
Simulation von Elektrostraßenfahrzeugen im Niederspannungsnetz mit CERBERUS

Raik Becker

Prof. Dr. Mirko Bodach

Westsächsische Hochschule Zwickau

18. Juni 2009

▷ Inhalt

Motivation

Analyse

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen

Motivation

Analyse

Simulation mit CERBERUS

Ergebnisse

Quellen

Inhalt

▷ Motivation

Probleme

Vorteile

Ziele

Aktivitäten

Prognose

Analyse

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen

Motivation

Inhalt

Motivation

▷ Probleme

Vorteile

Ziele

Aktivitäten

Prognose

Analyse

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen

Probleme des Verkehrssektors:

zunehmende Öl-Knappheit + härter werdende
CO₂-Restriktionen

Lösung:

Elektromobilität

Der Weg ins 21te Jhd. erzwingt progressive Bemühungen
zur Förderung der Elektromobilität von Politik und
Wirtschaft!

Der well-to-well-Vorteil

Inhalt

Motivation

Probleme

▷ Vorteile

Ziele

Aktivitäten

Prognose

Analyse

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen

CO₂-Emmission (in g CO₂/km) am Beispiel Smart ed:

Aller Neuzulassungen in der BRD (2007):

199



Smart ed bei BRD-Strommix 2007:

88



Smart ed bei BRD-Strommix 2020:

70



[RWE09]

Ziele der Bundesregierung:

- ☐ "Deutschland soll zum Leitmarkt für Elektromobilität werden"
- ☐ Verringerung der CO₂-Emissionen im Verkehrssektor
- ☐ Reduzierung der Öl-Abhängigkeit
- ☐ enorme Verbesserung des Mikroklimas
- ☐ Schaffung eines zukünftigen Mobilitätskonzepts

[BUN08]

Aktivitäten der Wirtschaft (eine Auswahl):

- ☐ Pilotprojekt der RWE AG und Daimler AG sowie der Vattenfall AB und der BMW AG in Berlin
- ☐ Serienproduktion von 2000 „i MiEV“ bis Ende 2009
- ☐ zahlreiche Bemühungen anderer Hersteller (TH!NK, Tesla Motors, ...)

+ Bemühungen der EU zur Standardisierung von Ladestationen



[RWE09, VAT09, WIR09]

Prognose und Probleme

Inhalt

Motivation

Probleme

Vorteile

Ziele

Aktivitäten

▷ Prognose

Analyse

Simulation mit
CERBERUS

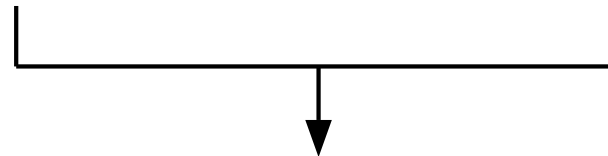
Ergebnisse

Quellen

Prognose der Elektrostraßenfahrzeugentwicklung bis 2030

Bundesregierung: mehr als 5
Mio. Fahrzeuge [BUN08]

RWE AG: ca. 15 Mio.
Fahrzeuge [RWE09]



Immenser Lastanstieg durch vorstellbare Ladeleistungen
zwischen 3 und 40 kW!



Wie reagiert das Netz?

Inhalt

Motivation

▷ Analyse

Vorgehen

Fahrzeughalter

ESF

NS-Netz

Siedlungstyp B

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen

Analyse

Vorgehen

Inhalt

Motivation

Analyse

▷ Vorgehen

Fahrzeughalter

ESF

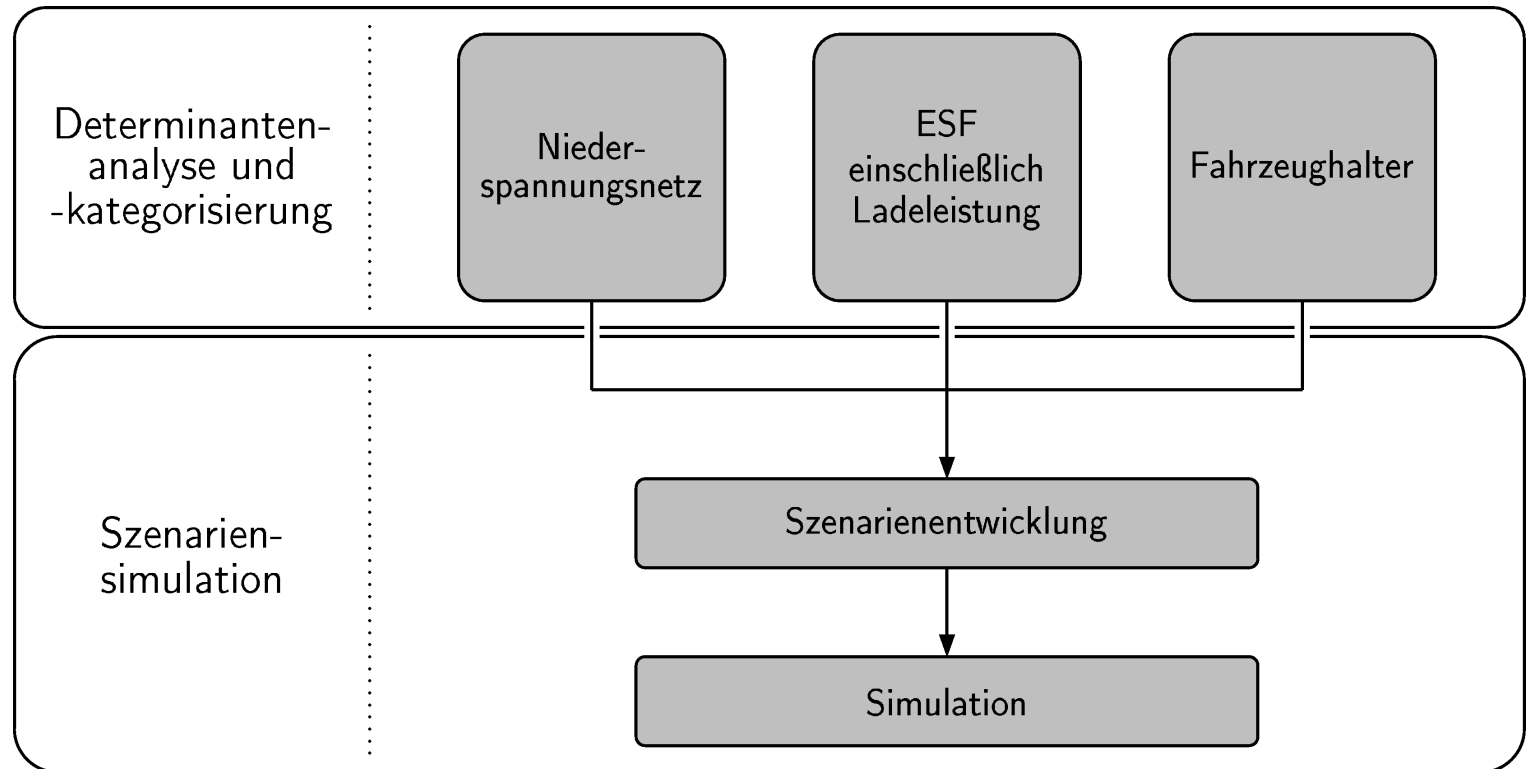
NS-Netz

Siedlungstyp B

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen



Auswertung der „Studie Mobilität in Deutschland“ (MiD) [DIW04] hinsichtlich

der zu untersuchenden Merkmale:

- ☐ Fahrleistung
- ☐ Wegbeginn und Wegende

sowie nach den Attributen:

- ☐ BBR-Kreistyp
- ☐ Wochentag
- ☐ Pkw pro Haushalt

BBR-Regions- und Kreistypen

Inhalt

Motivation

Analyse

Vorgehen

▷ Fahrzeughalter

ESF

NS-Netz

Siedlungstyp B

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen

- ☐ Agglomerationsräume:
 - Kernstädte
 - Hochverdichtete Kreise
 - Verdichtete Kreise
 - Ländliche Kreise
- ☐ Verstädterte Räume:
 - Kernstädte
 - Verdichtete Kreise
 - Ländliche Kreise
- ☐ Ländliche Räume:
 - Ländliche Kreise höherer Dichte
 - Ländliche Kreise geringerer Dichte

Beispiel Agglomerationsräume

Inhalt

Motivation

Analyse

Vorgehen

▷ Fahrzeughalter

ESF

NS-Netz

Siedlungstyp B

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen

BBR-Kreistypen	Montag	Dienstag	Mittwoch	Donnerstag	Freitag	Samstag	Sonntag	Mittel
Agglomerationsräume								
Kernstädte	28,37	32,40	36,17	30,30	33,76	28,38	26,80	30,86
Hochverdicht. Kreise	53,76	54,86	47,37	47,32	52,01	44,82	30,81	47,24
Verdichtete Kreise	40,99	74,89	49,37	66,96	54,09	35,59	35,90	50,93
Ländliche Kreise	56,36	61,79	49,61	53,42	54,36	33,27	34,04	49,17
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Ergebnis

Inhalt

Motivation

Analyse

Vorgehen

▷ Fahrzeughalter

ESF

NS-Netz

Siedlungstyp B

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen

Wochentag in km pro Haushalt	Anzahl Pkw pro Haushalt						Summe/ Mittel
	0	1	2	3	4	5	
Agglomerationsräume: Kernstädte							
Verteilung in %	32,15	52,02	14,13	1,42	0,19	0,10	100
Wochentag	3,47	33,75	80,56	146,50	133,67	59,84	32,44
Samstag	3,04	29,53	70,49	128,19	116,96	52,36	28,38
Sonntag	2,87	27,88	66,55	121,03	110,43	49,44	26,80
Mittel	3,30	32,11	76,64	139,38	127,17	56,93	30,86
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Wegbeginn während der Arbeitswoche

Inhalt

Motivation

Analyse

Vorgehen

▷ Fahrzeughalter

ESF

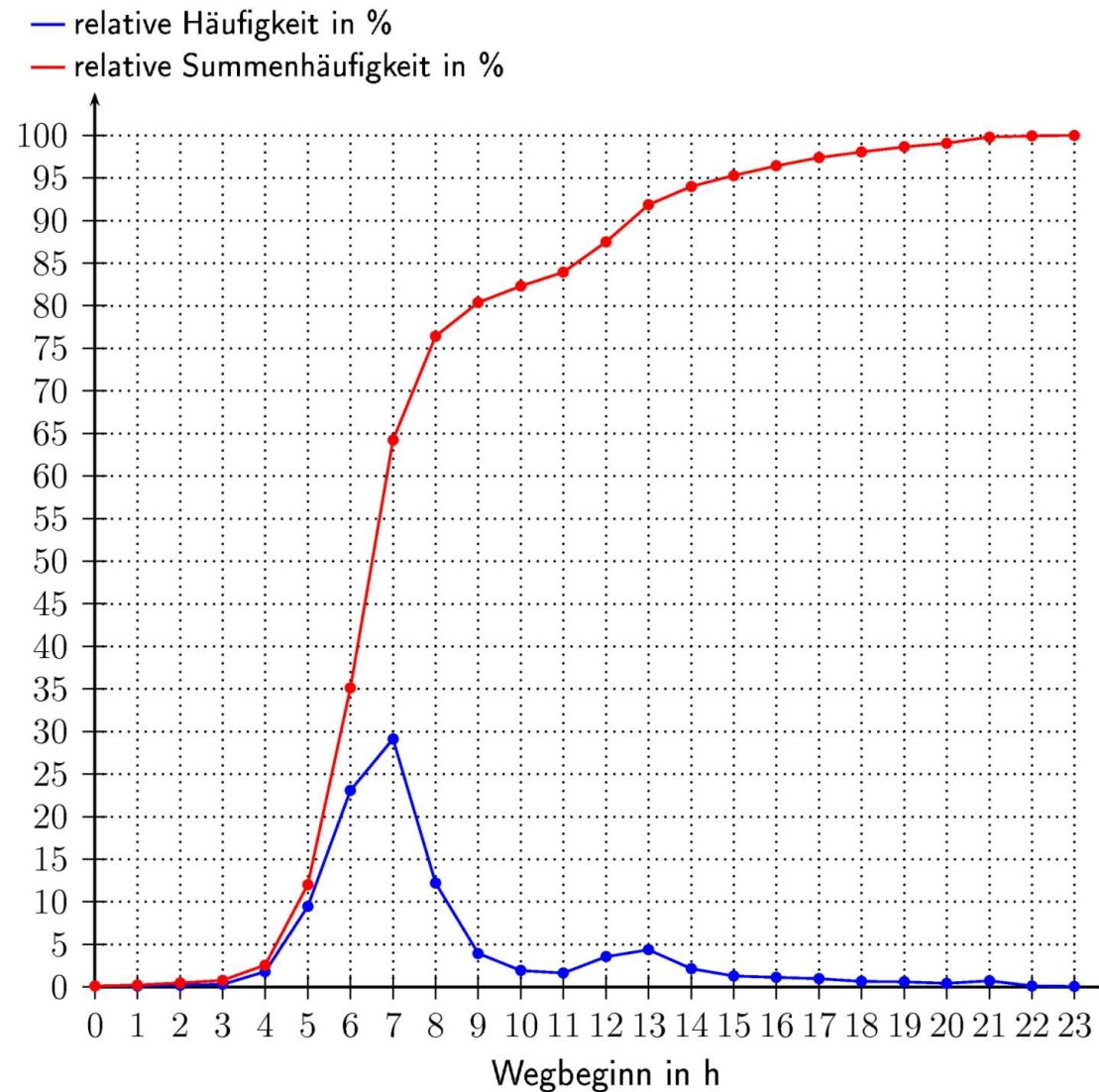
NS-Netz

Siedlungstyp B

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen



Wegende während der Arbeitswoche

Inhalt

Motivation

Analyse

Vorgehen

▷ Fahrzeughalter

ESF

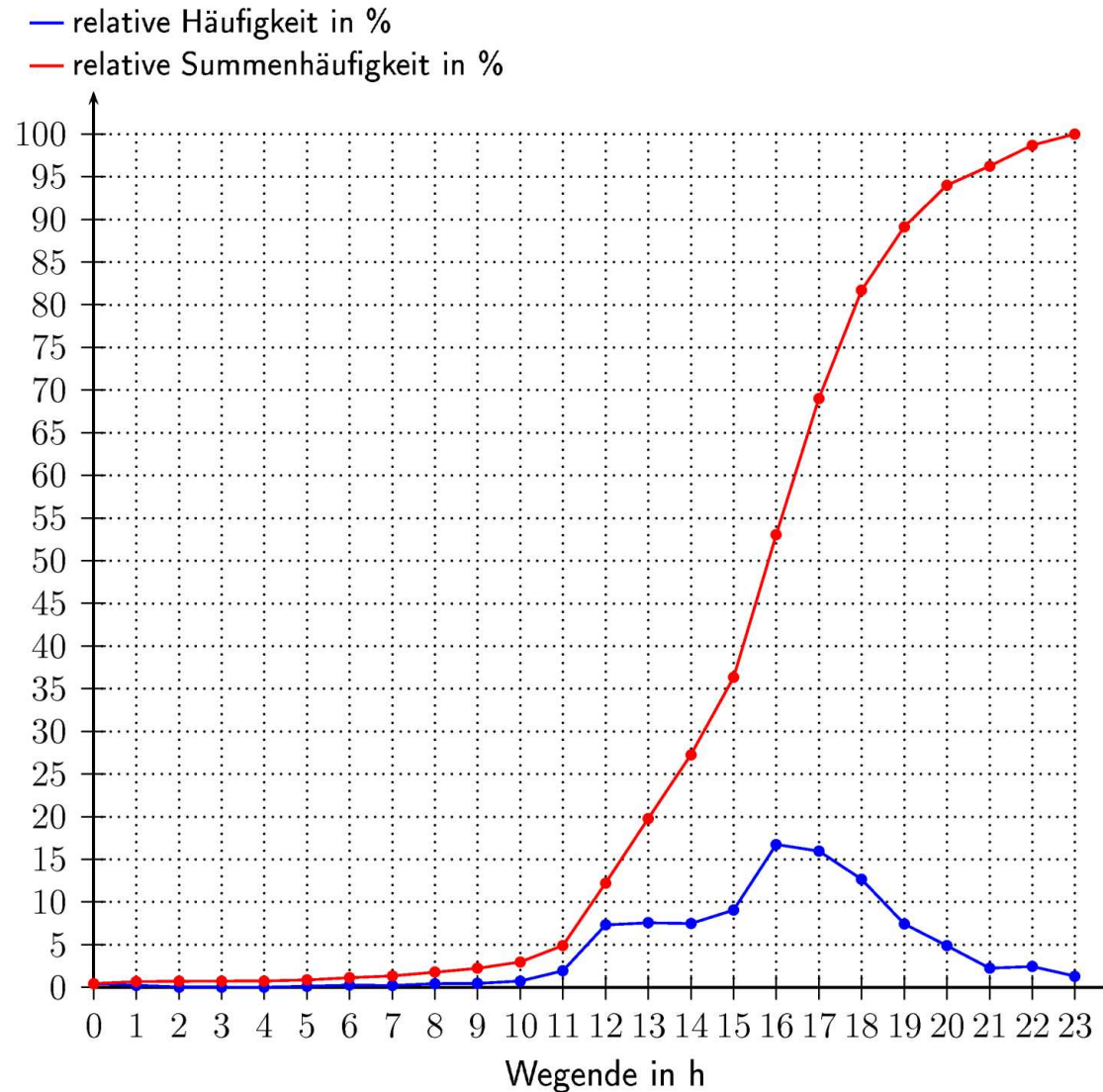
NS-Netz

Siedlungstyp B

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen



Je nach Wohnlage bieten sich drei Ladearten an:

Ladeart	Ladegeschwindigkeit in km/h
private Ladung	
230 V/ 16 A, einphasig	15,82
400 V/ 16 A, dreiphasig	47,47
öffentliche Ladung	
400 V/ 32 A, dreiphasig	94,94

Inhalt

Motivation

Analyse

Vorgehen

Fahrzeughalter

ESF

▷ NS-Netz

Siedlungstyp B

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen

Modellierung von Niederspannungsnetzbezirken nach siedlungsstrukturellen Gesichtspunkten nach [SCH02]:

Untersuchte Siedlungstypen des BBR:

- ☐ B - Dörfer mit überwiegend Gehöften
- ☐ C - Ein- und Zweifamilienhaussiedlungen niedriger Dichte
- ☐ D - Einfamilienhaussiedlungen hoher Dichte und Dorfkern
- ☐ G - Zeilenbebauung hoher Dichte und Hochhäuser
- ☐ H - Blockbebauung

Beispiel: Siedlungstyp B

Inhalt

Motivation

Analyse

Vorgehen

Fahrzeughalter

ESF

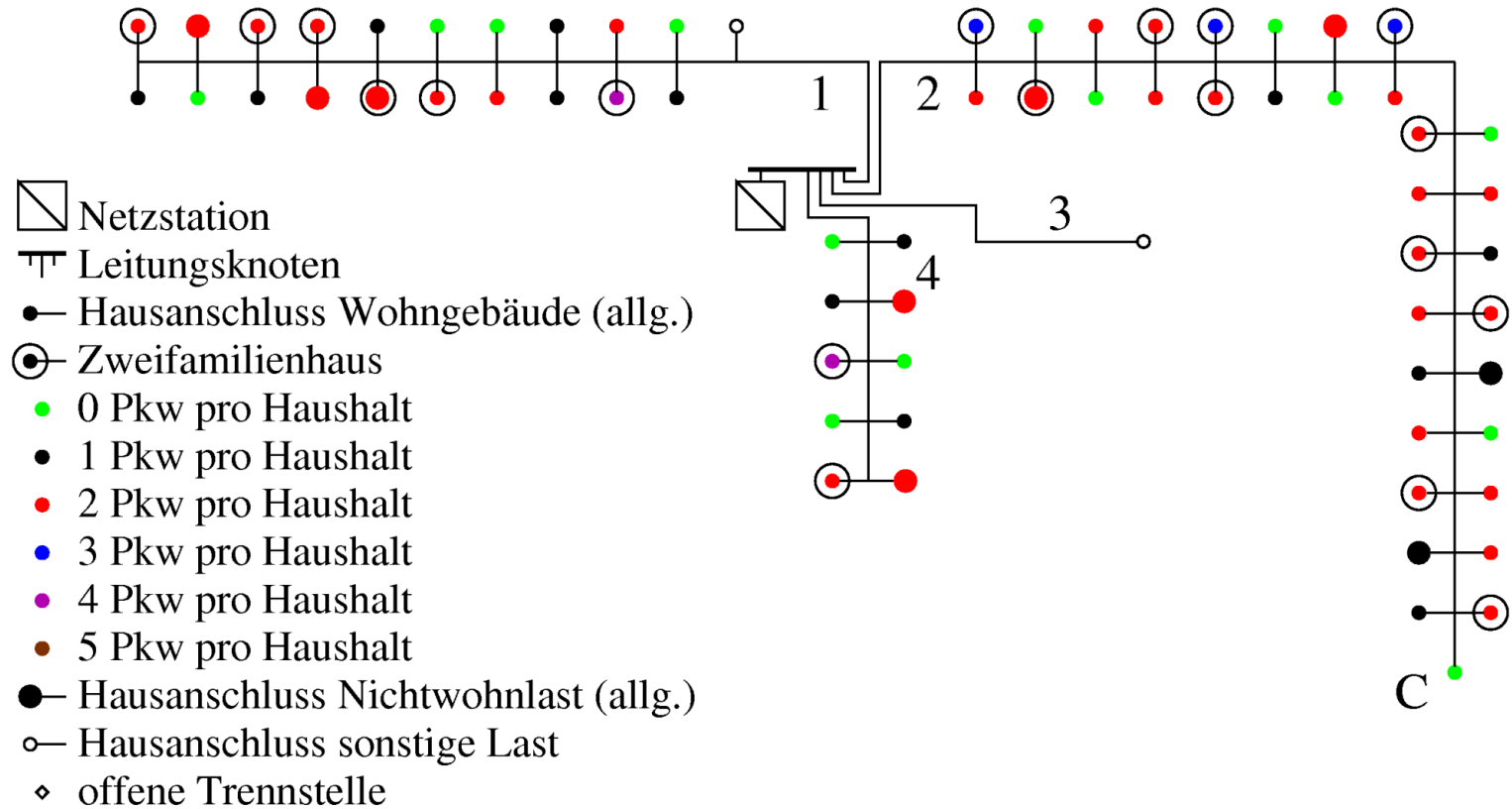
NS-Netz

▷ Siedlungstyp B

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen



Beispiel: Siedlungstyp B

Inhalt

Motivation

Analyse

Vorgehen

Fahrzeughalter

ESF

NS-Netz

▷ Siedlungstyp B

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen

Ausgewählte Netzbezirksparameter:

- ☐ MS-Netz: $U_{Nn}=20$ kV, $S_k''=40$ MVA
- ☐ Stationstransformator: $S_n=250$ KVA
- ☐ Leitung: NAYY 4x150
- ☐ HA-Leitung: NAYY 4x25
- ☐ HA-Leitungslänge: 8 bis 20 m
- ☐ Höchstlast je WE: 2,5 kW

Inhalt

Motivation

Analyse

Simulation mit
▷ CERBERUS

Siedlungstyp B

Siedlungstyp G

Ergebnisse

Quellen

Simulation mit CERBERUS

Beispiel: Siedlungstyp B

Inhalt

Motivation

Analyse

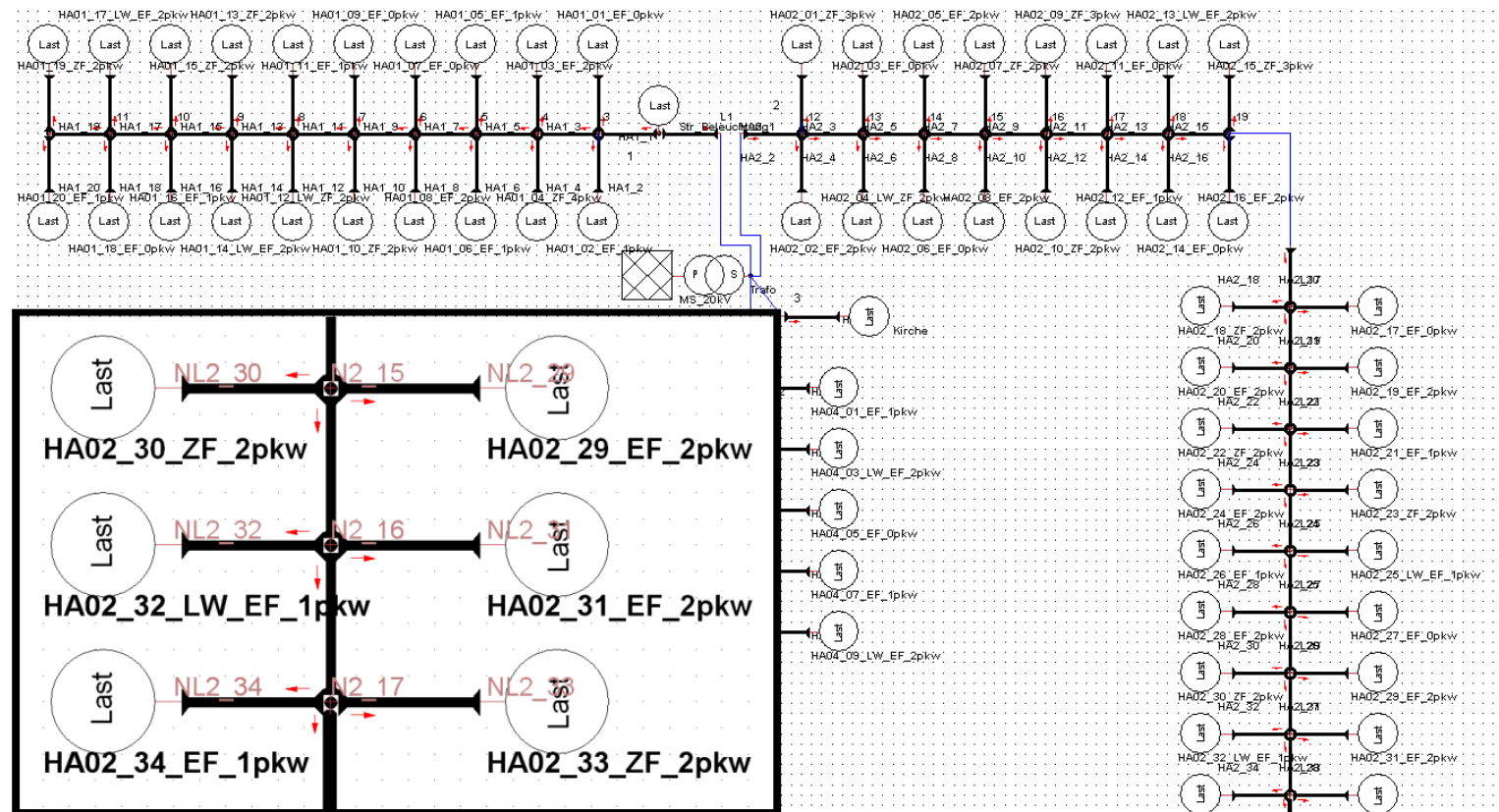
Simulation mit
CERBERUS

▷ Siedlungstyp B

Siedlungstyp G

Ergebnisse

Quellen



Variablendeklaration- und definition

Inhalt

Motivation

Analyse

Simulation mit
CERBERUS

▷ Siedlungstyp B

Siedlungstyp G

Ergebnisse

Quellen

Variable

g_h=0.75
g_l=0.75
HH=2.5*g_h
LW=5*g_l
LWb=LW*(1/0.97**2-1)**(1/2)
pkw=5
A10
A20
A30
A40
A50
A60
A70
A80
A90
A100
ein100=pk* A100
ein90=pk* A90
ein80=pk* A80
ein70=pk* A70
ein60=pk* A60
ein50=pk* A50
ein40=pk* A40
ein30=pk* A30
ein20=pk* A20
ein10=pk* A10
HHb=HH*(1/0.98**2-1)**(1/2)

OK Abbrechen

- ☐ g_x: Gleichzeitigkeitsfaktor
- ☐ HH/HHb: Wirk- und Blindleistung eines Haushalts
- ☐ LW/LWb: Wirk- und Blindleistung eines Landwirtschaftsbetriebs
- ☐ pkw: Ladeleistung
- ☐ A10 ... A100 [0,1]: Elektromobilitätsdurchdringung
- ☐ ein10 ... ein100: je ein ESF (Gesamt: 94)

Erweiterte Analyse

Inhalt

Motivation

Analyse

Simulation mit
CERBERUS

▷ Siedlungstyp B

Siedlungstyp G

Ergebnisse

Quellen

Mithilfe der erweiterten Analyse lassen sich problemlos mehrere Durchdringungsgrade der Elektromobilität simulieren.

Erweiterte Analysen											
Lastgang-Analyse											
Zeit [s]	<input checked="" type="checkbox"/> A10	<input checked="" type="checkbox"/> A20	<input checked="" type="checkbox"/> A30	<input checked="" type="checkbox"/> A40	<input checked="" type="checkbox"/> A50	<input checked="" type="checkbox"/> A60	<input checked="" type="checkbox"/> A70	<input checked="" type="checkbox"/> A80	<input checked="" type="checkbox"/> A90	<input checked="" type="checkbox"/> A100	<input checked="" type="checkbox"/> A110
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3	1	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
4	1	1	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
5	1	1	1	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
6	1	1	1	1	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	1	1	1	1	1	1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	1	1	1	1	1	1	1	0.0	0.0	0.0	0.0
9	1	1	1	1	1	1	1	1	0.0	0.0	0.0
10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.0
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Verteilung der Elektrostraßenfahrzeuge

Inhalt

Motivation

Analyse

Simulation mit
CERBERUS

▷ Siedlungstyp B
Siedlungstyp G

Ergebnisse

Quellen

Zufällige Verteilung von 10 bis 100 %
Elektromobilitätsdurchdringung.

The screenshot shows the 'LAST - Last' window with the following details:

- Window title: LAST - Last
- Text field: HA02_05_EF_2pkw
- Checkbox: ☒ Anzeigen
- Tabbed interface with 'Parameter' and 'Anzeige/Ausgabe' tabs.
- Parameters:
 - Nennspannung [kV]: 0.4
 - Spannungsabhängigkeit Wirkleistung [%]: 50
 - Spannungsabhängigkeit Blindleistung [%]: 100
- Section: Nennbetrieb
- Radio button selection: ☒ HH+ein20+ein60
- Text field: HHb
- Labels: Wirkleistung [kW] and Blindleistung [kVA]

This is a close-up of the 'Nennbetrieb' section from the screenshot above, showing:

- Section title: Nennbetrieb
- Radio button selection: ☒ HH+ein20+ein60
- Text field: HHb
- Label: Wirkleistung [kW]

Beispiel: Siedlungstyp G

Inhalt

Motivation

Analyse

Simulation mit
CERBERUS

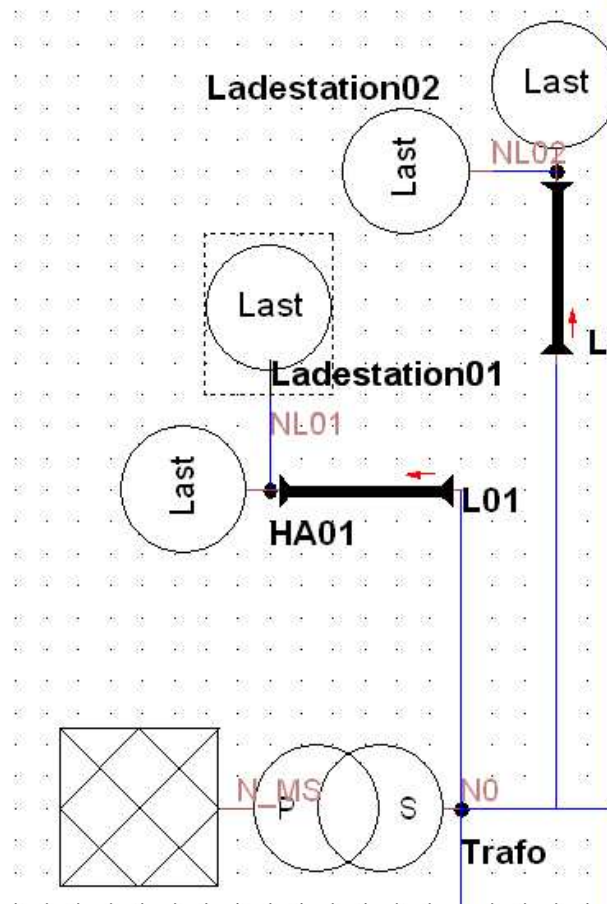
Siedlungstyp B

▷ Siedlungstyp G

Ergebnisse

Quellen

Verteilung von Ladestationen auf Parkplätzen.



Das Bild zeigt das Fenster 'LAST - Last' der Software CERBERUS. Es enthält die Konfiguration für eine Ladestation (Ladestation01). Die Parameter sind wie folgt eingestellt:

Parameter	Anzeige/Ausgabe
Nennspannung [kV]	0.4
Spannungsabhängigkeit Wirkleistung [%]	50
Spannungsabhängigkeit Blindleistung [%]	100
Nennbetrieb	
<input checked="" type="radio"/> ladestation	<input type="radio"/> ladestationb
Wirkleistung [kW]	Blindleistung [kVA]
<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> 0
Nennstrom [A]	Scheinleistung [kVA]
<input type="radio"/> 0	<input type="radio"/> Induktiv
Leistungsfaktor	<input type="radio"/> Kapazitiv
Schaltbedingte Spannungsänderungen	
<input type="radio"/> 6	<input type="radio"/> 0.16667
Schaltstromfaktor	Leistungsfaktor
<input type="checkbox"/> Worst Case	<input checked="" type="radio"/> Induktiv
<input checked="" type="checkbox"/> Wirkleistungsaufnahme	<input type="radio"/> Kapazitiv
Flicker	
<input type="radio"/> 50	<input type="radio"/> 5
Wirkleistung [kW]	Blindleistung [kVA]
<input type="radio"/> 10	<input checked="" type="radio"/> Sinus-Form
Häufigkeit [1/min]	<input type="radio"/> Rechteck-Form

Variablendeklaration- und definition

Inhalt

Motivation

Analyse

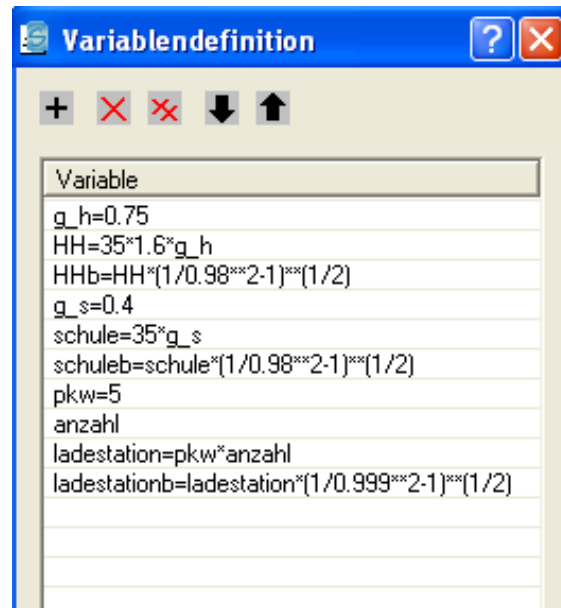
Simulation mit
CERBERUS

Siedlungstyp B

▷ Siedlungstyp G

Ergebnisse

Quellen



- ☐ g_x: Gleichzeitigkeitsfaktor
- ☐ HH/HHb: Wirk- und Blindleistung eines Haushalts
- ☐ pkw: Ladeleistung
- ☐ anzahl: Anzahl der Ladestationen für die erweiterte Analyse

Erweiterte Analyse

Inhalt

Motivation

Analyse

Simulation mit
CERBERUS

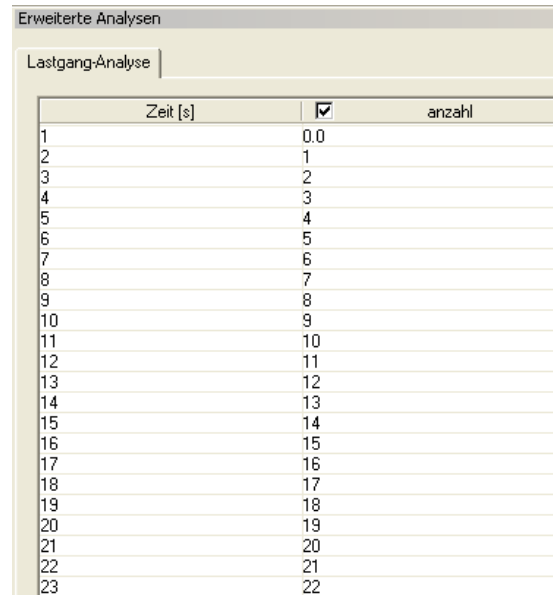
Siedlungstyp B

▷ Siedlungstyp G

Ergebnisse

Quellen

Die erweiterte Analyse simuliert komfortabel die Zunahme von Ladestationen.



The screenshot shows a software window titled 'Erweiterte Analysen' with a sub-tab 'Lastgang-Analyse'. It contains a table with three columns: 'Zeit [s]', a checkbox, and 'anzahl'. The table lists data for 23 rows, with the 'anzahl' column increasing linearly from 0.0 to 22.

Zeit [s]	<input checked="" type="checkbox"/>	anzahl
1		0.0
2		1
3		2
4		3
5		4
6		5
7		6
8		7
9		8
10		9
11		10
12		11
13		12
14		13
15		14
16		15
17		16
18		17
19		18
20		19
21		20
22		21
23		22

Inhalt

Motivation

Analyse

Simulation mit
CERBERUS

▷ Ergebnisse

Siedlungstyp B

Last

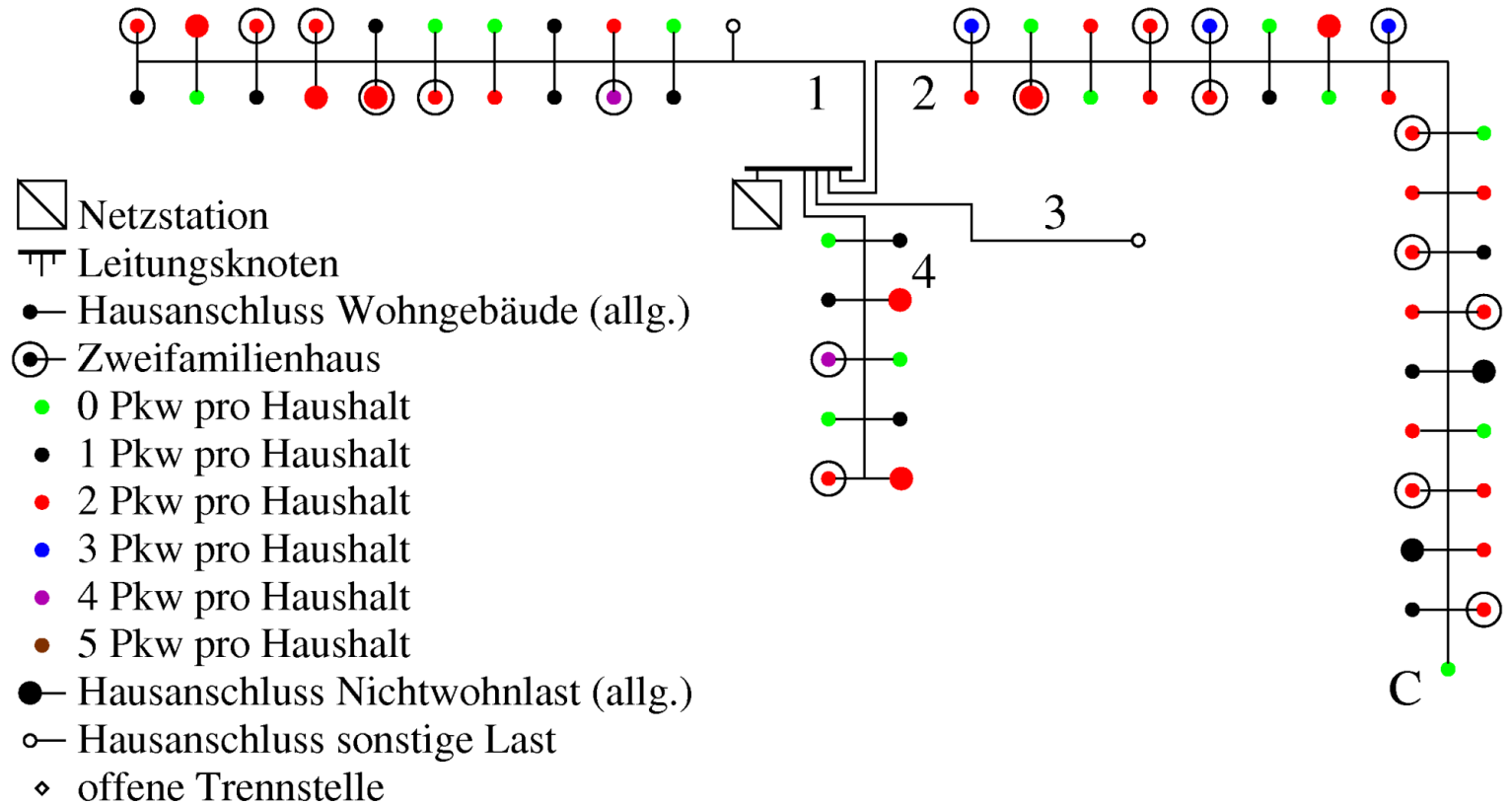
Spannungsverlauf

Quellen

Ergebnisse

Beispiel: Siedlungstyp B

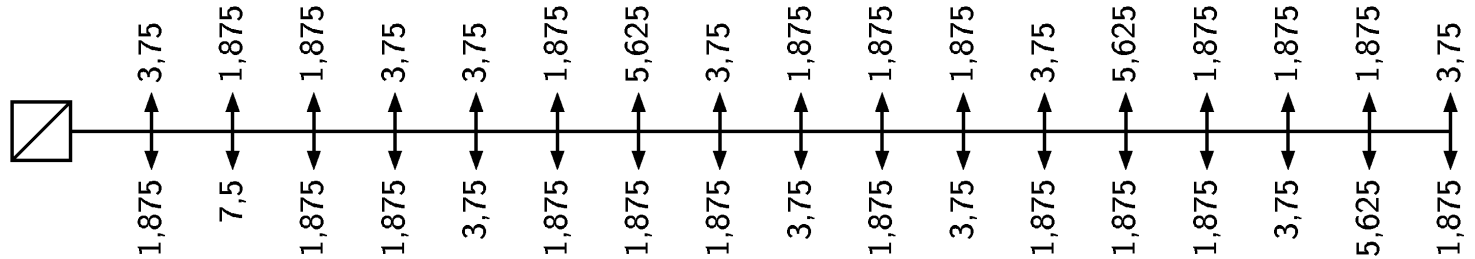
Inhalt
Motivation
Analyse
Simulation mit CERBERUS
Ergebnisse
▷ Siedlungstyp B
Last
Spannungsverlauf
Quellen



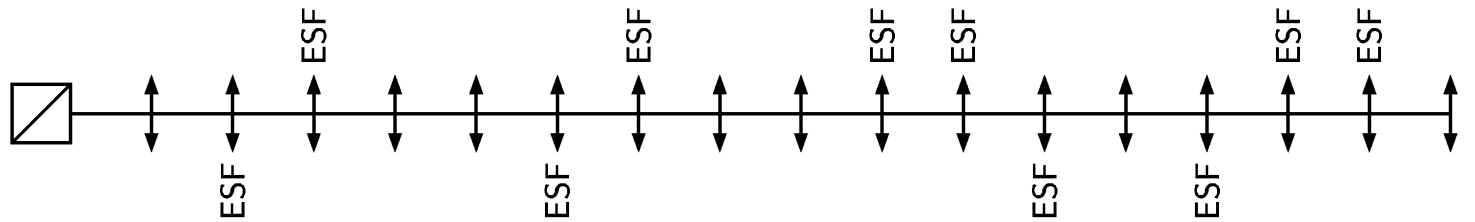
Zusätzliche Lasten

- Inhalt
- Motivation
- Analyse
- Simulation mit CERBERUS
- Ergebnisse
- Siedlungstyp B
 - ▷ Last
- Spannungsverlauf
- Quellen

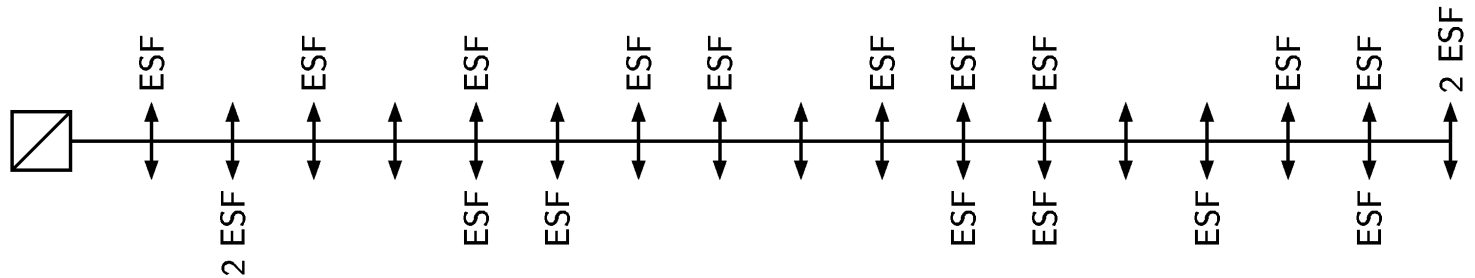
Grundlast ohne Elektrostraßenfahrzeuge in kW



Zusätzliche Lasten durch Elektrostraßenfahrzeuge bei 20 % Elektromobilitätsdurchdringung



Zusätzliche Lasten durch Elektrostraßenfahrzeuge bei 40 % Elektromobilitätsdurchdringung



Spannungsverlauf

Inhalt

Motivation

Analyse

Simulation mit CERBERUS

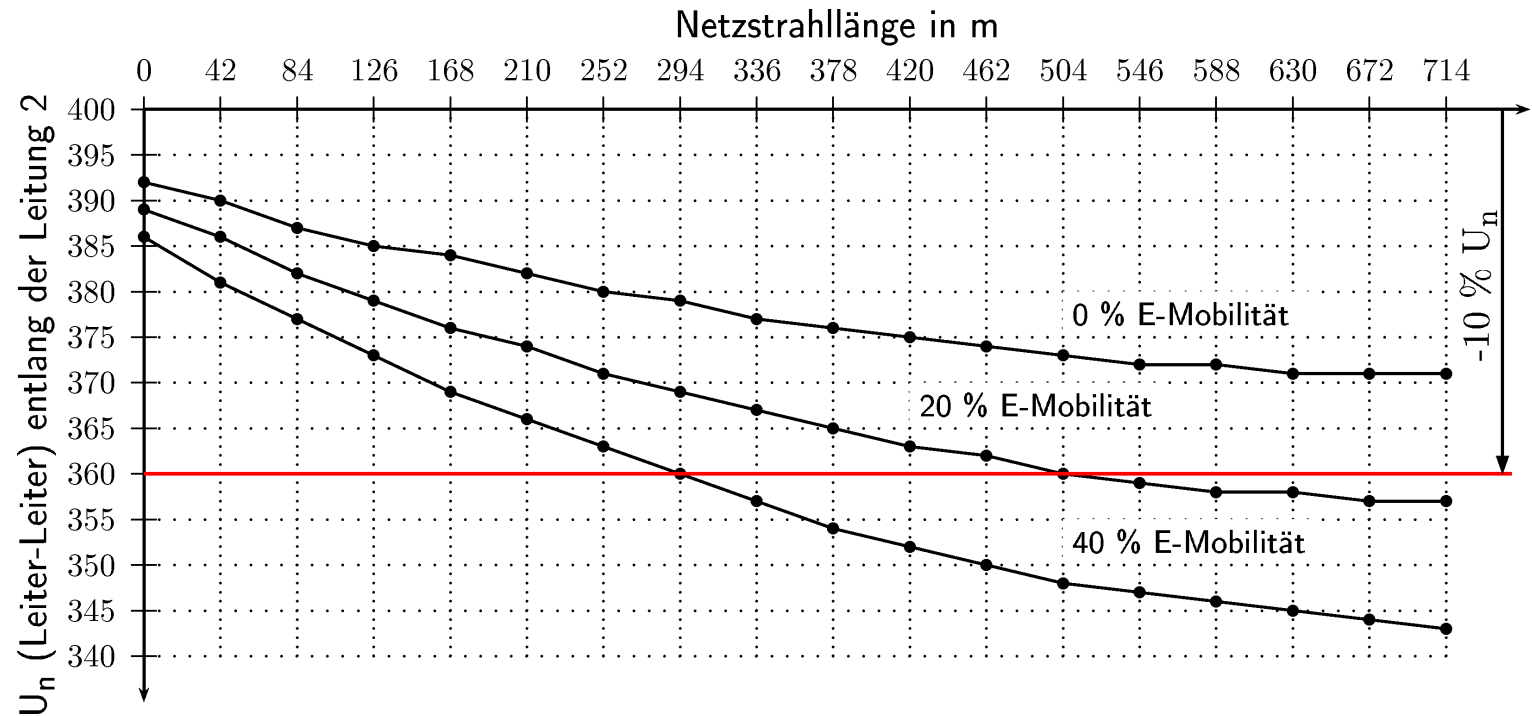
Ergebnisse

Siedlungstyp B

Last

▷ Spannungsverlauf

Quellen



Inhalt

Motivation

Analyse

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

▷ Quellen

Quellen

Quellen

Inhalt	
Motivation	[BUN08] Die Bundesregierung (Hrsg.): <i>Sachstand und Eckpunkte zum Nationalen Entwicklungsplan Elektromobilität</i> . Berlin: Papier der Bundesregierung, 2008
Analyse	[DIW04] Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) Abt. Energie, Verkehr, Umwelt (Hrsg.): <i>Mobilität in Deutschland - Ergebnisbericht</i> . Berlin, 2004
Simulation mit CERBERUS	[RWE09] RWE AG (Hrsg.): <i>RWE präsentiert die Zukunft der Mobilität</i> . URL: http://www.rwe-mobility.com/web/cms/de/236726/rwemobility/ - Download vom 13.06.2009
Ergebnisse	[SCH02] Scheffler, Jörg: <i>Bestimmung der maximal zulässigen Netzanschlussleistung photovoltaischer Energiewandlungsanlagen in Wohnsiedlungsgebieten</i> . Chemnitz: Technischen Universität, Diss., 2002.
Quellen	[VAT09] Vattenfall AB (Hrsg.): <i>Schnell und sauber</i> . URL: http://www.vattenfall.de/www/vf/vf_de/225583xberx/228227umwel/228407klima/228797innov/228917wasse/1550203minix/1565249daten/index.jsp - Download vom 03.05.2009
	[WIR09] Wirtschaftsblatt (Hrsg.): <i>Europa will Standards für Elektroautos und Infrastruktur einführen</i> . URL: http://www.wirtschaftsblatt.at/home/schwerpunkt/dossiers/klimaschutz/365631/index.do - Download vom 04.05.2009

Ende

Inhalt

Motivation

Analyse

Simulation mit
CERBERUS

Ergebnisse

Quellen

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!