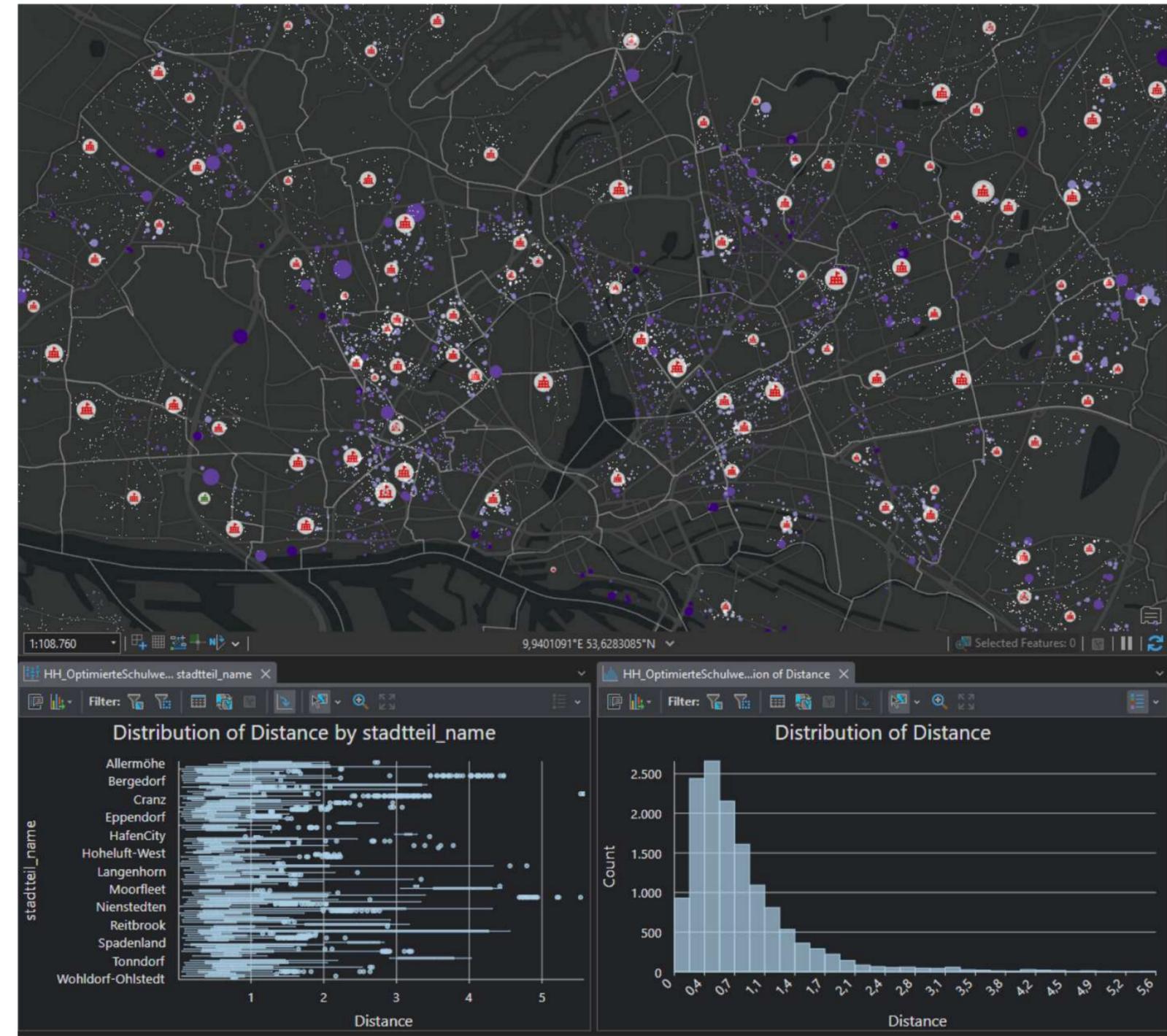
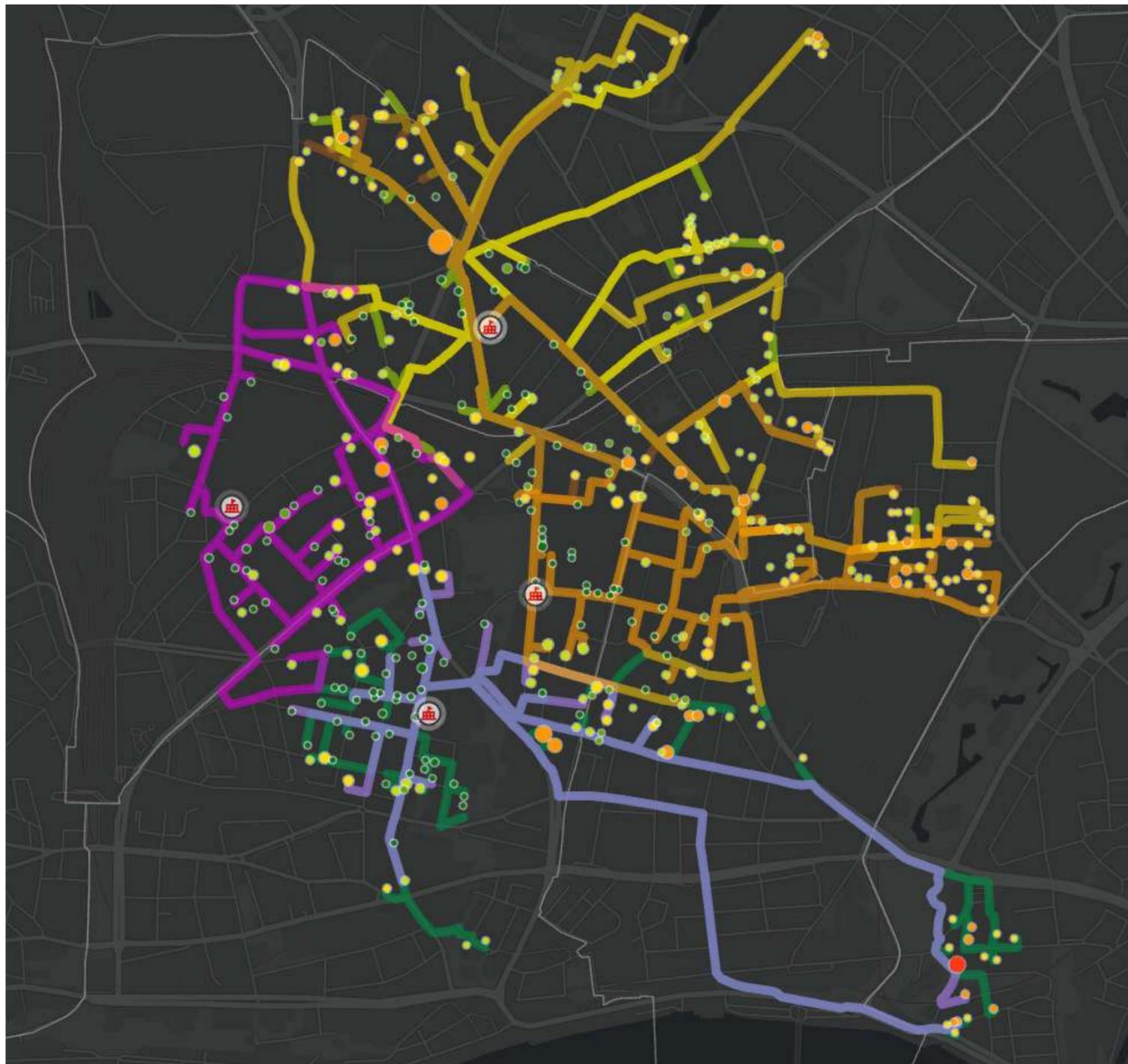


Details (Schulen & Wohnorte)

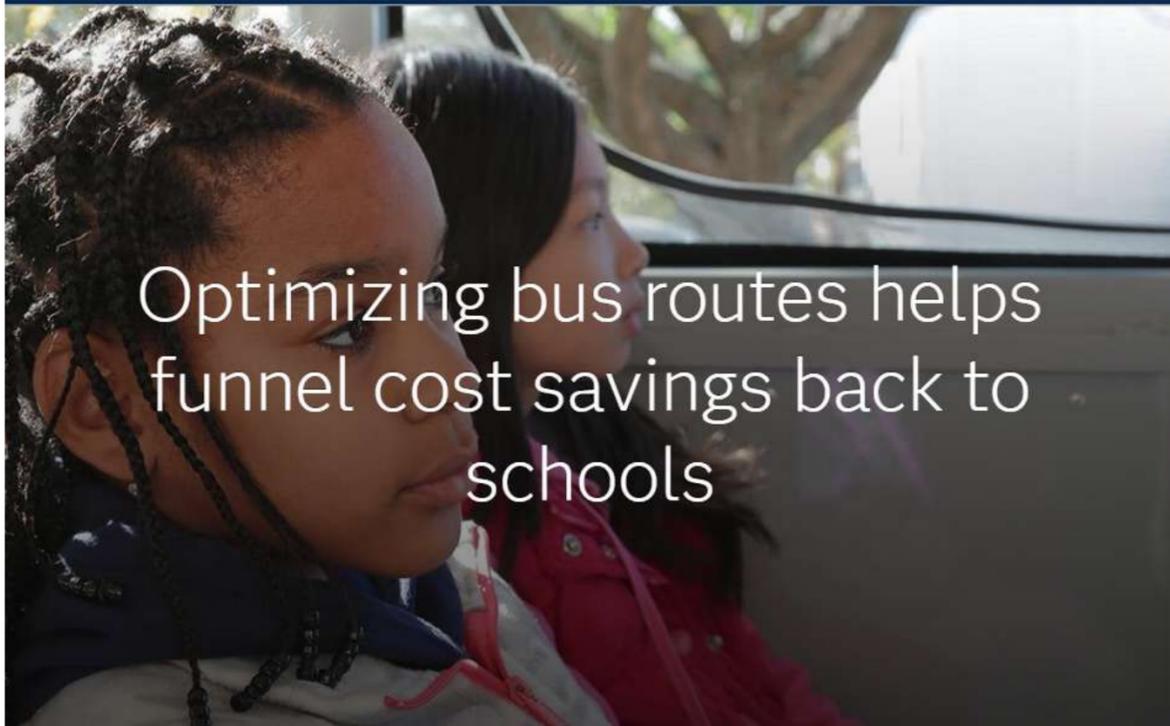
schulname	ID der Wohnadresse	Individueller Schulweg Wohnort...	Anzahl Schüler der 1 Kl. in der Wohnadr...	ent
		4.115,0	7558	
Adolph-Schönfelder-Schule	1764	1,1	1	
Adolph-Schönfelder-Schule	8413	0,4	1	
Adolph-Schönfelder-Schule	5038	0,9	2	
Adolph-Schönfelder-Schule	7940	1,2	1	

Individueller Schulweg Wohnort/Schule: 294,9
 Anzahl Schüler entlang eines Schulwegs: 430
 schulname: Grund- und Stadteilschule Alter Teichweg
 ID: 12222

Exaktes Routing: Link zum esri Service



Kundenreferenz: Boston Public Schools



Optimizing bus routes helps funnel cost savings back to schools



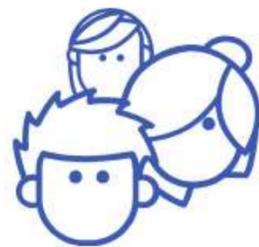
BOSTON
Public Schools
Focus on Children



\$5 million

Estimated savings from eliminating need for 50 buses

SAS® Analytics brings intelligence to student transportation.



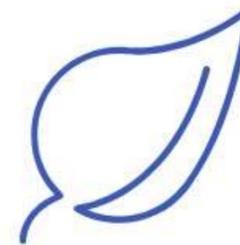
57,000

Students to transport



20%

Fewer bus stops

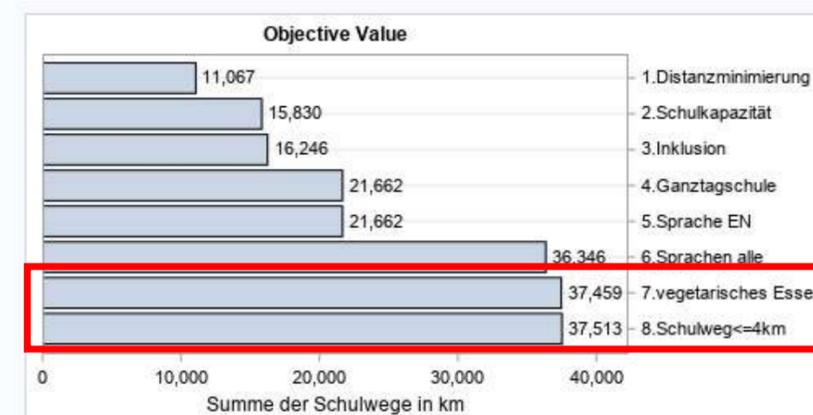
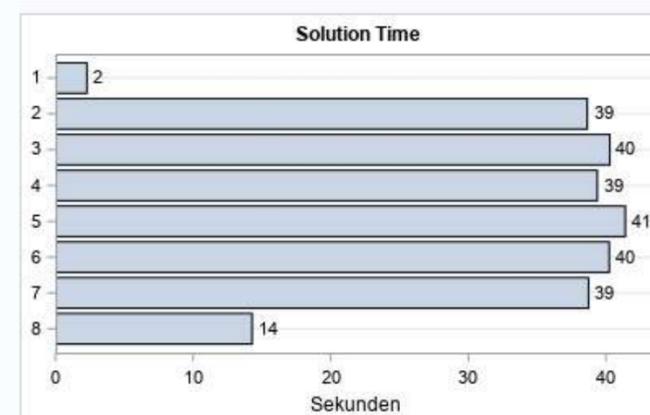
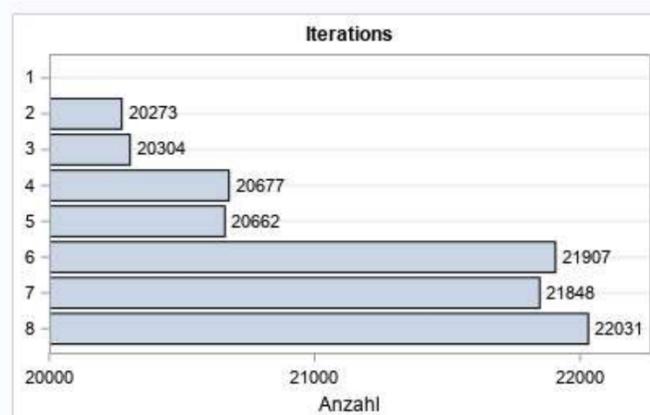
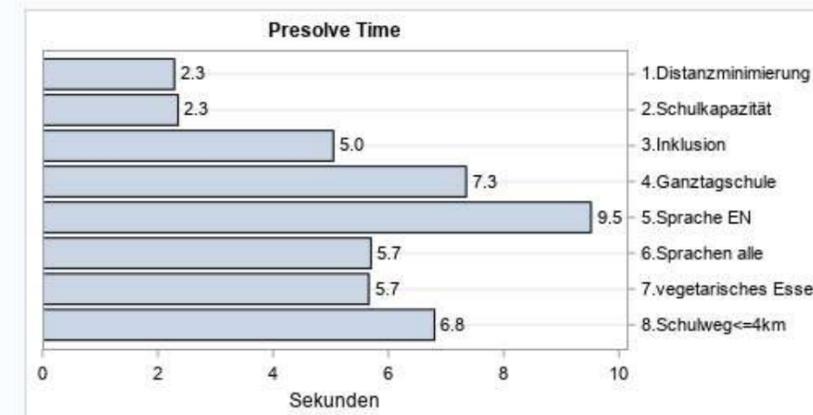
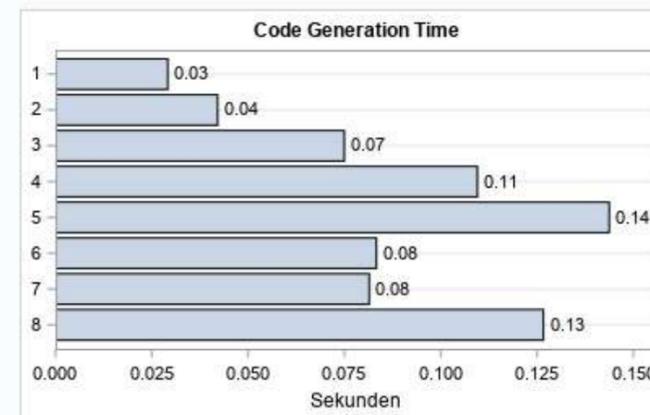
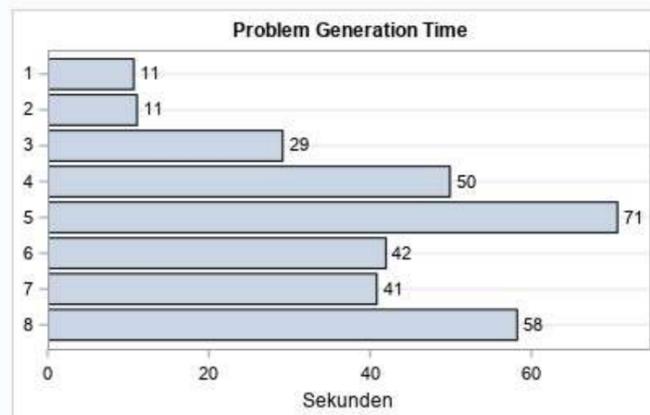
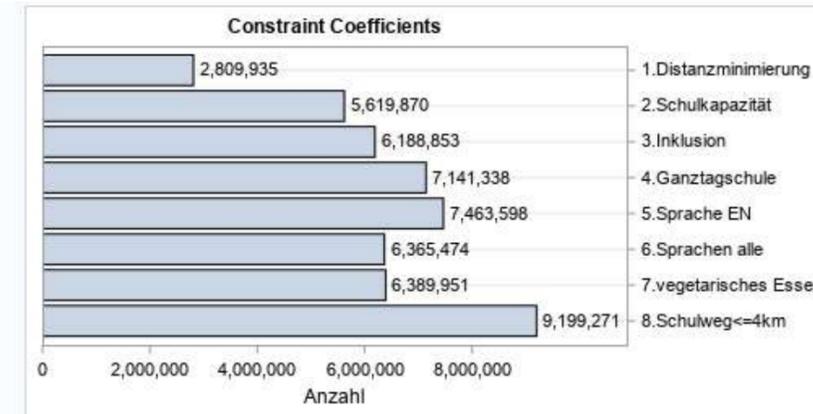
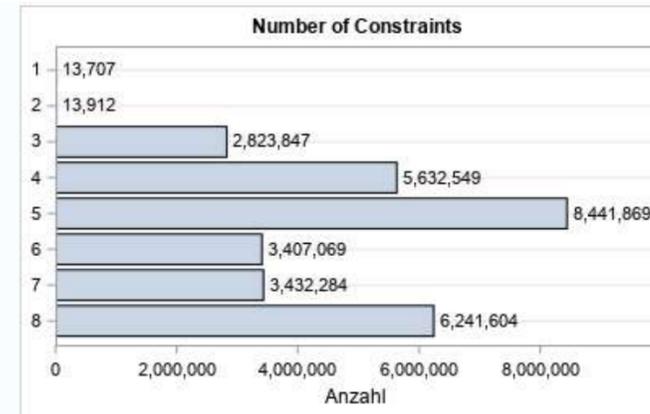
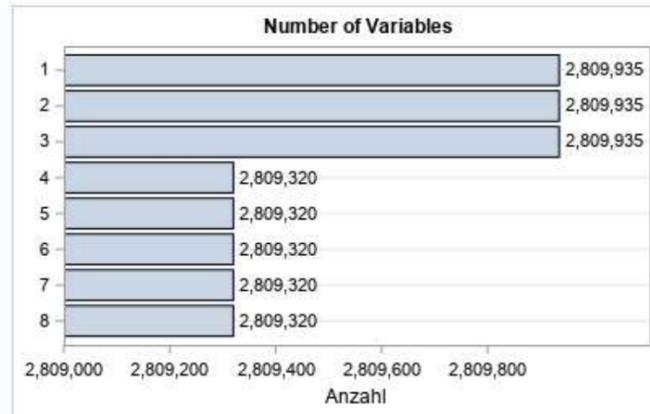


13,000

Pound reduction in daily carbon emissions

Unterschiedliche Planungsszenarien

„Was Wäre Wenn“ Simulation mit unterschiedlichen Nebenbedingungen „Kür“

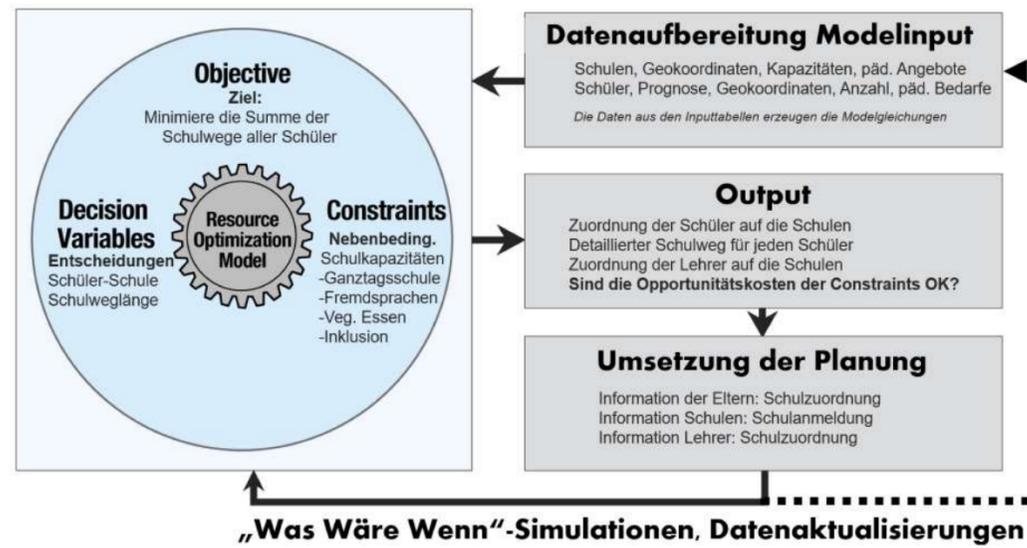


„Was Wäre Wenn“ - durch Gen AI erleichtern?

Struktur OR Model

Input Daten

Code OR Model



Altkon	GTS	Essen_Veg	FS_EN	FS_FR	FS_ES	FS_IT	FS_PT	FS_TR	FS_IR	FS_AR	FS_CN
13724	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
13725	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13726	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
13727	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13728	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
13729	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
13730	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
13731	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
13732	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13733	2	10	0	1	0	0	0	0	0	0	0
13734	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
13735	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
13736	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
13737	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
13738	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
13739	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
13740	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0

Pflicht

Kür

Gen AI / LLM



```

proc optmodel;
set NODES;
num x (NODES);
num y (NODES);
num N (NODES);
num Inklusion (NODES);
num GTS (NODES);
num FS_EN (NODES);
num FS_FR (NODES);
num FS_ES (NODES);
num FS_PT (NODES);
num FS_TR (NODES);
num FS_IR (NODES);
num FS_AR (NODES);
num FS_CN (NODES);
read data Optmodel_input (firstobs=*) into NODES=(N) x y N Schult in Inklusion GTS
FS_EN FS_FR FS_ES FS_PT FS_TR
FS_IR FS_AR FS_CN FS_PT FS_FR;

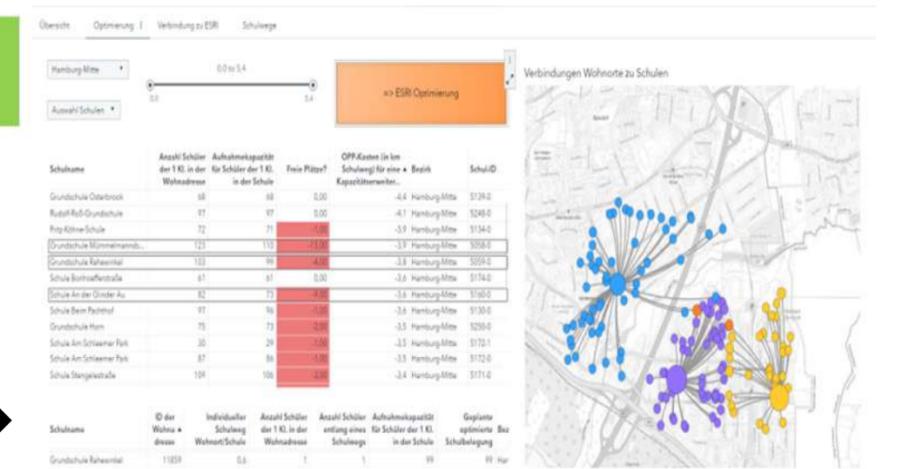
var flow (EDGES) >= 0;
min TotalDistance = sum (<i,j> in EDGES) distance(i,j) * flow(i,j);
con Kapazitaet(i in nodes : j=AR): sum(i in nodes : i<=>j) flow(i,j) <=>K(i);
con Schulpflicht(i in nodes : i<=>AR): sum(i in nodes : j=AR) flow(i,j) eq N(i);
con NB_Inklusion(i,j in EDGES): (Inklusion(i) - Inklusion(j)) * flow(i,j) <=>0;
con NB_GTS(i,j in EDGES): (GTS(i) - GTS(j)) * flow(i,j) <=>0;
con NB_FS_EN(i,j in EDGES): (FS_EN(i) - FS_EN(j)) * flow(i,j) <=>0;
con NB_FS_FR(i,j in EDGES): (FS_FR(i) - FS_FR(j)) * flow(i,j) <=>0;
con NB_FS_ES(i,j in EDGES): (FS_ES(i) - FS_ES(j)) * flow(i,j) <=>0;
con NB_FS_PT(i,j in EDGES): (FS_PT(i) - FS_PT(j)) * flow(i,j) <=>0;
con NB_FS_TR(i,j in EDGES): (FS_TR(i) - FS_TR(j)) * flow(i,j) <=>0;
con NB_FS_IR(i,j in EDGES): (FS_IR(i) - FS_IR(j)) * flow(i,j) <=>0;
con NB_FS_AR(i,j in EDGES): (FS_AR(i) - FS_AR(j)) * flow(i,j) <=>0;
con NB_FS_CN(i,j in EDGES): (FS_CN(i) - FS_CN(j)) * flow(i,j) <=>0;
con NB_FS_PT(i,j in EDGES): (FS_PT(i) - FS_PT(j)) * flow(i,j) <=>0;
con NB_FS_FR(i,j in EDGES): (FS_FR(i) - FS_FR(j)) * flow(i,j) <=>0;
con NB_FS_IR(i,j in EDGES): (FS_IR(i) - FS_IR(j)) * flow(i,j) <=>0;
solve;

```

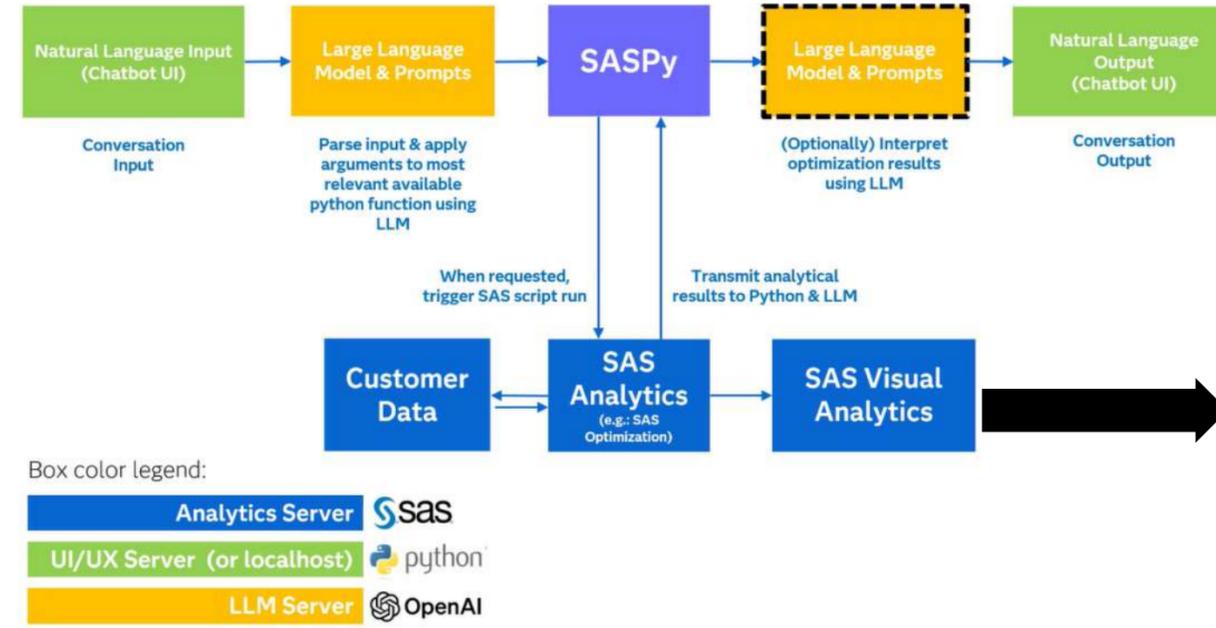
Pflicht

Kür

Ergebnisreport des Szenarios



„Was Wäre Wenn“
Gedankenspiele
(Mit der Kür herumspielen)





Zusammenfassung

Schulwegoptimierung in einer Millionenstadt

- Optimierung Schulbusverkehr in Boston: 5 Mio. \$/Jahr, 7T CO2/Tag
- 10% Weniger Schulwegsstrecke \Leftrightarrow 10% weniger Schulwegunfälle
- Bedienung von Planungsmodellen kann **SAS schon jetzt** durch LLMs erleichtern
 - Voraussetzung ist eine genau hinterlegte Hierarchie der „Was Wäre Wenn“ Simulationsvarianten
- Die Inputtabellen erzeugen je nach Fragestellung ~8 Mio. Modellgleichungen
- Prinzipiell sind solche Modelle nur so gut wie die Qualität der Datenaufbereitung
- Schulwege der Erstklässler in Hamburg: ~Eine Erdumrundung /Tag:
- Schulwege der Erstklässler in Deutschland: ~ 5 x zum Mond

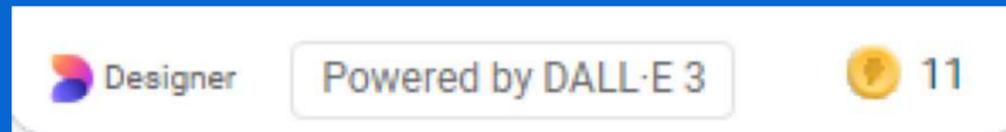


Fragen / Diskussion?

Carola Röttig Ulrich Reincke

sas **innovate**
on tour

Fragen / Diskussion?



You

Erzeuge mir das Bild eines Schülers der ersten Schulklasse am Tag seiner Einschulung mit einer Schultüte, der fröhlich und zufrieden in seiner Klasse sitzt und im Unterricht die Themen :Optimierung Machine Learning, Gen AI, Data Management, und Computer Science hat.

Copilot

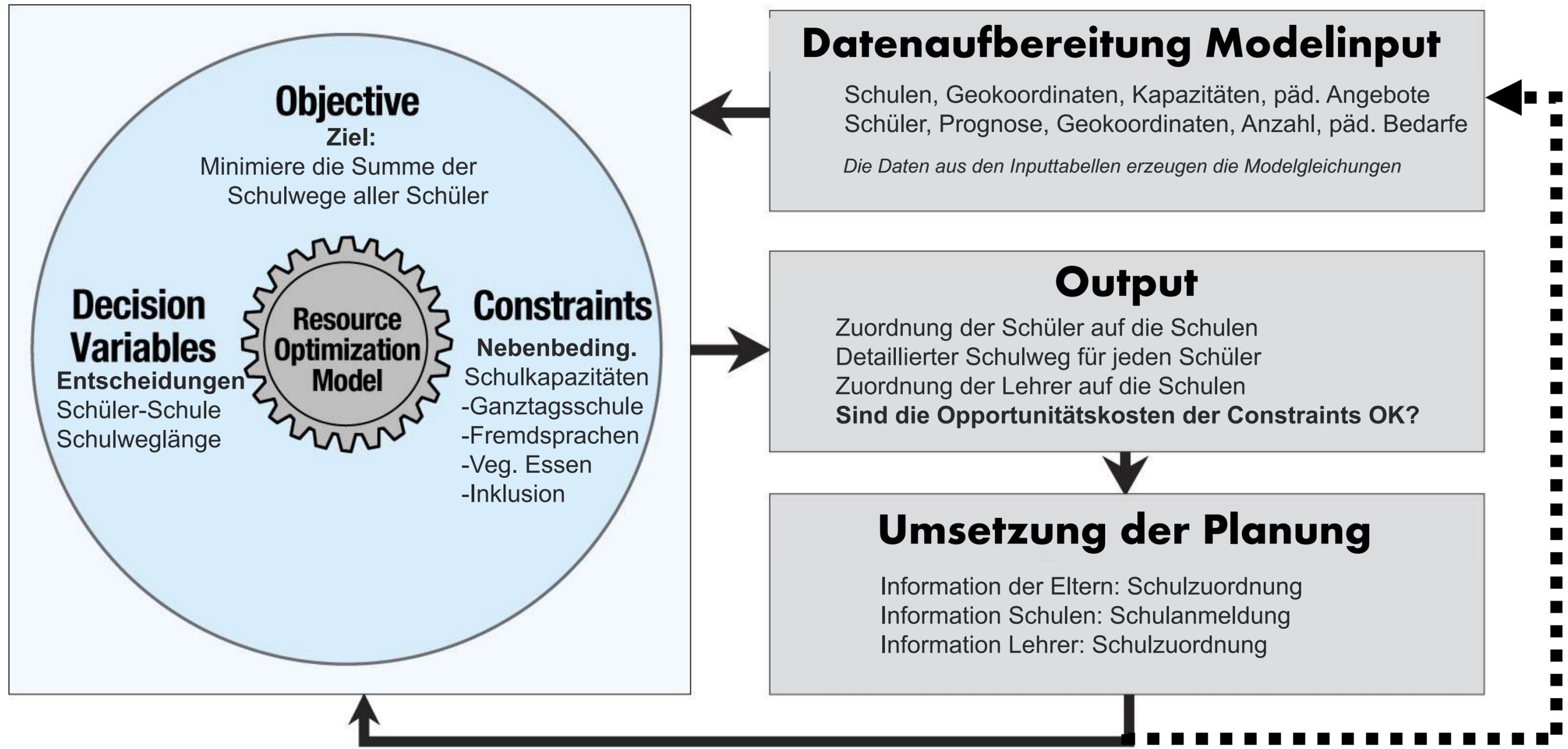
Ich werde versuchen, das zu erstellen.

Carola Röttig, Ulrich Reincke

sas innovate
on tour



Wichtige Bestandteile des Optimierungsmodells



„Was Wäre Wenn“-Simulationen, Datenaktualisierungen

Modifikation (Lehrer, Klassenräume, Schulgebäude, pädag. Angebote)