

Autonomes Fahren am Limit

Learnings vom Siegerteam der Indy

Autonomous Challenge

Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp

Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Munich Institute of Robotics and Machine Intelligence (MIRMI)

Technische Universität München





Time	Speed	Position	Distance	Time	Speed	Position	Distance
00:00:00	0	1	0	00:00:00	0	1	0
00:00:01	100	1	100	00:00:01	100	1	100
00:00:02	200	1	200	00:00:02	200	1	200
00:00:03	300	1	300	00:00:03	300	1	300
00:00:04	400	1	400	00:00:04	400	1	400
00:00:05	500	1	500	00:00:05	500	1	500
00:00:06	600	1	600	00:00:06	600	1	600
00:00:07	700	1	700	00:00:07	700	1	700
00:00:08	800	1	800	00:00:08	800	1	800
00:00:09	900	1	900	00:00:09	900	1	900
00:00:10	1000	1	1000	00:00:10	1000	1	1000
00:00:11	1100	1	1100	00:00:11	1100	1	1100
00:00:12	1200	1	1200	00:00:12	1200	1	1200
00:00:13	1300	1	1300	00:00:13	1300	1	1300
00:00:14	1400	1	1400	00:00:14	1400	1	1400
00:00:15	1500	1	1500	00:00:15	1500	1	1500
00:00:16	1600	1	1600	00:00:16	1600	1	1600
00:00:17	1700	1	1700	00:00:17	1700	1	1700
00:00:18	1800	1	1800	00:00:18	1800	1	1800
00:00:19	1900	1	1900	00:00:19	1900	1	1900
00:00:20	2000	1	2000	00:00:20	2000	1	2000
00:00:21	2100	1	2100	00:00:21	2100	1	2100
00:00:22	2200	1	2200	00:00:22	2200	1	2200
00:00:23	2300	1	2300	00:00:23	2300	1	2300
00:00:24	2400	1	2400	00:00:24	2400	1	2400
00:00:25	2500	1	2500	00:00:25	2500	1	2500
00:00:26	2600	1	2600	00:00:26	2600	1	2600
00:00:27	2700	1	2700	00:00:27	2700	1	2700
00:00:28	2800	1	2800	00:00:28	2800	1	2800
00:00:29	2900	1	2900	00:00:29	2900	1	2900
00:00:30	3000	1	3000	00:00:30	3000	1	3000
00:00:31	3100	1	3100	00:00:31	3100	1	3100
00:00:32	3200	1	3200	00:00:32	3200	1	3200
00:00:33	3300	1	3300	00:00:33	3300	1	3300
00:00:34	3400	1	3400	00:00:34	3400	1	3400
00:00:35	3500	1	3500	00:00:35	3500	1	3500
00:00:36	3600	1	3600	00:00:36	3600	1	3600
00:00:37	3700	1	3700	00:00:37	3700	1	3700
00:00:38	3800	1	3800	00:00:38	3800	1	3800
00:00:39	3900	1	3900	00:00:39	3900	1	3900
00:00:40	4000	1	4000	00:00:40	4000	1	4000
00:00:41	4100	1	4100	00:00:41	4100	1	4100
00:00:42	4200	1	4200	00:00:42	4200	1	4200
00:00:43	4300	1	4300	00:00:43	4300	1	4300
00:00:44	4400	1	4400	00:00:44	4400	1	4400
00:00:45	4500	1	4500	00:00:45	4500	1	4500
00:00:46	4600	1	4600	00:00:46	4600	1	4600
00:00:47	4700	1	4700	00:00:47	4700	1	4700
00:00:48	4800	1	4800	00:00:48	4800	1	4800
00:00:49	4900	1	4900	00:00:49	4900	1	4900
00:00:50	5000	1	5000	00:00:50	5000	1	5000



TUM Autonomous Motorsport

7 Rennstrecken, 2 Rennserien, 2 Fahrzeuge, 1 Ziel

A2RL



260 km/h



IAC

300 km/h



› Von der Rennstrecke in den Straßenverkehr


TUM Autonomous Driving

EDGAR | Wiesn Shuttle




EDGAR

Autonomes Forschungsfahrzeug

 Kamera, Lidar, Radar

 IMU, GNSS, MIMO

 x86, ARM

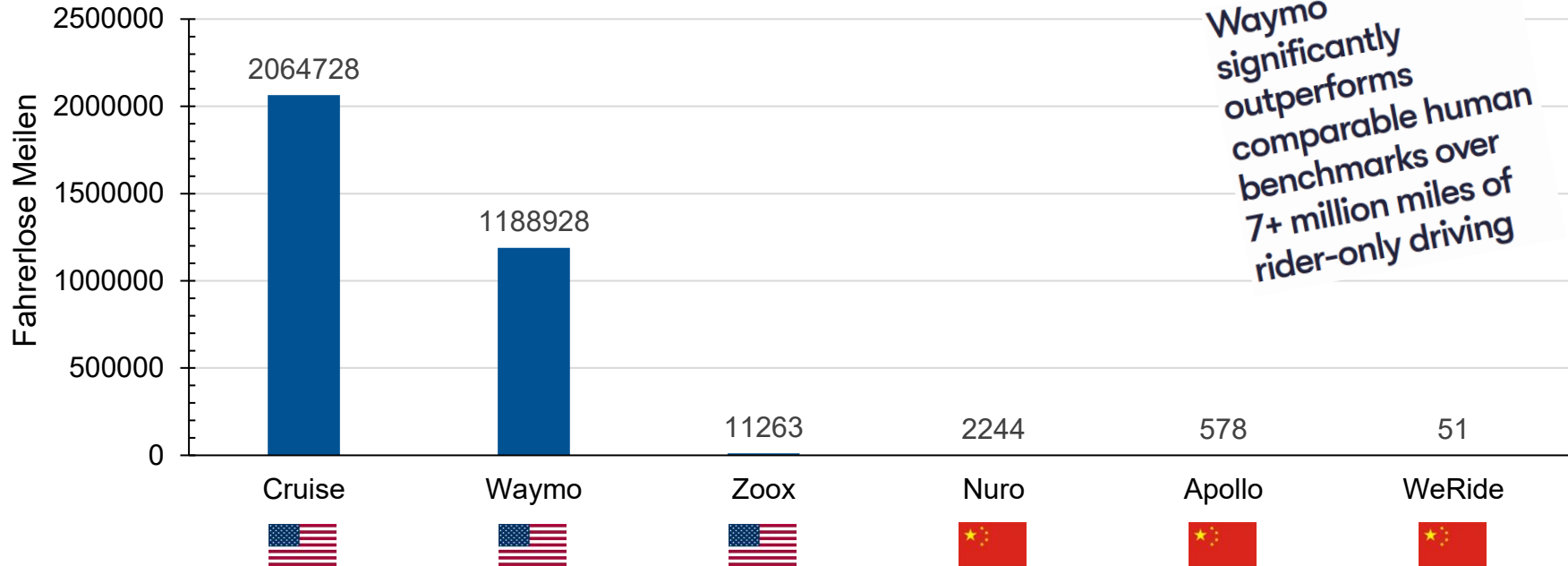
 Straßenzulassung





~~Woran scheitert das autonome Fahren?~~

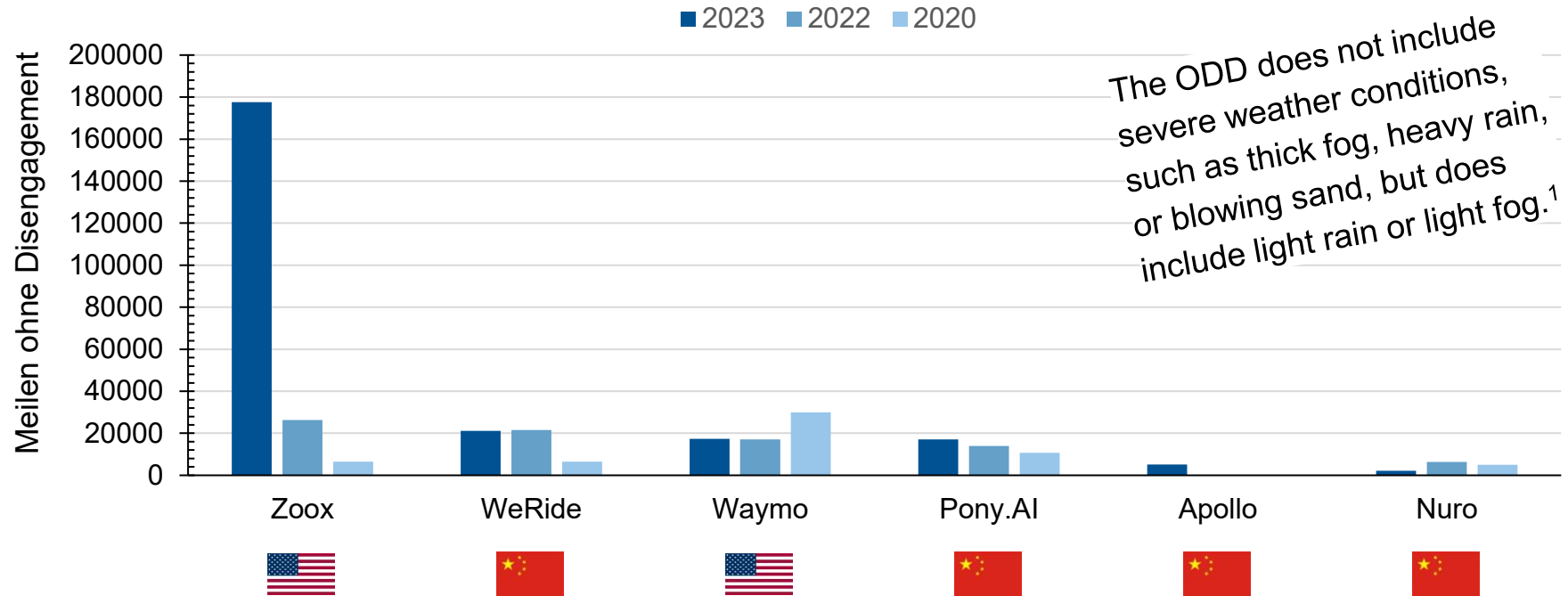
Fahrerlose Meilen in Kalifornien ohne Sicherheitsfahrer in 2023



Waymo significantly outperforms comparable human benchmarks over 7+ million miles of rider-only driving

Warum stockt die Einführung autonomer Fahrzeuge?

Fahrerlose Meilen in Kalifornien pro Disengagement



¹Kusano, Kristofer D., et al. "Comparison of Waymo Rider-only crash data to human benchmarks at 7.1 million miles."

Zentrale Herausforderungen



Edge Cases



Skalierbarkeit

Motorsport als ideales Testfeld

- Hoch dynamisch
- Komplexe Interaktionen
- Unstrukturierte Umgebungen
- Hohe Unsicherheiten



Die Wiesn als ultimative Herausforderung

„Wer es hier schafft, der schafft es überall auf der Welt“ - Markus Blume

- Menschenmassen
- Dichter Verkehr
- Komplexe Interaktionen
- Vielfältige Objektklassen
- Herausfordernde Verkehrsführung



Zentrale Herausforderungen



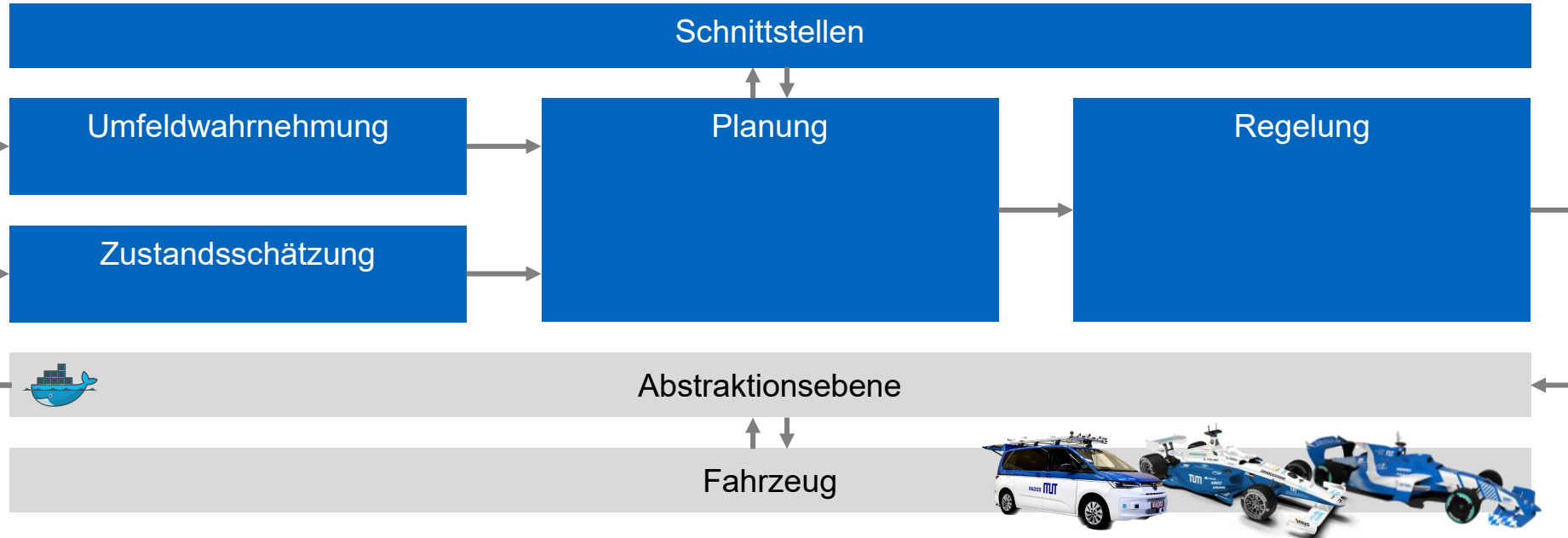
Edge Cases



Skalierbarkeit

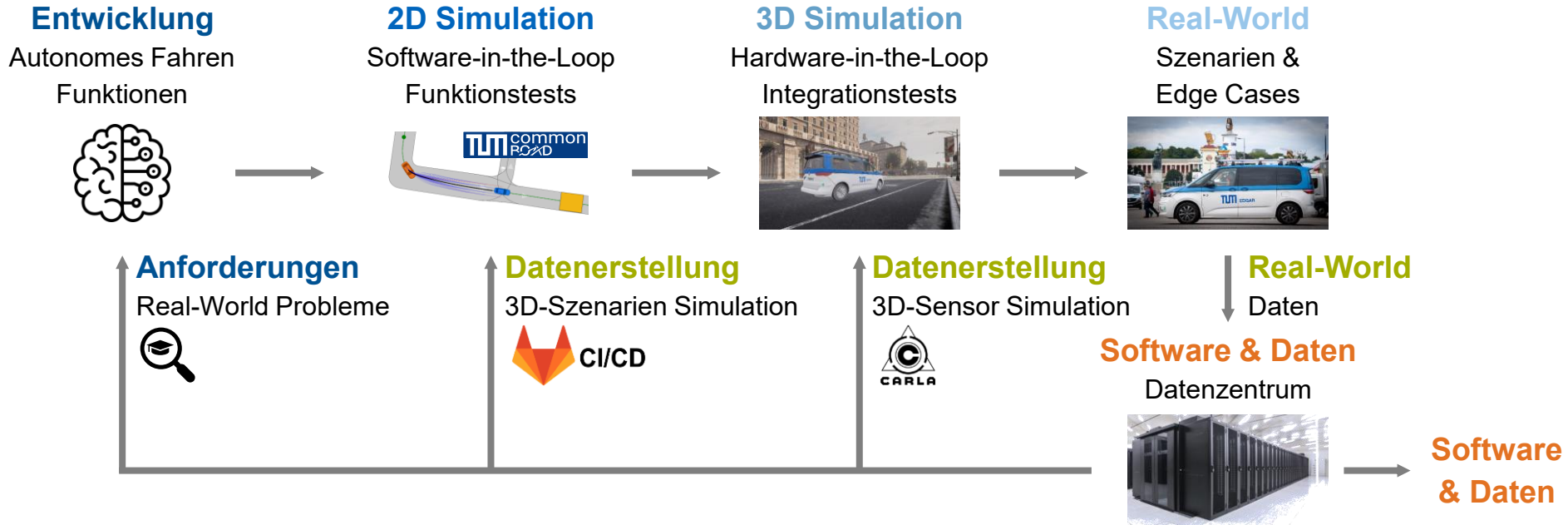
Portable Software

Zur Bedienung unterschiedlicher Plattformen



Ganzheitlicher Entwicklungsprozess

Der Schlüssel zur Skalierung



Teleoperation als AV Enabler

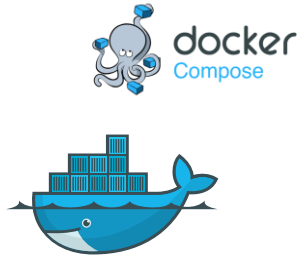
Rückfallebene für die sicheren Skalierung

- Überwachung
- ODD Erweiterung
- Übernahme in Grenzfällen
- Auflösen von Pattsituationen

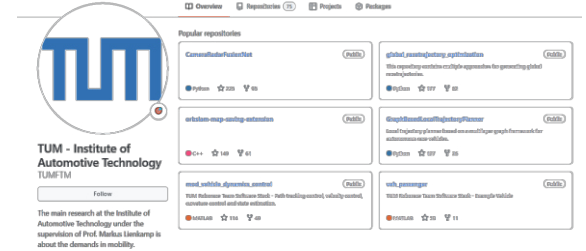
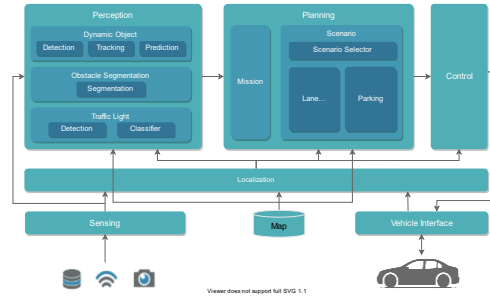


Keiner schafft es alleine

Open Source, Open Data, Open Mind



ROS



Open Source
Tools



Standardisierte
Architektur



Open Source
Code



Stay tuned



Prof. Dr.-Ing. Markus Lienkamp

Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik

Munich Institute of Robotics and Machine Intelligence (MIRMI)

Technische Universität München



