

Zukunft in Zahlen: Wie verändert autonomes Fahren die Stadt?



Prof. Dr.-Ing. Marc Gennat

¹Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik
Hochschule Niederrhein

25. November 2016

Marc Gennat

- 2007 Promotion im Fachbereich Elektrotechnik, Universität Wuppertal
- 2008 bis 2010 Projektleiter Elektrotechnik Rheinkalk
- 2010 bis 2015 Energiemanager Rheinkalk/Lhoist
- seit 2014 Professur Automatisierungstechnik Hochschule Niederrhein
- seit 2016 Mitglied im SWK-Energiezentrum E^2

Was ist “autonomes Fahren”?

- Level 0 Fahrer fährt selbst
- Level 1 Assistenzsysteme: adaptiver Tempomat
- Level 2 Teilautomatisierung
Spurhaltefunktion, Längsführung, beschleunigen, abbremsen
- Level 3 Hochautomatisierung
System muss nicht dauernd überwacht werden;
selbstständige Funktionsausführung (Blinker, Spurwechsel)
Fahrer kann und darf sich anderen Dingen zuwenden
- Level 4 Vollautomatisierung
System übernimmt dauerhaft Fahrzeug; wenn System
Fahraufgaben nicht mehr bewältigt, wird Fahrer aufgefordert
- Level 5 Fahrerlose Autos
Nur Start und Ziel wird vorgegeben;
sonst kein menschliches Eingreifen erforderlich

Ziel aller Hersteller: Level 5



- Kein Lenkrad, keine menschliche Eingriffe mehr notwendig
- Mobilität der Zukunft wird sich signifikant unterscheiden

Wann wird Level 5 erreicht?



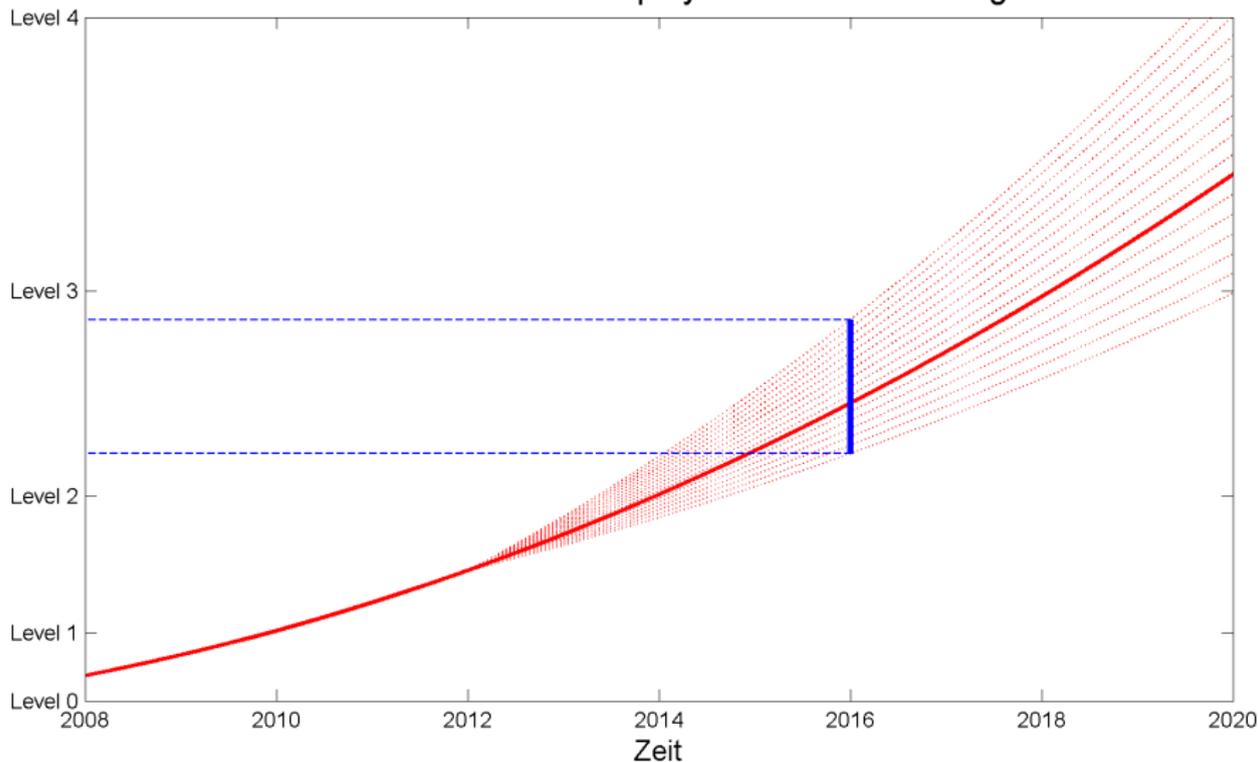
Wann wird Level 5 erreicht?

- Audi Level 4 späte 2020er
- BMW Level 4 in 2021
- Delphi Level 4/5 ab 2019
- Ford Level 4 in 2021
- Honda Level 3 in 2020, "Null Unfälle" in 2040
- Tesla Level 4 um 2018, Hardware ab "jetzt"
- Volvo Level 4 bis 2020

Level 5: (noch) in weiter Ferne (?)

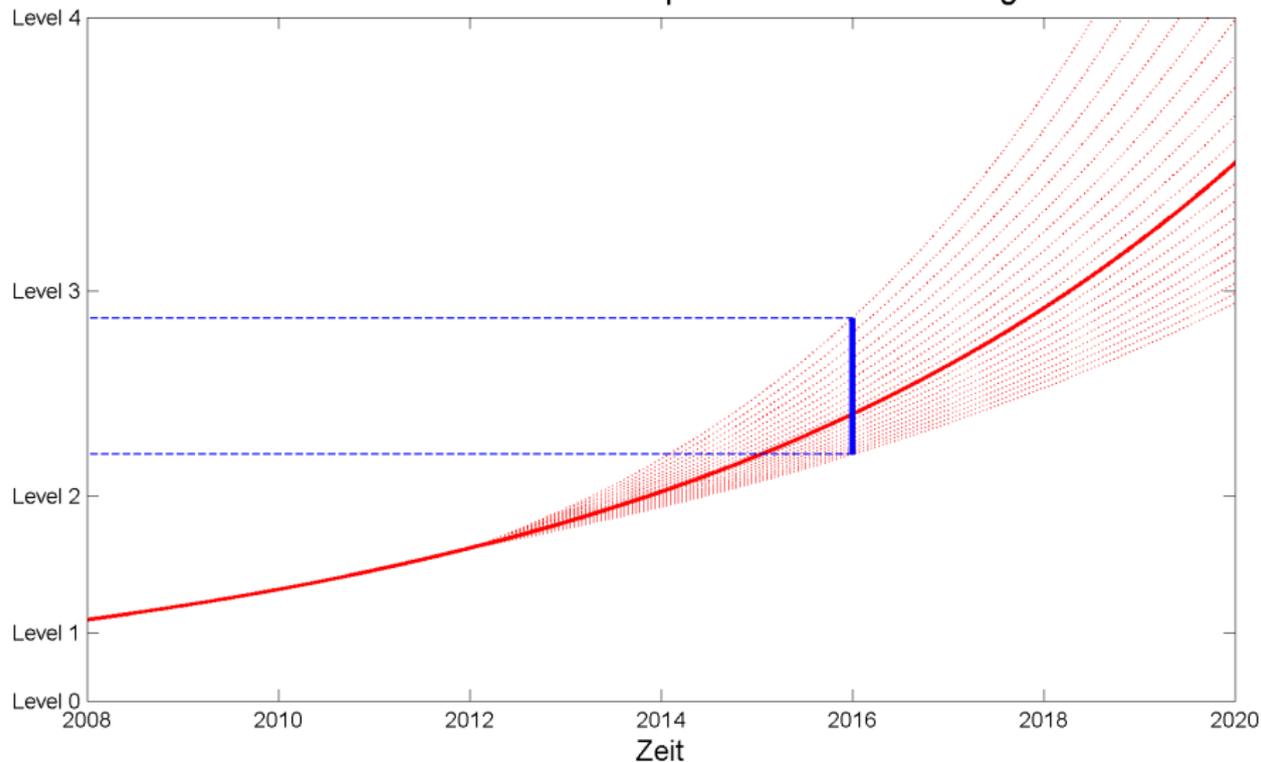
Wann wird Level 5 erreicht?

Level der Autonomie: polynomiale Entwicklung



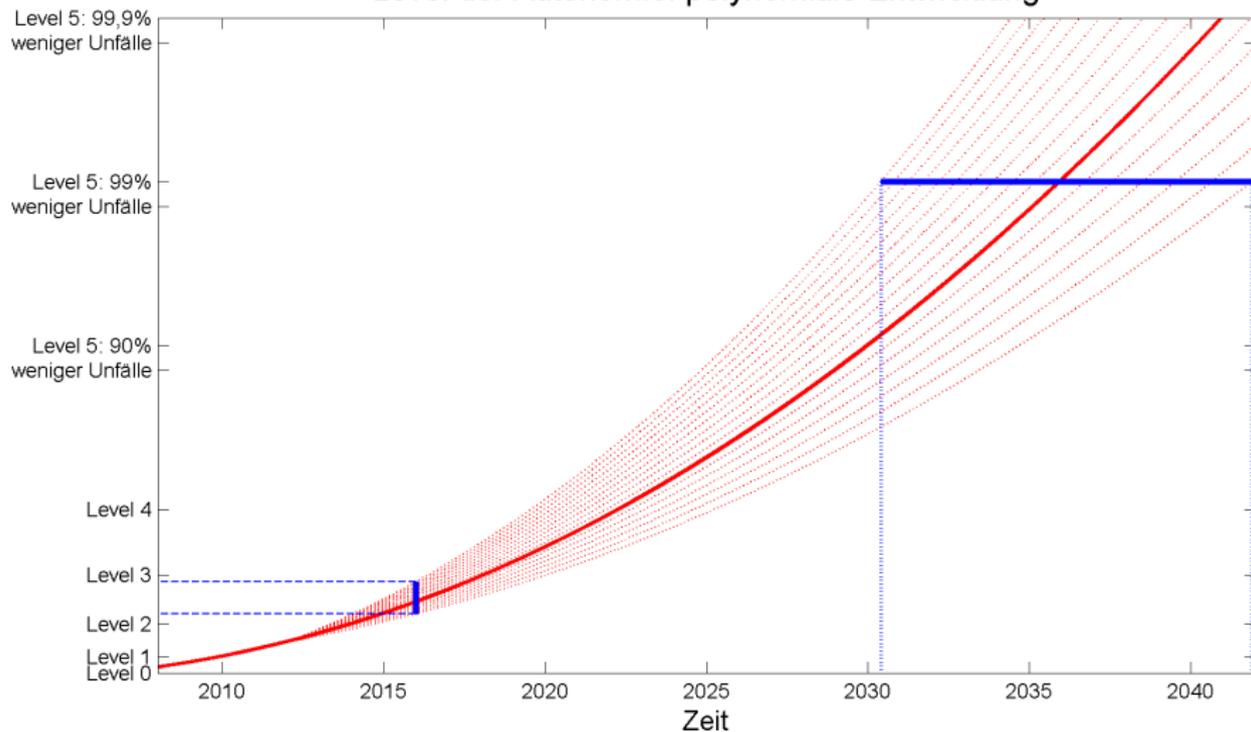
Wann wird Level 5 erreicht?

Level der Autonomie: exponentielle Entwicklung



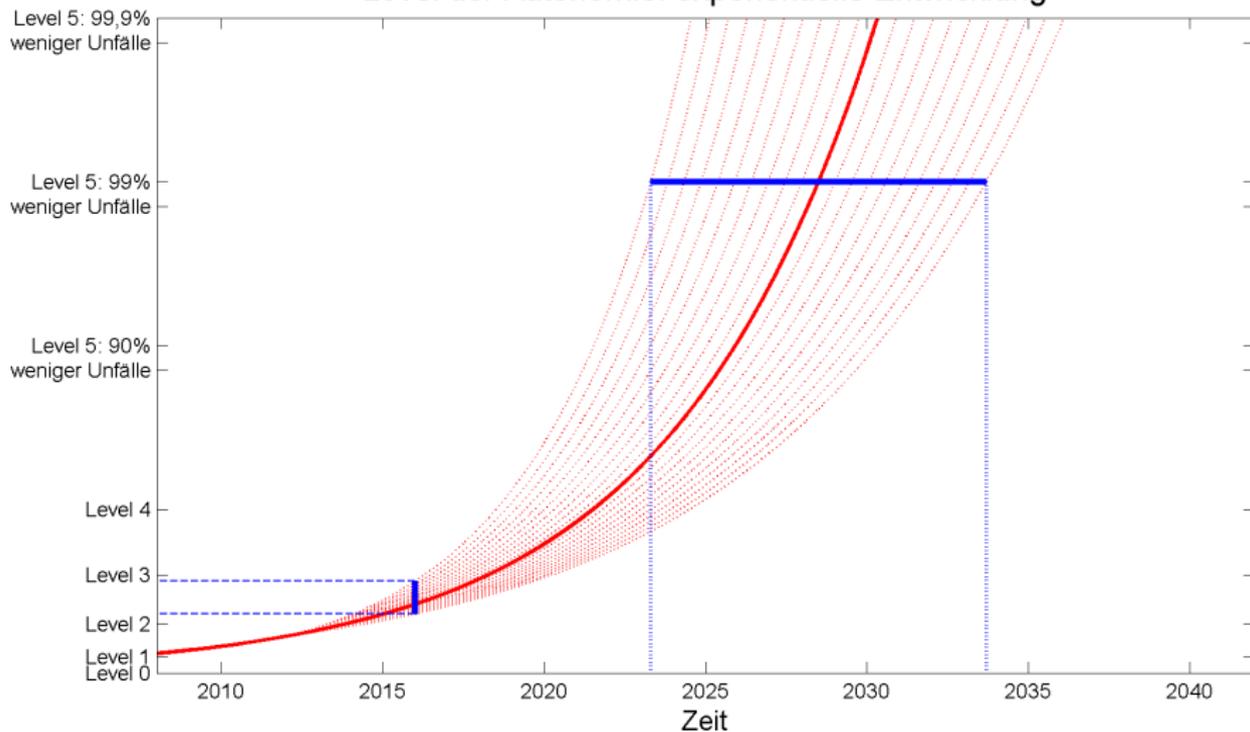
Wann wird Level 5 erreicht?

Level der Autonomie: polynomiale Entwicklung



Wann wird Level 5 erreicht?

Level der Autonomie: exponentielle Entwicklung

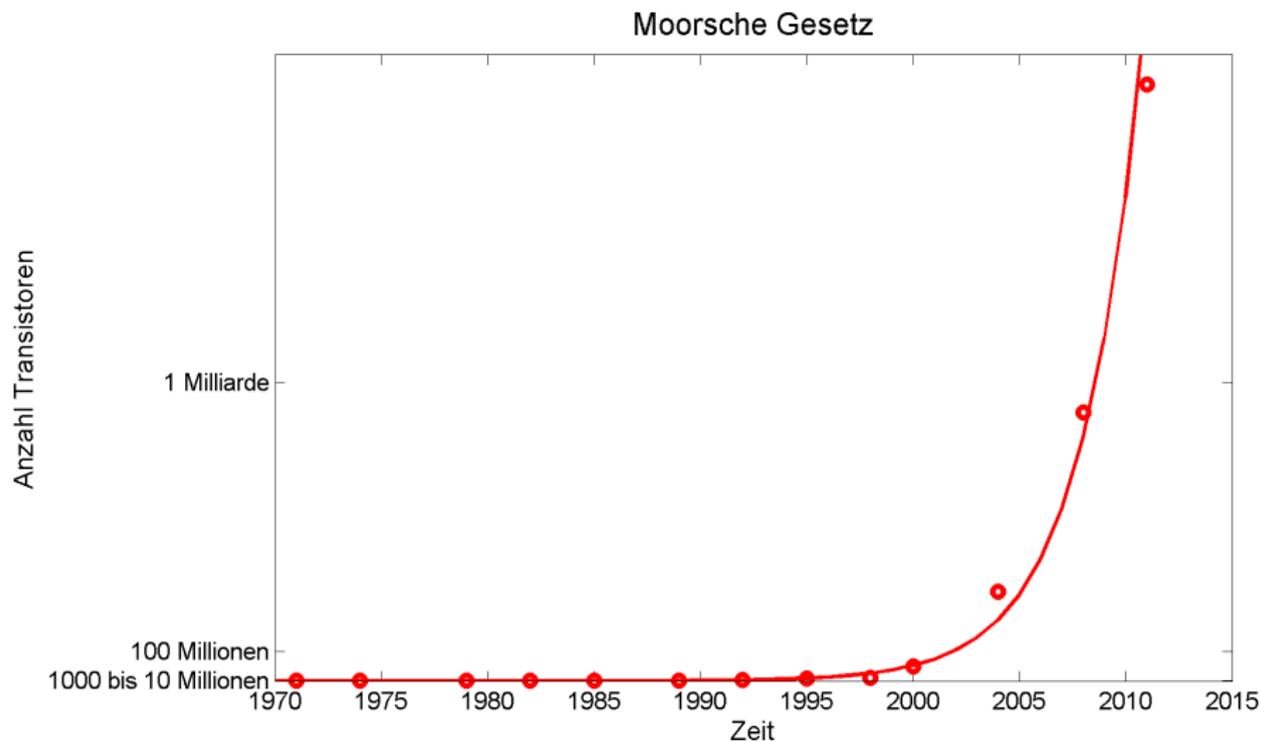


“In einigen Jahrzehnten, wenn autonome Systeme so weit sind, wird man eher das manuelle Fahren als zu gefährlich für die Gesellschaft ansehen”, sekundiert Raúl Rojas, Professor für künstliche Intelligenz an der FU Berlin. **“Eltern werden ihre Kinder schützend auf den Arm nehmen, wenn ein Mensch am Steuer eines vorbeifahrenden Autos sitzt.”** (Technology Review Sep. 2013, Heise Verlag)

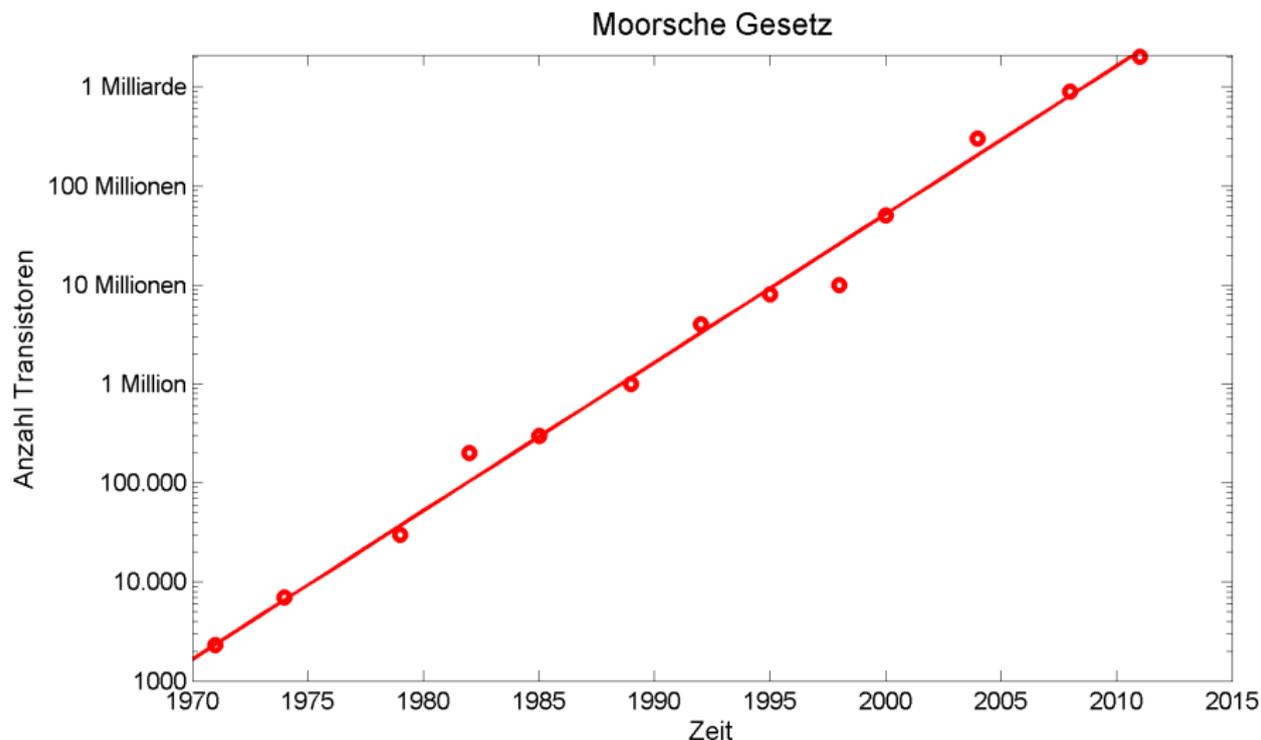


Bildquelle: Volvo Car Germany GmbH

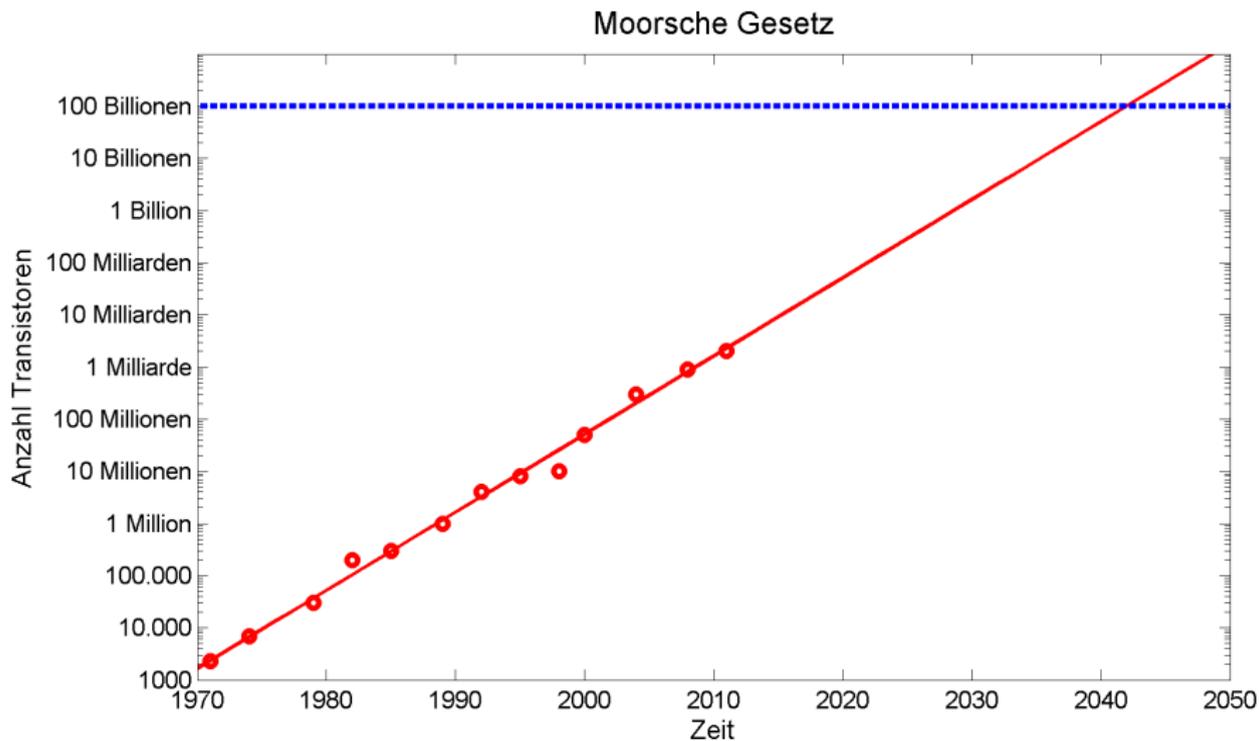
Exponentielles Wachstum?



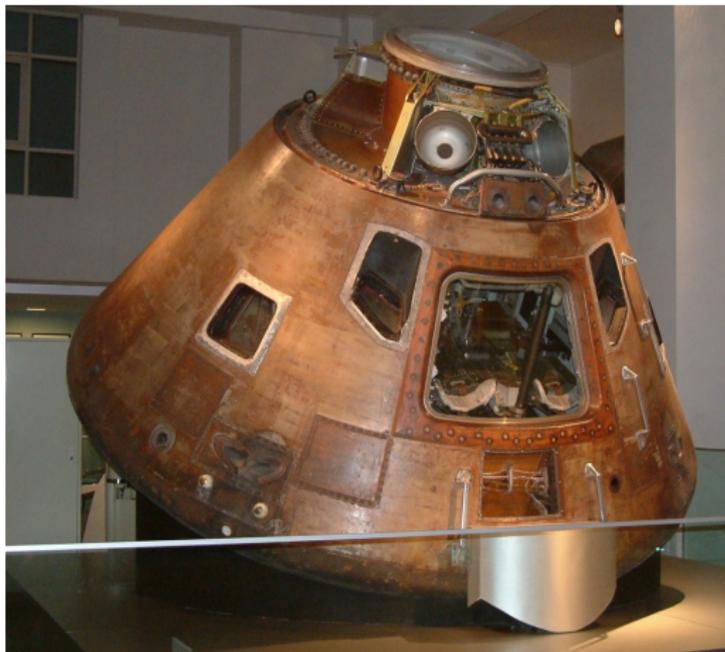
Exponentielles Wachstum?



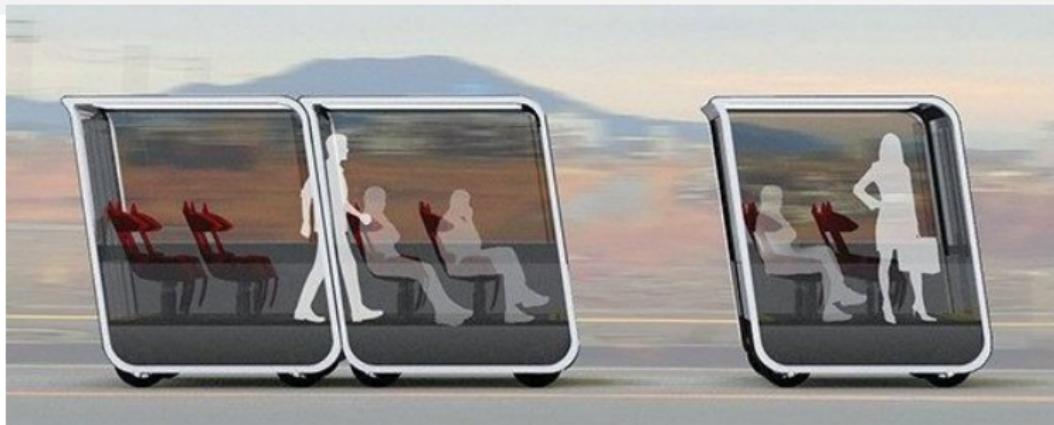
Exponentielles Wachstum?



Exponentielles Wachstum?



MIV oder ÖPNV?



Video Next Future Transport

Bildquelle: Next Future Transport

Vorweg ...

- Anzahl der Wege seit der Antike konstant knapp über 3 Wege pro Tag
- Zeitaufwand aller Wege pro Tag konstant ca. 80 Minuten pro Tag ^a
- Keine Aussagen zur Nutzung des Fahrrads
- Keine Aussagen zur Entwicklung der Intermodalität

^ainfas, DLR: Mobilität in Deutschland 2008, Bonn, Berlin, Februar 2010

Modellstadt Wuppertal

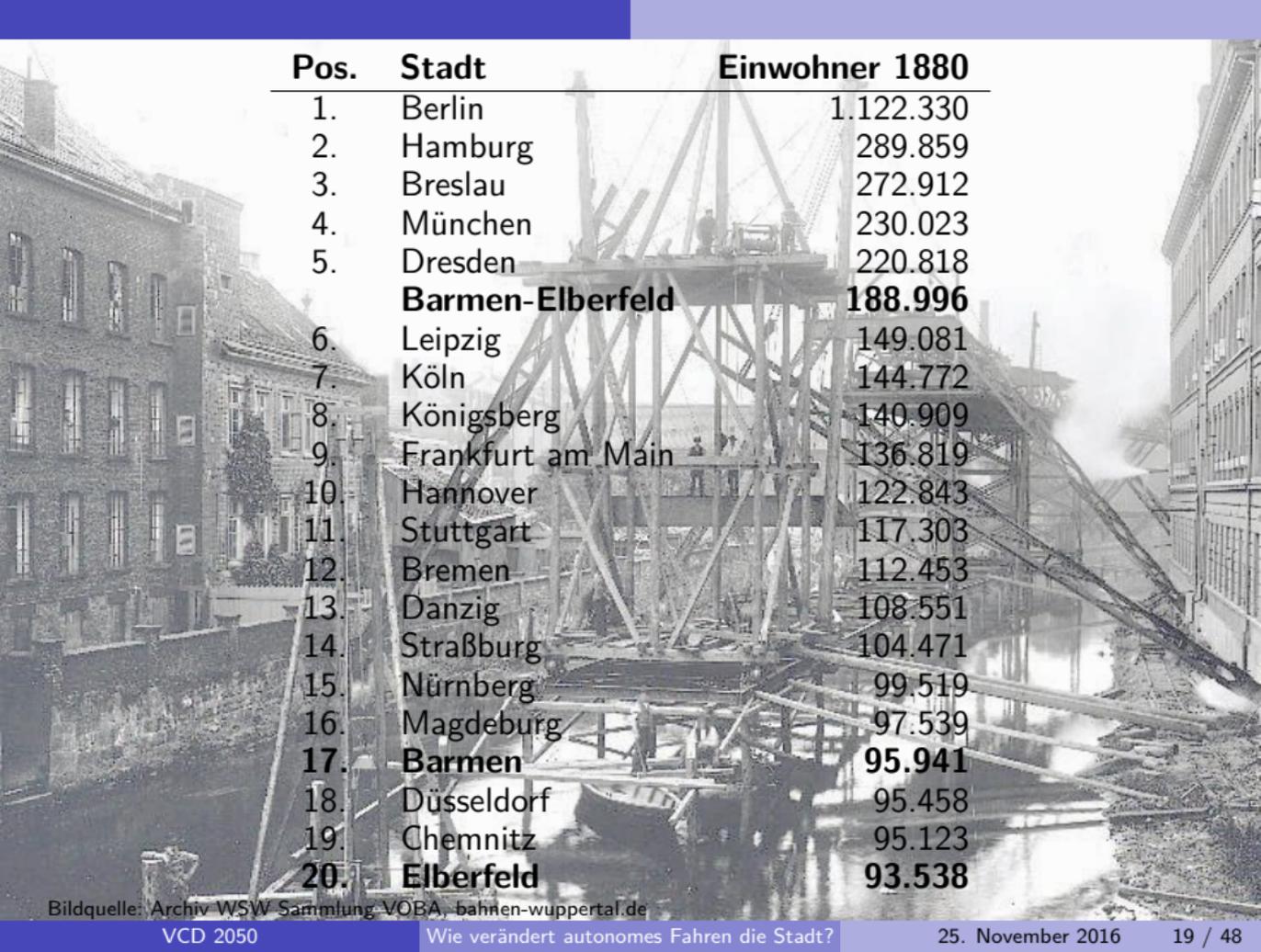


Bildquelle: Wuppertaler Stadtwerke
VCD 2050

Wie verändert autonomes Fahren die Stadt?

25. November 2016

18 / 48



Pos.	Stadt	Einwohner 1880
1.	Berlin	1.122.330
2.	Hamburg	289.859
3.	Breslau	272.912
4.	München	230.023
5.	Dresden	220.818
	Barmen-Elberfeld	188.996
6.	Leipzig	149.081
7.	Köln	144.772
8.	Königsberg	140.909
9.	Frankfurt am Main	136.819
10.	Hannover	122.843
11.	Stuttgart	117.303
12.	Bremen	112.453
13.	Danzig	108.551
14.	Straßburg	104.471
15.	Nürnberg	99.519
16.	Magdeburg	97.539
17.	Barmen	95.941
18.	Düsseldorf	95.458
19.	Chemnitz	95.123
20.	Elberfeld	93.538

Bildquelle: Archiv WSW Sammlung VOBA, bahnen-wuppertal.de

ICE-Durchfahrt,
da Bahnhofshalle
jetzt leider fehlt

21. Gedächtnisbahn
weil 12. ein. der Bahn für
die Fassade nicht reicht

Neuer, megazentraler
Superbusbahnhof

Brücke
statt altem
Tunnel

Großparkplatz statt privatem
Parkhaus. Fläche kann ggf.
auch als Aufmarschplatz zur
Feier der Wiederwahl von
OB Peter Jung dienen

Die neue grüne

Pos.	Stadt	Einwohner 2015
1	Berlin	3.520.031
2	Hamburg	1.787.408
3	München	1.450.381
4	Köln	1.060.582
5	Frankfurt am Main	732.688
6	Stuttgart	623.738
7	Düsseldorf	612.178
8	Dortmund	586.181
9	Essen	582.624
10	Leipzig	560.472
11	Bremen	557.464
12	Dresden	543.825
13	Hannover	532.163
14	Nürnberg	509.975
15	Duisburg	491.231
16	Bochum	364.742
17	Wuppertal	350.046
18	Bielefeld	333.090
19	Bonn	318.809
20	Münster	310.039

Bildquelle: basta-wuppertal.de

Modellstadt Wuppertal

- 355.000 Einwohner
- 198.000 Fahrzeuge

Modal Split

	2002 ^a	2011 ^b	MID2008	Wege 2002	Wege 2011
Wege pro Tag	3,34	3,33	3,4		
MIV	39 %	58 %	43 %	478.380	657.077
MIV Mitfahrer	12 %	NN	15 %	150.556	NN
ÖPNV	16 %	26 %	9 %	199.123	295.456
zu Fuß	30 %	15 %	24 %	369.106	171.114
Fahrrad	0,9 %	1,5 %	10 %	10.927	17.111
Summe	100%	100%	58 %	1.208.093	1.140.758

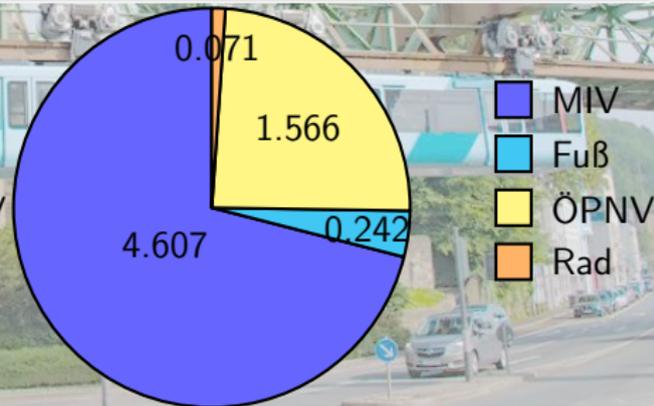
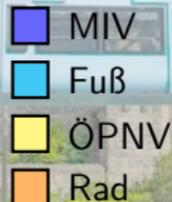
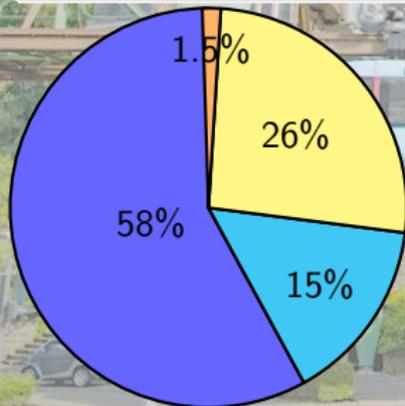
^a Quelle: HHS: Mobilität in Wuppertal 2002, bereinigt nach Tag & Jahreszeit durch WI

^b Quelle: PGV Köln Hoppe & Co. GmbH, Verkehrsbefragung 2011, im Auftrag der Stadt Wuppertal

	Wege 2011 Werktag	Anteil Binnen- verkehr ^a	Wege Binnen- verkehr	Reise- weite in km	Tages- kilometer in Wuppertal
MIV	657.077	77,9 %	511.863	9,0	4.606.765
ÖPNV	295.456	80,3 %	237.251	6,6	1.565.860
Rad	17.111	86,6 %	14.818	4,8	71.129
Fuß	171.114	88,4 %	151.265	1,6	242.023
Summe	1.140.758		915.197	5,7	6.485.776

Im Folgenden werden nur die Binnenfahrten innerhalb Wuppertals betrachtet.

^a Quelle: PGV Köln Hoppe & Co. GmbH, Verkehrsbefragung 2011, im Auftrag der Stadt Wuppertal



Verkehr in den 2030ern: die Vision ...

- (Elektro-)Fahrradanteil nimmt zu
- Elektromobilität in allen Bereichen

Automobilität in den 2030ern

- Level 5 Autonomie ist längst erreicht
- Es gibt mehrere Anbieter für Taxibusse / autonome Pods
- Gesetzgeber führt entfernungs-, orts- und zeitabhängige Maut ein
- Gesetzgeber räumt autonomen Fahrzeugen viel Verkehrsfläche ein



Der Postillon

Ehrliche Nachrichten - unabhängig, schnell, seit 1845

Autobahn-Privatisierung: Linke Spur bald nur noch für Premium-Maut-Zahler



Quelle: der-postillon.com, Bildquelle: Patrick Brentano und Rolf van Melis

Eher so ...

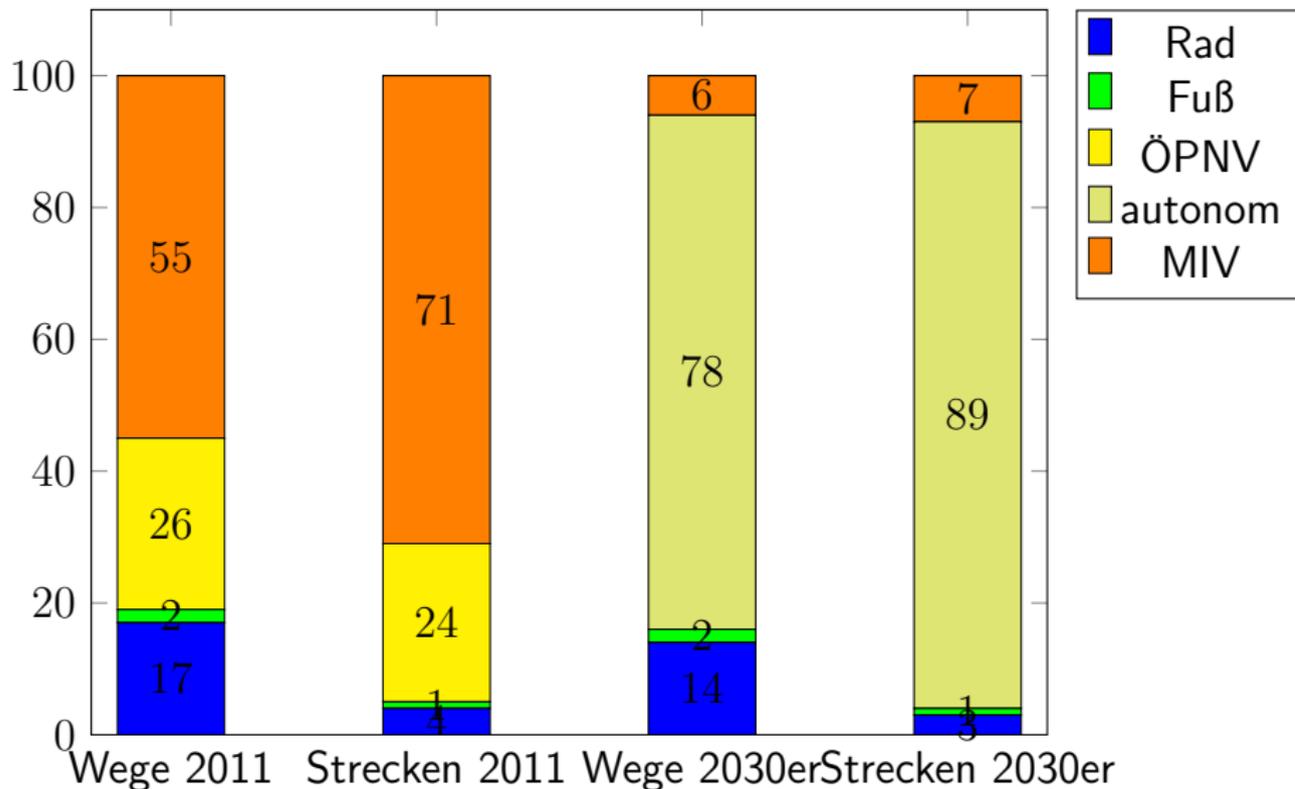


Wuppertal in den 2030ern: die Vision ...

- MIV und ÖPNV: 6,17 Millionen km/Tag
- 90% der MIV-Wege werden mit autonomen Pods zurückgelegt
- 100% des innerstädtischen ÖPNV mit autonomen Pods
- 20% Reboundeffekt durch autonome Pods

	Wege/Tag	Strecke/Tag
Rest-MIV	56.305 Wege	507.000 km
autonome Pods	767.721 Wege	6.034.000 km

Wuppertal in den 2030ern: die Vision ...



12.000 Pods ersetzen ÖPNV und 90% des MIV ...

Uhrzeit	Pods im Einsatz	Anteil 12-Sitzer	Sitzpl. Auslast.	Pers/ Pod	Geschw. km/h	Pers. km
5 Uhr	6.000	10%	23,6%	1,6	21	196.064
6 Uhr	6.000	10%	23,6%	1,6	21	196.064
7 Uhr	12.500	50%	37,5%	3,4	20	844.585
8 Uhr	6.000	35%	29,6%	2,4	21	301.637
9 Uhr	6.000	35%	29,6%	2,4	21	301.637
10 Uhr	6.400	35%	29,9%	2,4	21	325.768
11 Uhr	6.400	35%	29,9%	2,4	21	325.768
12 Uhr	6.400	35%	29,9%	2,4	21	325.768
13 Uhr	7.200	45%	29,6%	2,6	21	389.112
14 Uhr	7.200	45%	29,6%	2,6	21	389.112
15 Uhr	10.000	50%	36,9%	3,3	20	663.602
16 Uhr	10.000	50%	36,9%	3,3	20	663.602
17 Uhr	6.400	25%	24,2%	1,8	21	244.326
18 Uhr	6.400	25%	24,2%	1,8	21	244.326
19 Uhr	5.000	10%	23,9%	1,6	21	165.860
20-22 Uhr	4.000	10%	22,9%	1,5	22	265.441
23-5 Uhr	1.920	10%	10,1%	0,7	25	191.324
Summe			Fzg-km/Tag	2.667.400		6.034.000

12.000 Pods ersetzen ÖPNV und 90% des MIV ...

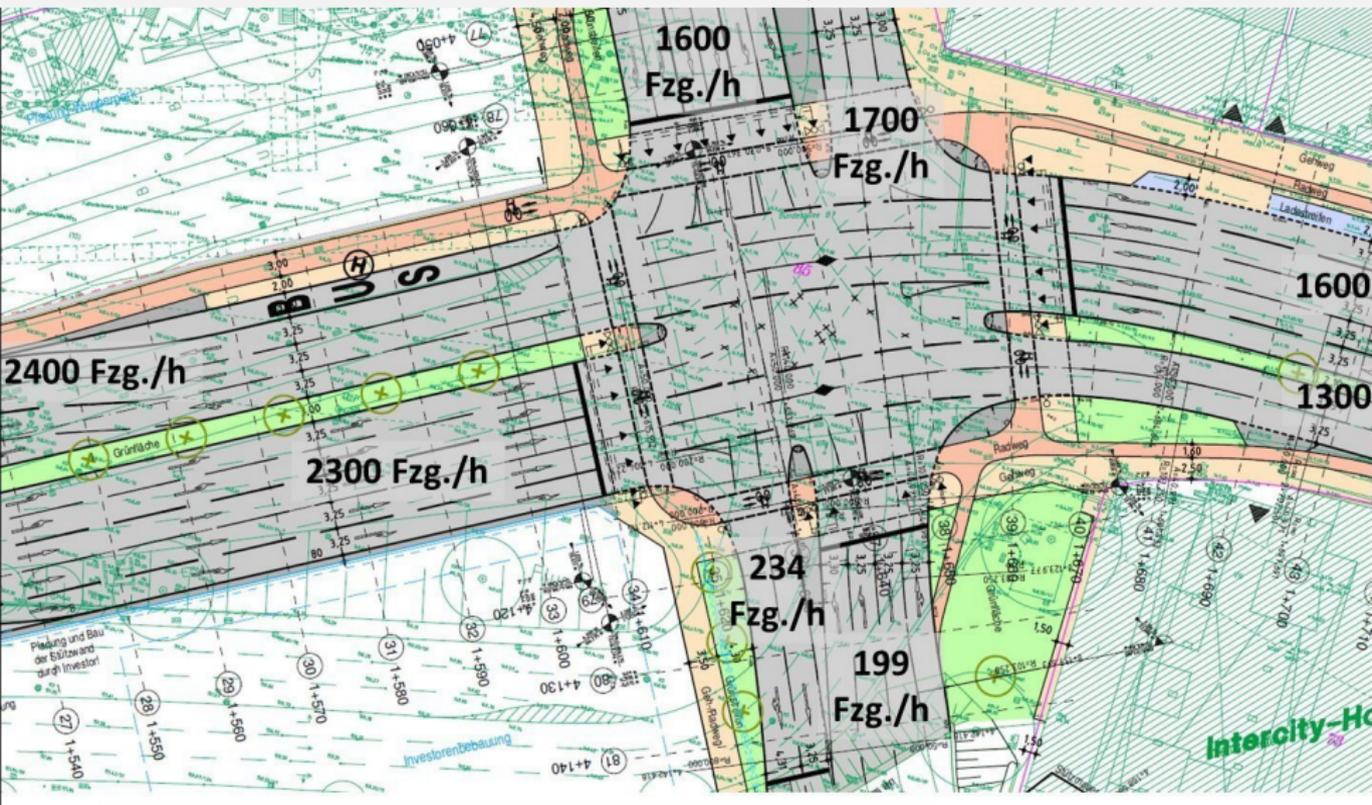
Uhrzeit	Pods im Einsatz	Anteil 12-Sitzer	Sitzpl. Auslast.	Pers/ Pod	Geschw. km/h	Pers. km
5 Uhr	6.000	10%	23,6%	1,6	21	196.064
6 Uhr	6.000	10%	23,6%	1,6	21	196.064
7 Uhr	12.500	50%	37,5%	3,4	20	844.585
8 Uhr	6.000					
9 Uhr	6.000					
10 Uhr	6.400					
11 Uhr	6.400					
12 Uhr	6.400	35%	29,9%	2,4	21	325.108
13 Uhr	7.200	45%	29,6%	2,6	21	389.112
14 Uhr	7.200	45%	29,6%	2,6	21	389.112
15 Uhr	10.000	50%	36,9%	3,3	20	663.602
16 Uhr	10.000	50%	36,9%	3,3	20	663.602
17 Uhr	6.400	25%	24,2%	1,8	21	244.326
18 Uhr	6.400	25%	24,2%	1,8	21	244.326
19 Uhr	5.000	10%	23,9%	1,6	21	165.860
20-22 Uhr	4.000	10%	22,9%	1,5	22	265.441
23-5 Uhr	1.920	10%	10,1%	0,7	25	191.324
Summe			Fzg-km/Tag	2.667.400		6.034.000

Spitzenstunde **Sitzplatz** Auslastung **37,5%**
in Hauptlastrichtung (gem. VDV Richtlinie) bis **65%**
in Gegenrichtung (auch leer mögl.) ab **10%**

Vergleich heute und 2030er

- MIV Fahrzeugkilometer 4,6 Millionen km
- Autonome Pods Fahrzeug-km 2,7 Millionen km
- Linienbusse Fahrzeug-km 45.000 km
- **Reduktion Verkehr um 41%**
- Platooning in Innenstadt: 4 autonome Pods koppeln
- ***gefühlte* Reduktion Verkehr um 85%**

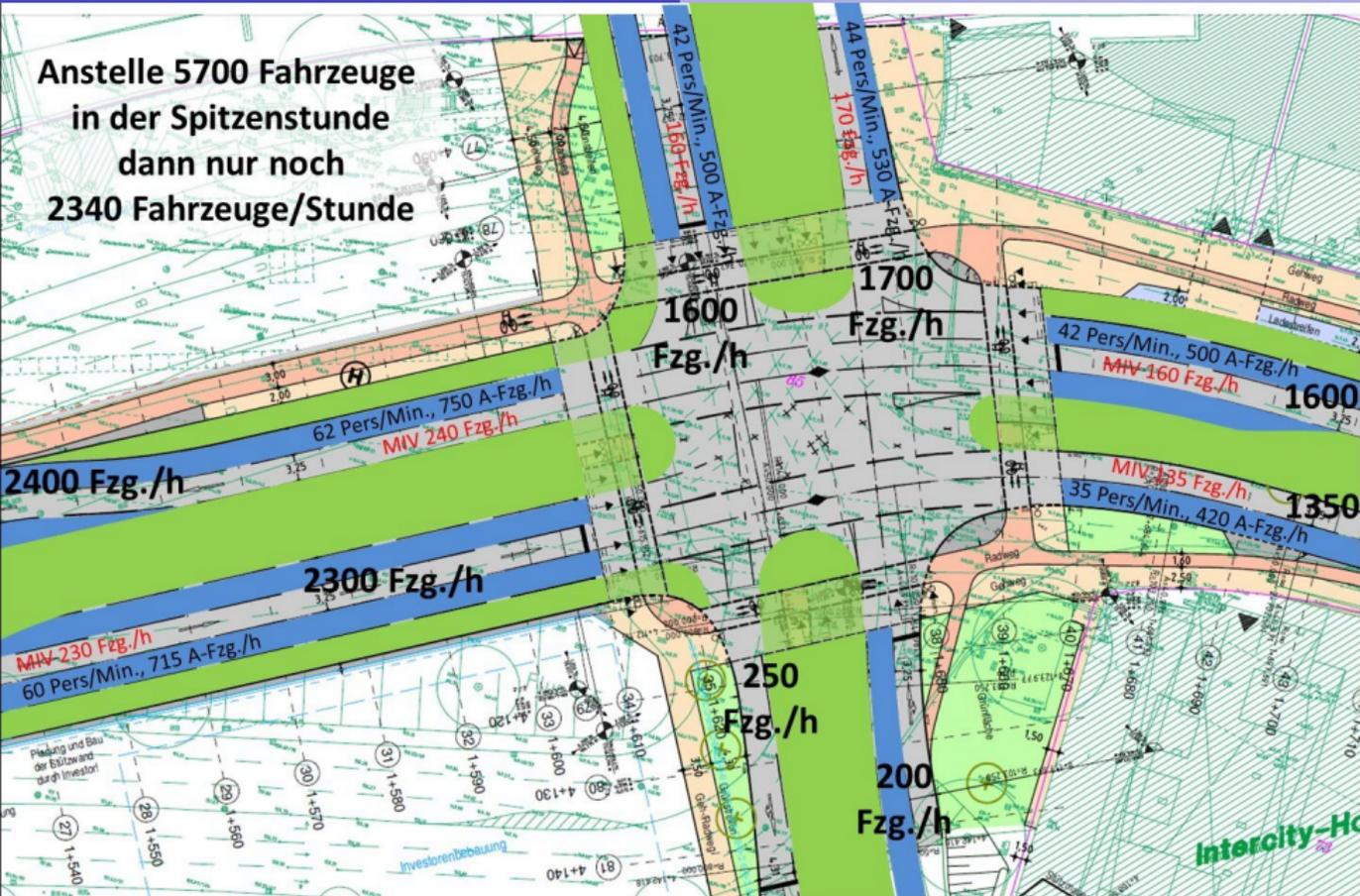
Kreuzung "Döppersberg" / Wuppertal Hbf



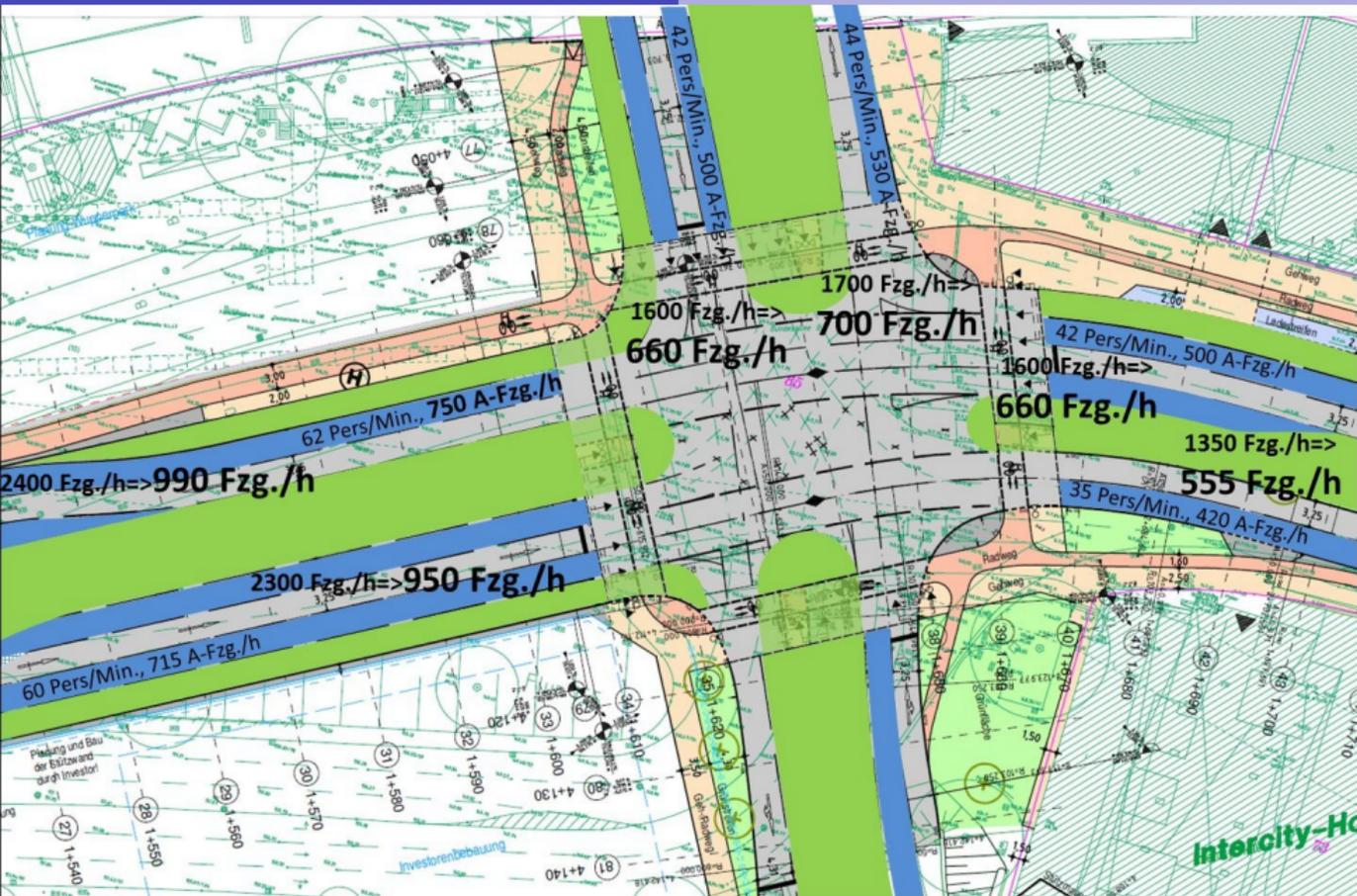


Bildquelle: Schübler-Plan Ingenieuresellschaft mbH, Daten: Ingenieuresellschaft Stolz

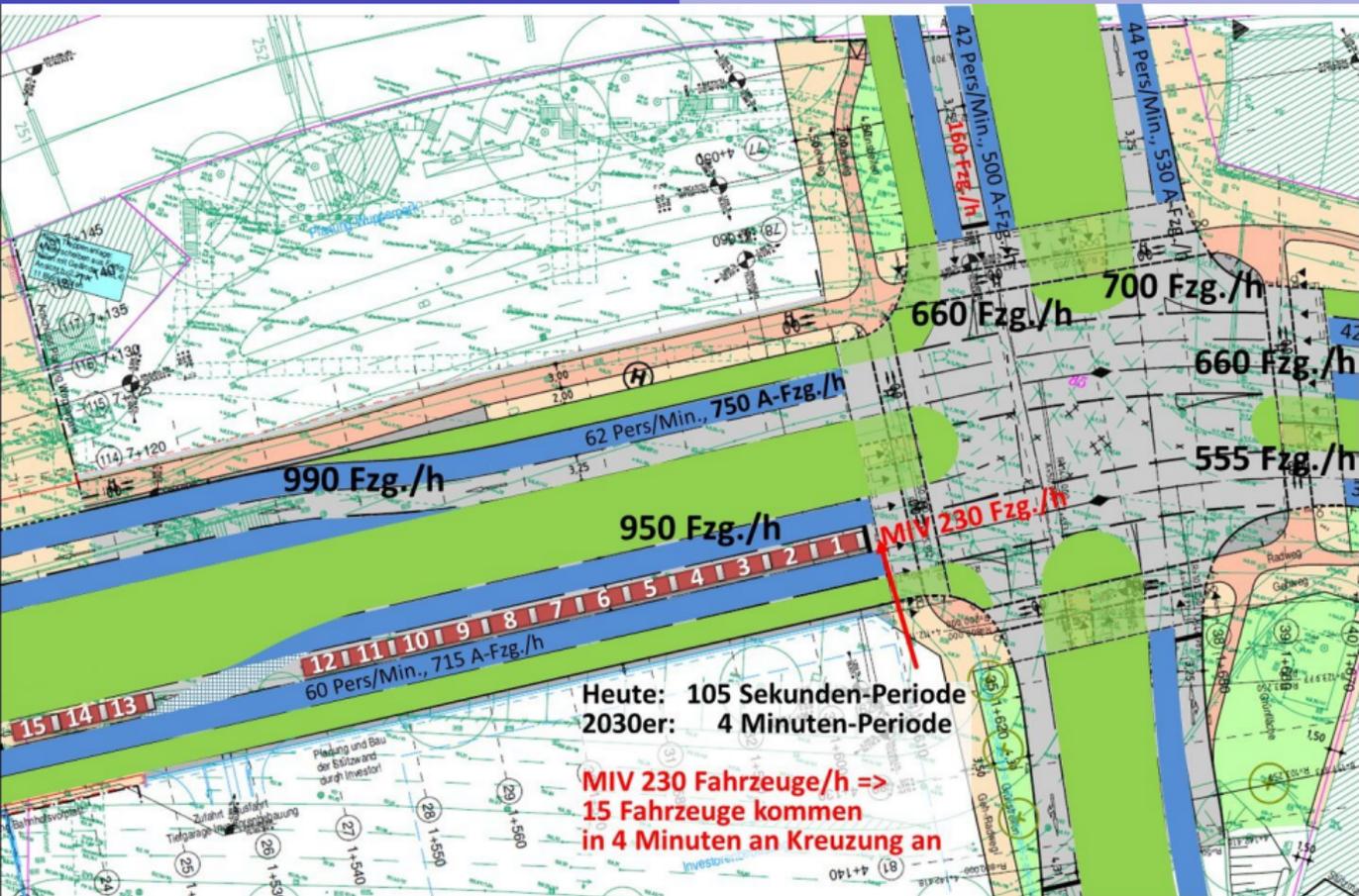
Anstelle 5700 Fahrzeuge
in der Spitzenstunde
dann nur noch
2340 Fahrzeuge/Stunde



Bildquelle: Schübler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH, Daten: Ingenieurgesellschaft Stolz



Bildquelle: Schübler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH

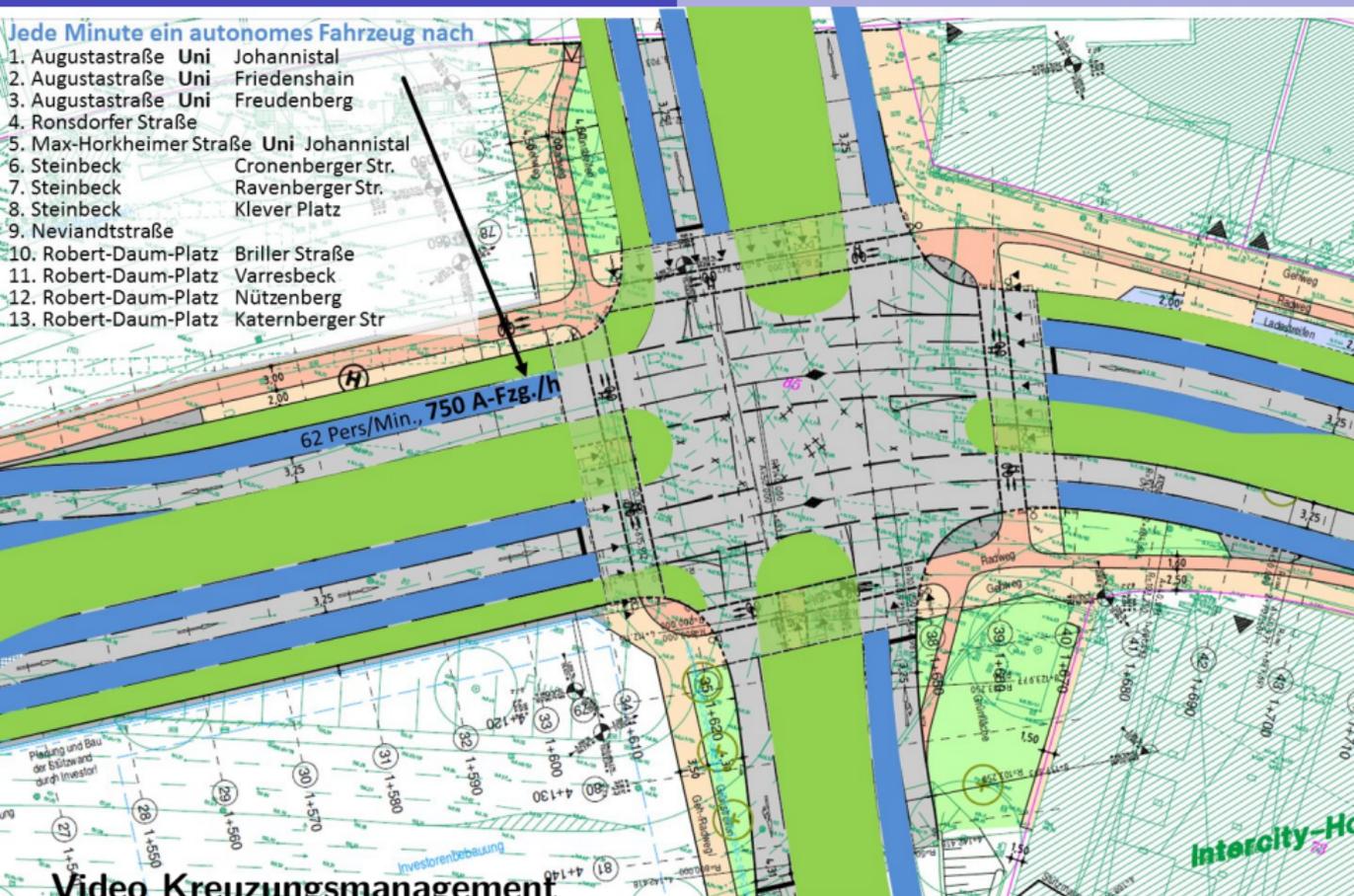


Bildquelle: Schübler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH

Jede Minute ein autonomes Fahrzeug nach

1. Augustastraße Uni Johannistal
2. Augustastraße Uni Friedenshain
3. Augustastraße Uni Freudenberg
4. Ronsdorfer Straße
5. Max-Horkheimer Straße Uni Johannistal
6. Steinbeck Cronenberger Str.
7. Steinbeck Ravenberger Str.
8. Steinbeck Klever Platz
9. Neviantstraße
10. Robert-Daum-Platz Briller Straße
11. Robert-Daum-Platz Varresbeck
12. Robert-Daum-Platz Nützenberg
13. Robert-Daum-Platz Katernberger Str

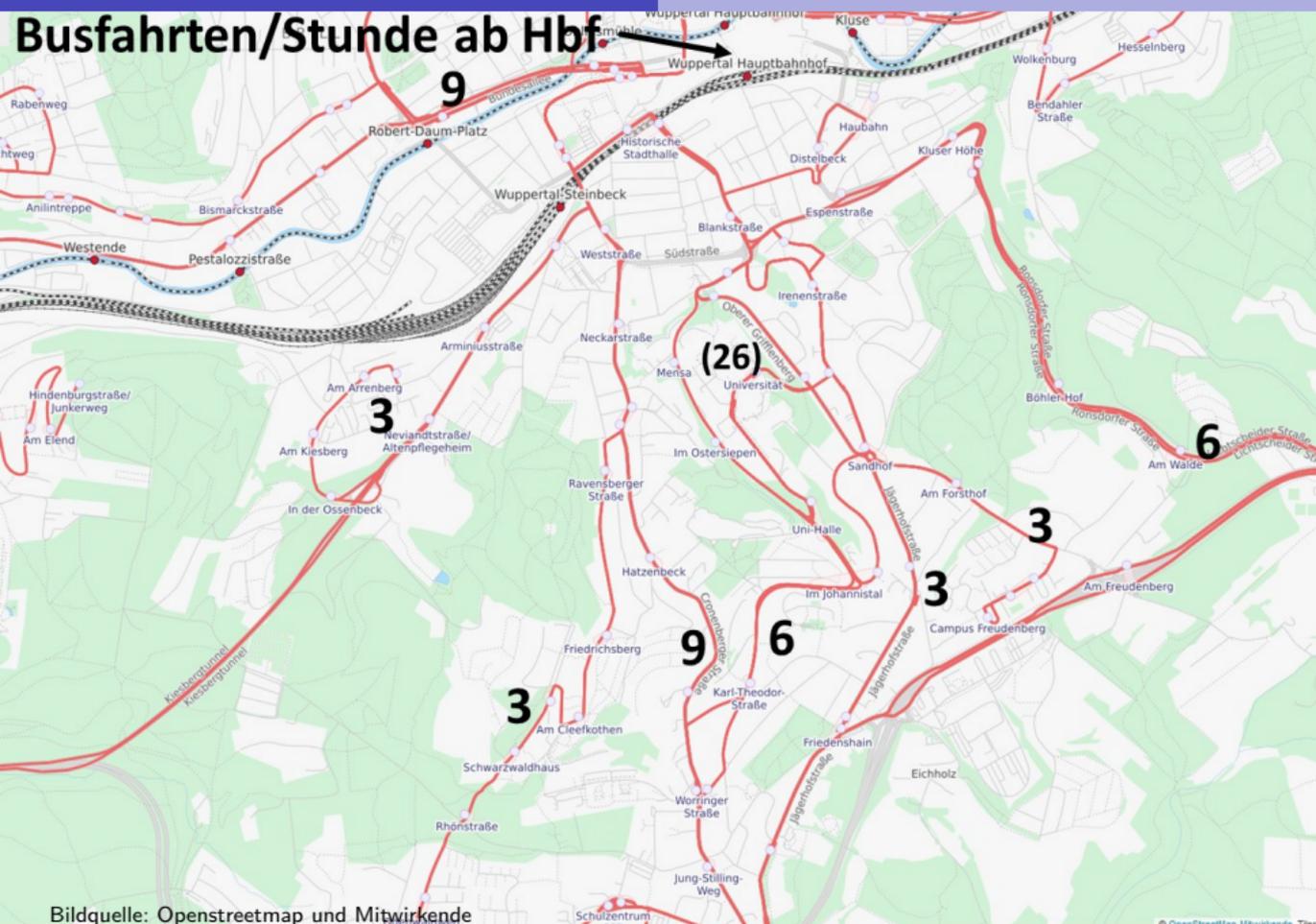
62 Pers./Min., 750 A-Fzg./h



Video Kreuzungsmanagement

Bildquelle: Schübler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH

Busfahrten/Stunde ab Hbf



Bildquelle: Openstreetmap und Mitwirkende

Warum verzichten 90% auf ihr Auto?

Jetzt

- Auto-Kilometer **34 Cent**^a
- Zeitaufwand Parkplatzsuche, Werkstatt, Tanken
- demnächst Maut, später **zeitabhängige Citymaut**

^a Quelle: ADAC Autokosten Polo 1.0 TSI BlueMotion 34,2 ct/km

Vision 2030

- autonome Pods Personen-Kilometer **11 Cent**
- (meist) umsteigefrei, (so gut wie) keine Wartezeit
- (oft) nur mit Familie/Freunde im Pod

Verhaltensänderung, wenn persönlicher Nutzen groß genug ist

Kein eigenes Auto ...

- wenn “Fahrerlebnis” besser ist als im eigenen Auto
 - Privatsphäre: oft **alleine/Familie**
 - Verfügbarkeit: **jederzeit**
 - Nicht selber **fahren**, nicht selber **kümmern**
- wenn Reisezeit nicht länger ist
- wenn Kosten nicht höher sind

Kann dies Wirklichkeit werden?

“Economy Class” im ÖPNV



Bildquelle: Local Motors Inc.

VCD 2050

Wie verändert autonomes Fahren die Stadt?

25. November 2016

41 / 48

“Business Class” im ÖPNV



“First Class” im ÖPNV



Bildquelle: Andy Lutten, www.andystravelblog.com

VCD 2050

Wie verändert autonomes Fahren die Stadt?

25. November 2016

43 / 48

Vision 2030

Kosten

Mitfahrer

Tür zu Tür-Service

Umsteigefrei

Abholfenster

Bürgerticket

20 €/Mon.

HVZ durchschn.
6 Pers./Pod

niemals

nicht garantiert

ca. 10 Min.

Economy Class

50 €/Mon.

HVZ durchschn.
4 Pers./Pod

Nebenverkehrszeit

nicht garantiert

ca. 5 Min.

Business Class

Kosten

Mitfahrer

Tür zu Tür-Service

Umsteigefrei

Abholfenster

150 €/Mon.

HVZ 2,5 Pers./Pod
sonst Family&Friends

jederzeit

Nebenverkehrszeit

ca. 3 Min.

First Class

500 €/Mon.

Family&Friends

jederzeit

jederzeit

ca. 2 Min.

Kosten Solobus ^a	spez. Kosten	Bus/Jahr
Antrieb/Diesel	0,56 €/km	33 T€
Fahrzeugkosten	0,89 €/km	53 T€
Instandhaltung	0,13 €/km	8 T€
Reifen	0,19 €/km	12 T€
Tägl. Versorgung	0,13 €/km	8 T€
Overhead	0,65 €/km	39 T€
Fahrdienst	1,96 €/km	118 T€
Kosten Bus/km	4,50 €/km	270 T€
19 Pers./Bus	0,237 €/Pkm	
Fahrleistung		60.000 km

^a P. Frank, Markus Friedrich, Johannes Schlaich: Betriebskosten von Busverkehren schnell und genau ermitteln, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, ETH Zürich und Lehrstuhl für Verkehrsplanung und Verkehrsleittechnik, Universität Stuttgart, 2008; inflationiert mit 4%

Solobus	spez. Kosten	Bus/Jahr
Kosten Bus/km	4,50 €/km	270 T€
19 Pers/Bus	0,237 €/Pkm	
Fahrleistung		60.000 km

autonome Pods	spez. Kosten	Pod/Jahr
Antrieb	0,035 €/km	3 T€
Fahrzeugkosten	0,157 €/km	13 T€
Instandhaltung	0,018 €/km	2 T€
Reifen	0,009 €/km	1 T€
Tägl. Versorgung	0,007 €/km	1 T€
Overhead	0,001 €/km	0 T€
Servicepersonal	0,025 €/km	2 T€
Kosten Pod/km	0,252 €/km	21 T€
2,24 Pers/Pod	0,112 €/Pkm	
Fahrleistung		85.000 km

Ist Vision zu schön, um wahr zu werden?



Bildquelle: Markus Bachmann, VCD

VCD 2050

Wie verändert autonomes Fahren die Stadt?

25. November 2016

47 / 48

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit

Bildquellenverzeichnis

- S. 4: Michael Shick, Creative Commons-Lizenz 4.0 Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, commons.wikimedia.org/wiki/File:Google_self_driving_car_at_the_Googleplex.jpg
- S. 5, 6: Kora27, Creative Commons-Lizenz 3.0 Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, commons.wikimedia.org/wiki/File:Drebacher_Krokuswiesen_im_Glaskugel..IMG_8164WI.jpg
- S. 11: Volvo Car Germany GmbH, www.media.volvocars.com
- S. 15: Paul Hudson, Creative Commons-Lizenz 2.0 Namensnennung, [commons.wikimedia.org/wiki/File:Apollo_Capsule_\(1\).jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Apollo_Capsule_(1).jpg)
- S. 15: Pixeden.com, Creative Commons-Lizenz 3.0 Namensnennung, www.pixeden.com/psd-mock-up-templates/3-4-iphone-6-psd-vector-mockup
- S. 17: Next Future Transportation, www.next-future-mobility.com
- S. 18, 21, 22, 23: Wuppertaler Stadtwerke AG, neue-schwebebahn.de
- S. 19: Archiv WSW Sammlung VOBA, bahnen-wuppertal.de
- S. 20: basta-wuppertal.de/2011/03/potemkin-am-doppersberg/
- S. 24: Patrick Brentano, Creative Commons-Lizenz 3.0 Namensnennung, thenounproject.com/term/crown/3174/
- S. 24: Rolf van Melis, Creative Commons-Lizenz 2.0 Namensnennung, Weitergabe unter gleichen Bedingungen, de.wikipedia.org/wiki/Datei:Autobahn_A44_1.jpg
- S. 31 bis 36: Ingenieurgesellschaft Stolz
- S. 31 bis 36: Schüßler-Plan Ingenieurgesellschaft mbH
- S. 37 und 38: Openstreetmap und Mitwirkende, Open Database Licence www.opendatacommons.org/licenses/odbl
- S. 41: Local Motors
- S. 42: Daimler AG, media.daimler.com
- S. 43: Andy Luten, Creative Commons-Lizenz 4.0 Namensnennung, nicht-kommerziell, www.andystravelblog.com
- S. 47: Markus Bachmann, VCD Verkehrsclub Deutschland e.V., www.vcd.org/themen/verkehrssicherheit/vcd-staedtecheck/
- S. 47: pixabay.com, Creative Commons CC0-Lizenz