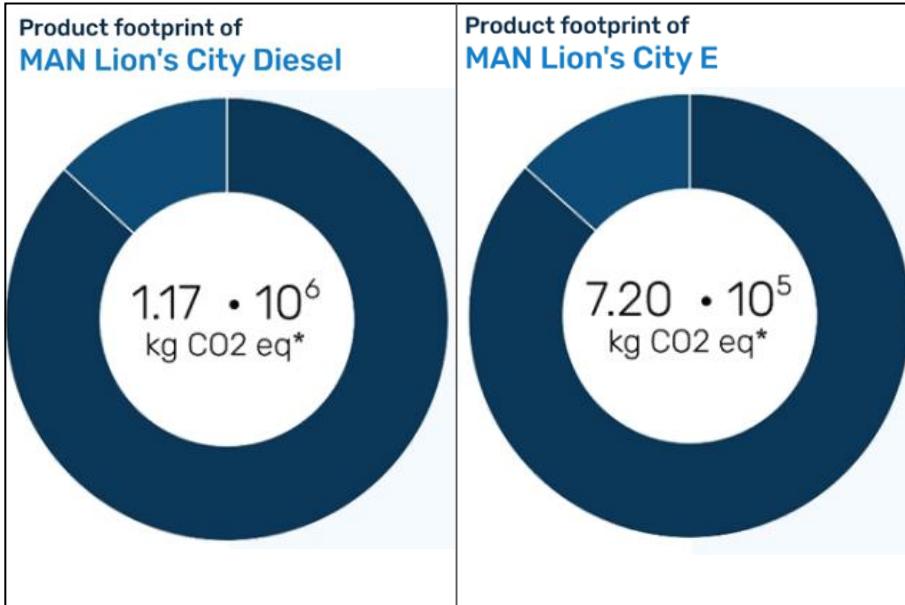


# Arten und Umsetzung der Elektrifizierung einer ÖPNV-Busflotte

## Bachelor's Thesis von Philip Rust

### Mentoren:

Dr.-Ing. Antonios Tsakarestos  
M. Eng. Markus Fischer



Die zwei am häufigsten angewandten Umsetzungsstrategien für eine Busflotten-Elektrifizierung sind das Depotladen und das Gelegenheitsladen. Beide wurden für die Buslinie 54 der MVG geprüft. Dafür wurde zunächst der tatsächliche Umlaufplan der Linie bestimmt, mit dem Ziel, das erlangte Wissen über Elektrofahrzeuge und deren Betrieb darauf anwenden zu können. Das Betrachtungs-Szenario war eine vollständige Umstellung der Linie bei einem unveränderten Fahrplan.

Für die Depotladung (Bild rechts) wurden auf Basis der getroffenen Annahmen (Reichweite < 250 km) 9 der 19 Umläufe als zu lang identifiziert, was einen zusätzlichen Fahrzeugbedarf bedeutet. Dieser lässt sich durch eine geschickte Aufteilung der Fahrten auf die zusätzlichen Fahrzeuge auf 4 (im Bild farbig) reduzieren.

Technisch lässt sich die Elektrifizierung durch Depotladung rasch realisieren, sofern auf den Betriebshöfen genug Ladeinfrastruktur bereitgestellt werden kann.

Die Elektrifizierung des öffentlichen Personennahverkehrs (ÖPNV) ist eine wichtige Maßnahme zur Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes im Verkehrssektor. Ziel der Arbeit ist es zu zeigen, dass diese Aussage wissenschaftlich fundiert ist und wie eine Umsetzung konkret erfolgen kann. Dafür wurde zunächst eine Lebenszyklus-Analyse (Programm: Mobius, Ecochain) von Diesel- im Vergleich zu Batteriebusen durchgeführt.

Im Lebenszyklus entstehen beim Dieselbus durch Herstellung und Betrieb 1,17 Mio., beim Batteriebus dagegen nur 720.000 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Der Unterschied ist signifikant, jedoch ist der verbleibende „CO<sub>2</sub> - Rucksack“ nicht vernachlässigbar klein. Allerdings gehört zur korrekten Interpretation der Werte auch das Wissen über die getroffenen Worst-Case-Annahmen bei der Berechnung des Batteriebusses. In Wirklichkeit dürfte der Unterschied deutlich größer sein – eine Elektrifizierung der Busflotte ist somit sinnvoll.

	Fahrzeugname	Ausrückzeit	Einrückzeit	Umläufe	Umlaufdauer	Gesamtumlaufänge	inkl. Aus- und Einrückfahrt
1-1	K	05:13	20:49	5	15:36	232,7	252,7
1-2	R	20:53	01:37	1,8	04:44	83,772	103,772
2	A	05:55	20:44	4,7	14:49	218,738	238,738
3-1	L	04:58	10:04	1,7	05:06	79,118	99,118
3-2	T	10:14	01:08	5	14:54	232,7	252,7
4	B	05:51	20:39	4,7	14:48	218,738	238,738
5-1	M	05:48	10:24	1,5	04:36	69,81	89,81
5-2	U	10:34	01:28	5	14:54	232,7	252,7
6	C	05:18	20:58	5	15:40	232,7	252,7
7-1	N	06:08	10:44	1,5	04:36	69,81	89,81
7-2	V	10:54	01:48	5	14:54	232,7	252,7
8-1	O	04:56	17:14	4	12:18	186,16	206,16
8-2	L	17:24	21:18	1,3	03:54	60,502	80,502
9	D	05:38	20:34	4,8	14:56	223,392	243,392
10-1	P	05:16	20:44	5	15:28	232,7	252,7
10-2	N	20:56	01:27	1,7	04:31	79,118	99,118
11	E	06:28	20:54	4,6	14:26	214,084	234,084
12	F	05:58	20:50	4,7	14:52	218,738	238,738
13-1	Q	04:56	19:39	5	14:43	232,7	252,7
13-2	M	19:48	01:47	1,9	05:59	88,426	108,426
14	G	06:18	21:05	4,7	14:47	218,738	238,738
15-1	R	06:08	10:29	1,4	04:21	65,156	85,156
15-2	W	10:38	01:28	5	14:50	232,7	252,7
16	H	05:06	20:09	4,8	15:03	223,392	243,392
17-1	S	06:28	21:49	5	15:21	232,7	252,7
17-2	L	21:56	01:37	1,3	03:41	60,502	80,502
18	I	04:53	20:29	5	15:36	232,7	252,7
19	J	06:34	20:24	4,4	13:50	204,776	224,776

Bei der Gelegenheitsladung (Bild links) betrifft das zu lösende Problem nicht die Gesamtreichweite, sondern die benötigte Zeit an ausgewählten Haltestellen zum Zwischenladen. Sie muss auch mit Fahrplanpuffer lang genug sein, damit die Batterie zuverlässig nachgeladen werden kann. Die Wendezeiten an den Endhaltestellen müssen daher künstlich gestreckt werden (farbig veranschaulicht), was auch hier einen Fahrzeugmehrbedarf bedeutet (+2).

Die Infrastruktur umzurüsten ist durch die zusätzlichen benötigten Schnellladesäulen in diesem Fall etwas aufwändiger.

Signifikante finanzielle Unterschiede gibt es bei der Realisierung beider Strategien jedoch nicht. Für Verkehrsunternehmen dürfte allerdings die Frage der betrieblichen Flexibilität noch eine Rolle spielen: Gelegenheitslader sind auf ihre Strecke angewiesen und bei der Linienplanung wird von technischen Defekten beim Prozess der Zwischenladung nicht ausgegangen.

Gelegenheitslader	18	19	20	1	2	3	4	5
LO								04:56
HA an								05:08
HA ab								05:11
GI								05:28
OF an								05:37
OF ab				04:58		05:18		05:38
MFR an				05:17		05:37		05:57
MFR ab				05:19		05:39		05:59
SCH				05:28		05:48		06:08
SCH		05:33		05:48	05:58	06:08	06:18	06:28
MFR		05:41	05:51	06:00	06:10	06:20	06:30	06:40
OF an		06:07	06:17	06:28	06:38	06:48	06:58	07:08
OF ab	05:55	06:08	06:18	06:30	06:40	06:50	07:00	07:10
GI	06:06	06:19	06:29	06:42	06:52	07:02	07:12	07:22
HA an	06:22	06:35	06:45	07:00	07:10	07:20	07:30	07:40
HA ab	06:24	06:38	06:48	07:02	07:12	07:22	07:32	07:42
LO	06:36	06:49	06:59	07:14	07:24	07:34	07:44	07:54