Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE

Schlussbericht 2013

E-Scooter – Sozial- und naturwissenschaftliche Beiträge zur Förderung leichter Elektrofahrzeuge in der Schweiz

Auftraggeber:
Bundesamt für Energie BFE
Forschungsprogramm Verkehr oder Verfahrenstechnik oder Akkumulatoren
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Kofinanzierung:
Bundesamt für Strassen ASTRA, CH-3003 Bern

Auftragnehmer:
Forschungsgemeinschaft E-Scooter
IKAÖ, Universität Bern
Schanzeneckstrasse 1
PF 8573
CH-3001 Bern
www.ikaoe.unibe.ch/forschung/e-scooters/index.html

Autorinnen und Autoren:
Heidi Hofmann, IKAÖ, Universität Bern, hofmann@ikaoe.unibe.ch
Ruth Kaufmann, IKAÖ, Universität Bern, kaufmann@ikaoe.unibe.ch
Oliver Tschopp, IKAÖ, Universität Bern, tschopp@ikaoe.unibe.ch
Rolf Widmer, Empa St. Gallen, widmer@empa.ch
Marcel Gauch, Empa St. Gallen, gauch@empa.ch
Ueli Haefeli, Interface, haefeli@interface-politikstudien.ch
Urs Schwegler, Verkehrsplanung, urs.schwegler@bluewin.ch

BFE-Bereichsleiter: Martin Pulfer
BFE-Programmleiter: Martin Pulfer
BFE-Vertrags- und Projektnummer: 153000 / 102000

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich Autorinnen und Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **7**

Tabellenverzeichnis **10**

Zusammenfassung **11**

Résumé **23**

Summary **36**

1. Einleitung **48**

1.1 Ausgangslage 48

1.2 Zielsetzungen und Fragestellungen 48

1.3 Arbeitsdefinition ‚E-Scooter' 50

1.4 Aufbau des Berichts 52

2. Vorgehen und Methode **53**

2.1 Arbeitspaket ‚Akteure und Marktentwicklung' 53

2.1.1 Beobachtung der Marktentwicklung 53
2.1.2 Analyse der nationalen Rahmenbedingungen 53
2.1.3 Händler-Befragungen 53

2.2 Arbeitspaket ‚Technologie' 54

2.2.1 Zuverlässigkeit 54
2.2.2 Ladeinfrastruktur 55
2.2.3 Verkehrssicherheit 55

2.3 Arbeitspaket ‚Fördermassnahmen' 55

2.3.1 E-Scooter-Testtag 55
2.3.2 Swiss-Moto 2009 – 2013, Ausstellung ALL ELECTRIC 56

2.4 Arbeitspaket ‚Energie und Umwelt' 56

2.4.1 Energiebedarf und Reichweite 57
2.4.2 Spezifische Lebenszyklusinventare (LCI) 58
2.4.3 Spezifische Lebenszyklusanalysen (LCA) 58

2.5 Arbeitspaket ‚Nutzungsverhalten' 59

2.5.1 Datenerhebung und Studienkollektiv 59
2.5.2 Datenauswertung 62
2.5.3 Zweitbefragung ‚ehemalige Motorradfahrer – heutige E-Scooter-Fahrer' 62

3. Akteure und Marktentwicklung **63**

3.1 Globale Marktentwicklung 63

3.1.1 Scoot'Elec und E-Vivacity von Peugeot 63
3.1.2 E-Scooters weiterer grosser Roller-Hersteller 64
3.1.3 Elektro-Zweiräder in China 65
3.1.4 Spezialisierte Hersteller von E-Scooters ausserhalb Chinas 67
3.1.5 Die E-Scooter-Industrie in der Schweiz 69

3.1.6 Elektro-Kleinmotorfahrzeuge ... 70
3.1.7 E-Scooter-Bestand in ausgewählten europäischen Ländern ... 71
Zusammenfassung Kapitel 3.1 ... 71
3.2 CH-Marktentwicklung ... 71
Zusammenfassung Kapitel 3.2 ... 72
3.3 Verbreitungsprozesse von E-Bikes und E-Scooters in der Schweiz ... 72
3.3.1 TIS-Analyse ... 72
3.3.2 Diffusionstheoretische Betrachtung ... 74
Zusammenfassung Kapitel 3.3 ... 75
3.4 Händler als wichtigste Akteure ... 75
3.4.1 Ergebnisse der E-Scooter-Händler-Befragung ... 75
3.4.2 Ergebnisse der Motorrad-Händler-Befragung ... 79
Zusammenfassung Kapitel 3.4 ... 82
4. Technologie ... 83
4.1 Zuverlässigkeit ... 83
4.1.1 Auswertung der E-Scooter Tagebücher ... 83
4.1.2 Exkurs: Anschaffungs- und Betriebskosten ... 84
4.1.3 Lithiumbatterien ... 85
4.1.4 Elektrotechnische Sicherheit ... 92
Zusammenfassung Kapitel 4.1 ... 92
4.2 Ladeinfrastruktur ... 93
4.2.1 Abnehmbare Batterien ... 93
4.2.2 Wechselstationen/Einheitsbatterie ... 94
4.2.3 Welche Reichweite braucht ein E-Scooter? ... 95
4.2.4 Zu Hause laden ... 96
4.2.5 Öffentliche Ladestationen ... 97
Zusammenfassung Kapitel 4.2 ... 98
4.3 Verkehrssicherheit ... 99
4.3.1 Das Dossier ‚Motorrad' der bfu ... 99
4.3.2 E-Scooter-spezifische Aspekte ... 100
4.3.3 Geräuscharmut von E-Scooters ... 100
4.3.4 Das Verhalten der E-Scooter-Fahrer von heute (Nutzerbefragung) ... 101
4.3.5 Vergleich mit E-Bikes ... 101
Zusammenfassung Kapitel 4.3 ... 101
5. Fördermassnahmen ... 102
5.1 Finanzielle Anreize ... 102
5.1.1 Kaufbeiträge an die E-Scooters-Käuferschaft ... 102
5.1.2 Finanzielle Anreize bei der Motorfahrzeugsteuer ... 103
5.1.3 Beurteilung der Förderpolitik ... 104
Zusammenfassung Kapitel 5.1 ... 105
5.2 Erfolgsfaktoren E-Scooter-Testtage ... 106
5.2.1 Evaluation der Testtage ... 106
5.2.2 Rolle der Kommunikation ... 109
5.2.3 Erfolgsfaktoren ... 111

Zusammenfassung Kapitel 5.2 111
5.3 Swiss-Moto 2009-2013 111
5.3.1 Aussteller 112
5.3.2 Händler 113
5.3.3 Besucher 113
Zusammenfassung Kapitel 5.3 114
5.4 Weitere Fördermassnahmen 115
5.4.1 Ein Blick ins Ausland 115
5.4.2 Langzeitwirkungen von Probefahrten 116
5.4.3 Ein optimaler Mix von Fördermassnahmen? 118
Zusammenfassung Kapitel 5.4 119
6. Energie und Umwelt 120
6.1 Energiebedarf und Reichweite 120
6.1.1 Erhebung des Fahrenergiebedarfs 122
6.1.2 E-Scooter Modellierung 128
6.1.3 Das Parameteridentifikationsverfahren 130
6.1.4 Untersuchungen von Energiemessgeräten 134
Zusammenfassung Kapitel 6.1 135
6.2 Spezifische Lebenszyklusinventare (LCI) 135
6.2.1 LCI ‚Lithium-Ionen Batterien' 136
6.2.2 LCI ‚Chassis' 137
6.2.3 LCI ‚Elektromotoren' 137
6.2.4 LCI ‚Leistungselektronik' 138
6.2.5 LCI ‚Ladegeräte' 140
6.2.6 LCI für Lärmeinwirkungen 140
Zusammenfassung Kapitel 6.2 142
6.3 Spezifische Lebenszyklusanalysen (LCA) 143
6.3.1 E-Scooter-Umweltauswirkungen im Vergleich 145
6.3.2 THG-Emissionen eines Arbeitsweges bei unterschiedlichem Modal Split 149
Zusammenfassung Kapitel 6.3 155
7. Nutzungsverhalten 156
7.1 Beschreibung der Stichprobe 156
7.2 E-Scooter-Fahrer und ihr Mobilitätsverhalten 157
7.2.1 Beschreibung der E-Scooter-Fahrer und der Haushalte 157
7.2.2 Gründe für den E-Scooter-Kauf und Zufriedenheit mit dem E-Scooter 160
7.2.3 Einsatz der E-Scooters 161
7.2.4 Veränderung des Mobilitätsverhaltens 163
7.2.5 Veränderung des Fahrzeugparks 164
Zusammenfassung Kapitel 7.2 165
7.3 Gründe für den Umstieg vom Benzin-Roller/-Motorrad auf den E-Scooter 165
7.4 Fahrleistungen gemäss E-Scooter-Tagebüchern 166
Zusammenfassung Kapitel 7.4 173

8. Synthese 175

8.1 Zahlreiche Hindernisse für eine rasche Verbreitung der E-Scooters in der Schweiz 175

8.2 E-Scooters sind aus ökologischer Perspektive wünschenswert 177

8.3 Ungenügender Fördermix 178

8.4 Fahrzeugzuverlässigkeit, Ladeinfrastruktur und Verkehrssicherheit 179

8.5 Ökobilanzen als wichtige Datengrundlage 180

8.6 Erhöhter Energiebedarf durch schlechte Qualität der Ladegeräte 181

8.7 Die Rolle von E-Scooters in einem nachhaltigen Mobilitätskonzept 181

9. Empfehlungen 182

Glossar 185

Abkürzungen 189

Literaturverzeichnis 191

Der Anhang des Schlussberichts ist in elektronischer Form unter folgender Adresse verfügbar: www.ikaoe.unibe.ch/forschung/e-scooter/

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die sechs Arbeitspakete des Forschungsprojekts. 49
Abbildung 2: Rollenprüfstand (chassis dynamometer) im Motorenhaus der Empa Dübendorf. 57
Abbildung 3: Schematischer Ablauf der Verbrauchsmessung 58
Abbildung 4: Der Peugeot Scoot'Elec. (Foto InfoVEL Mendrisio) 63
Abbildung 5: Der E-Vivacity als Neuheit auf dem Peugeot-Stand 64
Abbildung 6: Der Yamaha ECO3 an der Intermot Köln 2012. (Foto Urs Schwegler)....64
Abbildung 7: Ein Prototyp des BMW C Evolution....65
Abbildung 8: Der fliessende Übergang zwischen Fahrrad und Roller in China 66
Abbildung 9: Absatzentwicklung von Motorfahrzeugen in China 67
Abbildung 10: Vectrix VX1....68
Abbildung 11: Der für 2014 angekündigte Vectrix VT1 68
Abbildung 12: Der Kyburz DXP mit den zulässigen Nutzlasten 69
Abbildung 13: Der E-Trolley und der DXS von Kyburz....70
Abbildung 14: vRone, der E-Scooter von vonRoll mit dem Elektrant. 70
Abbildung 15: Anzahl verkaufte E-Scooters an Schweizer Endkunden 2009 – 2012 71
Abbildung 16: Standort des E-Scooters im Geschäft 76
Abbildung 17: Sichtbarkeit des Werbematerials im Laden 76
Abbildung 18: Sichtbarkeit des E-Scooter-Angebots im Internetauftritt 77
Abbildung 19: Motivationsstufen für den Verkauf von E-Scooters. 78
Abbildung 20: Vorteile eines E-Scooters aus Sicht der Motorradhändler 80
Abbildung 21: Bedingungen, um E-Scooters im Sortiment aufzunehmen 81
Abbildung 22: Häufigkeit verschieden langer Ausfallzeiten durch Reparaturen. 83
Abbildung 23: Kostenvergleich der TCO (Total Cost of Ownership) 85
Abbildung 24: Brandversuche von Li-Bat an der Empa 88
Abbildung 25: Mehrstufiges Sicherheitskonzept. 89
Abbildung 26: Batteriezelle (LMC) nach einem Brand 90
Abbildung 27: Brandschutzmassnahmen mit inertem Füllstoff 90
Abbildung 28: Zwei abnehmbare Li-Ion-Batteriepakete des PGO e-wave....93
Abbildung 29: Gefaltetes Fahrzeug und Batterie von XOR als zwei Rollenkoffer....94
Abbildung 30: Drei mögliche Arten, die Einheitsbatterie im Fahrzeug unterzubringen 95
Abbildung 31: Anzeige des Batterieladezustandes 96
Abbildung 32: Die Ladestation am Bohl in der St. Galler Altstadt 98
Abbildung 33: Steckerleiste für E-Scooters im Basler Veloparking....98
Abbildung 34: Anzahl Roadshow-Testtage in den Jahren 2006 bis 2012.....107
Abbildung 35: Prozentuale Anteile der Roadshow-Organisationsformen im Jahr 2012. 107
Abbildung 36: Anzahl E-Bike- und E-Scooter-Testfahrten pro Besucher 2007-2012. 108
Abbildung 37: Anzahl E-Scooter Testfahrten nach Marken pro Jahr 109
Abbildung 38: Wie auf Anlass aufmerksam geworden?....110
Abbildung 39: Einschätzung der Marktfähigkeit und Durchbruch der E-Scooters 113
Abbildung 40: Informationsquellen Swiss-Moto 2012 114
Abbildung 41: Eindrücke Probefahrt 2009....116
Abbildung 42: Gründe gegen einen Kauf eines E-Scooters....117
Abbildung 43: Einschätzung der Marktfähigkeit der E-Scooters durch Probefahrende 2009 117

Abbildung 44: Wirkungsgrade entlang der Wirkkette eines Lade-/Entladevorgangs. 120
Abbildung 45: Reichweiten und Kosten bei unterschiedlichen Batterietechnologien 121
Abbildung 46: E-Scooters auf dem Empa Rollenprüfstand 122
Abbildung 47: Erste Tests mit der mobilen Messeinrichtung 124
Abbildung 48: Abstimmen der realen Fahrprofile auf der Rolle 124
Abbildung 49: Simulierter Leistungsbedarf einer Quantya EVO1 125
Abbildung 50: Der neutrale Leistungsausweis 126
Abbildung 51: Die mobile Messeinrichtung von VirVE 127
Abbildung 52: ‚ScooterAnalyst' 128
Abbildung 53: Relevante Kräfte und deren Wirkungslage an einem Motorrad 128
Abbildung 54: Blockdiagramm der relevanten Komponenten 129
Abbildung 55: Schematisches Parameteridentifizierungsverfahren. 131
Abbildung 56: Konvergenz der Fahrzeugmasse mittels 'Particle Swarm Optimization' Algoritmus. 131
Abbildung 57: Vergleich von Messdaten (blau) und Simulation (rot) 132
Abbildung 58: Vergleich von Messdaten (blau) und Simulation (rot) 132
Abbildung 59: SD-Stock- und Flow-Diagramm eines idealisierten Motorrads. 133
Abbildung 60: Screenshots des Android-Apps 133
Abbildung 61: Messaufbau und Messvorgang an den ausgewählten Stromkostenmessgeräten. 134
Abbildung 62: Aufteilung eines Elektrofahrzeugs auf 5 Komponenten. 136
Abbildung 63: Beispiel einer Li-Ionen Batteriezelle, wie sie in E-Scooters verwendet wird. 136
Abbildung 64: Verschiedene Grundchassis 137
Abbildung 65: Untersuchte Motortypen 138
Abbildung 66: Massenanteile der Motorenkomponenten 138
Abbildung 67: Untersuchte Leistungselektronik 139
Abbildung 68: Massenanteile der unterschiedlichen Komponenten der Leistungselektronik 140
Abbildung 69: Untersuchte Ladegeräte 140
Abbildung 70: Lärmemission von Motorrädern mit Benzin- und Elektroantrieb. 141
Abbildung 71: Zunahme stark belästigter Personen durch zusätzlich gefahrene E-Scooter-Kilometer auf verschiedenen Strecken während des Tages und der Nacht. 142
Abbildung 72: Ein Vergleich der Zunahme stark belästigter Personen durch zusätzlich gefahrene Kilometer verschiedener Fahrzeuge 142
Abbildung 73: Visualisierung einer Ökobilanz 143
Abbildung 74: Treibhausgas Emissionen pro Personen-Kilometer für verschiedene Fahrzeugkategorien des motorisierten Individualverkehrs und des öffentlichen Verkehrs. 145
Abbildung 75: Differenziert dargestellte Treibhausgasemissionen pro Personen-Kilometer für verschiedene Fahrzeugkategorien des Individualverkehrs und des öffentlichen Verkehrs. 146
Abbildung 76: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugkategorien auf Gesundheit, Ökosystem und Ressourcen. 147
Abbildung 77: Darstellung der Umweltauswirkungen in vier Kategorien von verschiedenen Fahrzeugen relativ zu einem Benzin-Auto. 149
Abbildung 78: Pendlervariante A, mit Benzin-Auto. 150
Abbildung 79: Pendlervariante B, ausschliesslich mit öffentlichen Verkehrsmitteln. 151
Abbildung 80: Pendlervariante C, mit schnellem E-Bike zum Bahnhof. 151
Abbildung 81: Pendlervariante D, mit schnellem E-Bike. 152
Abbildung 82: Pendlervariante E, mit E-Roller. 152
Abbildung 83: Pendlervariante F, mit Benzin-Roller 153

Abbildung 84: Pendlervariante G, sportlich mit dem Velo. 153
Abbildung 85: Zeitbedarf und Treibhausgas-Emissionen von verschiedenen Mobilitätsvarianten einer Pendlerstrecke im Vergleich zur Referenzvariante A mit dem Benzin-Auto. 154
Abbildung 86: in der Stichprobe vertretene E-Scooter-Marken. 157
Abbildung 87 (links): Alter der Probanden (N=55) 158
Abbildung 88 (rechts): Ausbildung der Probanden (N=55) im Vergleich zur ganzen Schweiz. 158
Abbildung 89: Haushaltsgrösse der befragten Haushalte (N=55). 159
Abbildung 90: Wohnorte der Probanden. (Quelle: eigene Darstellung, Karte Wikipedia) 159
Abbildung 91: Gründe für den E-Scooter-Kauf (N=55). 160
Abbildung 92: Zufriedenheit mit E-Scooter (N=55). 160
Abbildung 93 (links): Durchschnittliche Wegdistanz (N=53). 161
Abbildung 94 (rechts): Durchschnittliche Wegdauer (N=52). 161
Abbildung 95: Durchschnittliche Weggeschwindigkeit (N=51). 161
Abbildung 96: Zeitspanne der Tagebuchfahrten. 162
Abbildung 97: Wege nach Zweck (N=328 Wege). 162
Abbildung 98: Durch den E-Scooter ersetztes Fahrzeug (Fahrten in Prozent, N=327 Fahrten). 163
Abbildung 99: Durch E-Scooter ersetzte Fahrzeug-Kilometer (Anzahl Kilometer in %, N=3675 km). 163
Abbildung 100: Welche Fahrten wären zurückgelegt worden, wenn nicht ein E-Scooter zur Verfügung gestanden hätte? (N=327 Fahrten). 164
Abbildung 101: Die Entwicklung der Anzahl teilnehmender Fahrzeuge nach Gruppen über die 7 Erhebungsperioden. 167
Abbildung 102. Histogramm aller Fahrstrecken. 168
Abbildung 103. Histogramm aller Fahrstrecken der E-Scooters der Gruppe 1. Die Zählungen sind aufgeteilt in unterschiedliche 'bins': bis 10km sind es 1km-Schritte , darüber bis 60km sind es 5km-Schritte. 168
Abbildung 104: Überlagerte Histogramme aller Fahrstrecken der E-Scooters der Gruppen 1 bis 3. 168
Abbildung 105: Histogramm der Netzenergiebezüge aller Ladungen. 169
Abbildung 106: Histogramm der Netzenergiebezüge aller Ladungen der E-Scooters der Gruppen 1 bis 3. 170
Abbildung 107: Histogramm (Dichte) der Netzenergiebezüge aller Ladungen aller (je 6) Modelle ‚Vectrix VX-1', ‚VR One E' und ‚Vespino E3'. 171
Abbildung 108: Auswertung der Netzenergiebezüge aller beteiligten Fahrzeuge. 171
Abbildung 109: Auswertung der Netzenergiebezüge im Sommer und Winter 173

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausschnitt aus den strassenzugelassenen Fahrzeugklassen in der Schweiz 50
Tabelle 2: Ausschnitt aus Tabelle 1 zur Darstellung des Definitionsumfangs von E-Scooters 51
Tabelle 3: Methodische Vorgehen zur Datenerhebung an der Swiss-Moto 2009 – 2013. 56
Tabelle 4: Zusammenfassung der Schlüsseldaten im Tagebuch 61
Tabelle 5: Fahrzeugabsatzzahlen in China 2012 66
Tabelle 6: Motorisierungsgrad verschiedener Fahrzeugkategorien in China 66
Tabelle 7: Potentielle E-Scooter-Käufer aus Sicht der Händler 77
Tabelle 8: Vorteile der E-Scooter aus Sicht der Händler 78
Tabelle 9: Nachteile der E-Scooter aus Sicht der Händler 78
Tabelle 10: Übersicht Förderbeiträge E-Scooters 103
Tabelle 11: Übersicht Motorfahrzeugsteuer für E-Scooters 104
Tabelle 12: NewRide Gemeinden 2012 106
Tabelle 13: Anzahl an der Swiss-Moto ausgestellte Marken Ausstellungs- und Testfahrzeuge. 112
Tabelle 14: Probefahrten an der Swiss-Moto 2009-2012. 114
Tabelle 15: Förderstrategien in einigen ausgewählten Ländern 116
Tabelle 16: möglicher Wirkungsgradbereich für verschiedene Batteriespeichertechnologien 121
Tabelle 17: Zusammenfassung der E-Scooter-Tests auf dem Empa-Rollenprüfstand. 122
Tabelle 18: Zusammenfassung der Messresultate der Rollentests. 123
Tabelle 19: Simulierter Fahrenergiebedarf und rechnerische Reichweite 127
Tabelle 20: Übersichtstabelle der Resultate der vermessenen Stromkostenmessgeräte 135
Tabelle 21: Angenommene Lebensdauer von Komponenten in verschiedenen Fahrzeugkategorien. 144
Tabelle 22: Zusammenstellung der Ergebnisse einer Pendlerstrecke bezüglich Zeitbedarf und Treibhausgas-Emissionen. 154
Tabelle 23: Quintilgrenzen des Haushalts-Bruttomonatseinkommens im Sample und in der ganzen Schweiz. 158
Tabelle 24: Erläuterungen zu Abbildung 108. 172

Zusammenfassung

Ausgangslage und Zielsetzung

Seit zwei bis drei Jahren ist in Politik und Öffentlichkeit ein verstärktes Interesse zum einen an Energiefragen allgemein und zum andern an Elektromobilität als Hoffnungsträger für eine weniger umweltbelastende Mobilität feststellbar. Scooters mit elektrischem Antrieb (E-Scooters)[1] weisen ein erhebliches Potential zur Verringerung der Energienachfrage, der Treibhausgasemissionen, der Luftverschmutzung und des Strassenlärms auf (Buwal 2004). Obwohl E-Scooters in der Schweiz seit den 1990er-Jahren auf dem Markt sind und im Rahmen des Grossversuchs mit Leicht-Elektromobilen in Mendrisio und Partnergemeinden (1995-2001) gefördert worden sind, ist ein Durchbruch bisher ausgeblieben. Das Ziel der vorliegenden interdisziplinären Forschungsarbeit ist, einen Beitrag zur technischen Weiterentwicklung von E-Scooters zu leisten, die Markteinführung dieser neuen Fahrzeuge wissenschaftsseitig zu unterstützen und ihre Auswirkungen auf Energie, Umwelt und Mobilitätsverhalten zu analysieren. Für die Bearbeitung der verschiedenen Fragestellungen wurden sechs Arbeitspakete (AP) formuliert:

- Im AP ‚Akteure und Marktentwicklung' wurden die globalen Marktentwicklungen sowie die Bedürfnisse und Möglichkeiten der einzelnen Marktakteure (Händler, Hersteller, Importeure) untersucht.
- Im AP ‚Technologie' wurden Untersuchungen zu geeigneten E-Scooter-Batterietypen, Ladeinfrastrukturen und Verkehrssicherheit durchgeführt.
- Das AP 'Fördermassnahmen' evaluierte bereits umgesetzte sowie weitere denkbare Massnahmen.
- Im AP ‚Energie und Umwelt' wurden fehlende Grundlagen im Bereich der E-Scooter-Lebenszyklusinventare (LCI) und der Lebenszyklusanalysen (LCA) aufgearbeitet. Dabei standen die Herstellung, der Betrieb sowie Entsorgung/Recycling von E-Scooters im Fokus der Untersuchungen.
- Das AP ‚Nutzungsverhalten' untersuchte den Energieverbrauch, die Fahrleistungen, die Ladegewohnheiten sowie das Mobilitätsverhalten der E-Scooter-Fahrenden.
- Das AP ‚Projektleitung und Kommunikation' schliesslich umfasste die inhaltliche und administrative Leitung des Gesamtprojektes, die Koordination aller APs sowie den gemeinsamen Auftritt gegenüber Dritten.

Vorgehen und Methodik

Die eingesetzten Methoden werden entlang den verschiedenen Arbeitspaketen beschrieben.

Arbeitspaket ‚Akteure und Marktentwicklung'

Die globale und nationale Marktentwicklung von E-Scooters wurde mit verschiedenen aufeinander abgestimmten Ansätzen (z.B. Messeteilnahmen, Besuch nationaler/internationaler Kongresse, diverse Newsletters sowie persönliche Kontakte) verfolgt und dokumentiert. Für die Analyse des bisherigen Verbreitungsprozesses in der Schweiz wurde eine vergleichende Nischen-Analyse basierend auf dem Technologischen Innovationssystem Ansatz (TIS, vgl. Walter 2012) durchgeführt sowie diffusionstheo-

[1] Unter dem Begriff ‚E-Scooter' verstehen wir in dieser Forschungsarbeit alle Fahrzeugkonzepte mit elektrischem Antrieb, die sich – im Gegensatz zu E-Bikes – nicht oder nur im Notfall mit Muskelkraft antreiben lassen, die aber nicht zu den Leichten Motorwagen (Personen- und Lieferwagen) zählen. Ein E-Scooter kann vom langsamen Mofa ohne Zulassungsbeschränkung bis zum leichten 4-Rad-Fahrzeug vieles umfassen. Gemeinsam ist allen E-Scooters, dass sie ausschliesslich elektrisch angetrieben werden, relativ leicht sind und die Energie deshalb effizient nutzen. Die Fahrzeugkonzepte, die von dieser Definition erfasst werden, sind vielfältig – und die künftige Entwicklung ist offen.

retische Grundlagen von Rogers (2003) beigezogen. Weiter wurden Interviews mit E-Scooter- und Motorrad-Händlern durchgeführt, um ihre Einschätzung zu E-Scooters kennen zu lernen.

Arbeitspaket ‚Technologie'

Hier standen die Aspekte Zuverlässigkeit, Ladeinfrastruktur und Verkehrssicherheit Im Fokus. Die Zuverlässigkeit der E-Scooters wurde anhand der E-Scooter-Nutzerbefragung (siehe unten) erfasst und ausgewertet. Ein Leitfaden für Regionen, die den Einsatz von E-Scooters unterstützen, wurde erstellt, um die Erarbeitung eines Ladestationen-Konzeptes zu erleichtern. Für die Verkehrssicherheit wurden einerseits elektrotechnische Untersuchungen der E-Scooters in Zusammenarbeit mit Electrosuisse[1] durchgeführt und andererseits E-Scooter-spezifische Aspekte – niedriger Geräuschpegel, ungeübte ältere Neulenker – in Zusammenarbeit mit der Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu analysiert.

Arbeitspaket ‚Fördermassnahmen'

In diesem Arbeitspaket galt es, die verschiedenen Fördermassnahmen, die die Entwicklung, Markteinführung und Marktdurchdringung von E-Scooters gezielt unterstützen, zu analysieren. Bereits umgesetzte Fördermassnahmen (z.B. im Rahmen des Programms NewRide) sowie geplante Massnahmen wurden mittels Desk Research gesammelt, evaluiert, bewertet und in verschiedenen Berichten festgehalten.

Arbeitspaket ‚Energie und Umwelt'

Hier wurden einerseits bisher fehlende Grundlagen für die Messung des Energiebedarfs von E-Scooters und andererseits Lebenszyklusinventare (LCI) und Lebenszyklusanalysen (LCA) der E-Scooter geschaffen. Die meisten Inventardaten wurden in die weltweit grösste Ökoinventar-Datenbank ecoinvent v2.2 integriert.

Arbeitspaket ‚Nutzungsverhalten'

Um das Nutzungsverhalten, d.h. die Beeinflussung des Mobilitätsverhaltens durch den E-Scooter-Kauf und die Untersuchung des spezifischen Energieverbrauchs der E-Scooters im Praxiseinsatz analysieren zu können, wurde eine schriftliche Befragung bei 55 E-Scooter-Fahrern in der Deutsch- und Westschweiz durchgeführt.

Resultate

1) Arbeitspaket ‚Akteure und Marktentwicklung'

Globale und nationale Marktentwicklung

Unsere Analysen zeigen, dass erste globale Rollerhersteller (wie Peugeot, Yamaha, PGO, Piaggio) E-Roller auf den Markt gebracht haben und andere solche ankündigen (z.B. BMW). Daneben sind diverse spezialisierte Hersteller von E-Scooters seit Jahren auf dem Markt präsent, allerdings bislang mit wenig Erfolg, abgesehen von der Schweizer Firma Kyburz mit ihrem DXP. Die in China und anderen asiatischen Ländern in grossen Stückzahlen produzierten E-Scooters genügen den qualitativen Anforderungen des europäischen Marktes noch nicht. An internationalen Ausstellungen präsentieren jedoch die asiatischen Hersteller immer mehr Produkte, welche spezifisch für den europäischen Markt entwickelt werden. So ist es eine Frage der Zeit, bis auch in Europa qualitativ hochstehende E-Scooters aus Asien angeboten werden.

[1] Electrosuisse ist der Schweizerische Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik.

Die Schweizer Post ist seit 2008 daran, ihre gesamte Flotte an Benzin-Rollern auf E-Scooters umzustellen, dies mit einer jährlichen Bestellung von ca. 1'600 Einheiten. Diese Fahrzeuge bestätigen die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit dieser Fahrzeuge und der Technologie.

Analyse des bisherigen Verbreitungsprozesses von E-Scooters in der Schweiz

Die Diffusion von E-Bikes in der Schweiz ist wesentlich weiter vorangeschritten als die der E-Scooters, obschon sie schon ähnlich lange auf dem Markt sind. Mögliche Erklärungen für diesen unterschiedlichen Diffusionsverlauf wurden aufgezeigt: Die TIS-Analyse offenbart, dass jenseits des geschützten Raumes, welcher beide Nischeninnovationen anfänglich vor hemmendem Umfeld-Druck abschirmte, das Wechselspiel zwischen Produkt-, Nischen- und Umfeldeigenschaften entscheidend war für die unterschiedlichen Pfade der beiden Innovationen. Für die weitere Diffusion von E-Scooters ist es wichtig, die beiden TIS-Funktionen ‚Schaffung von Legitimität' und ‚strategische Lenkung und Orientierung' gezielt zu stärken. Auch die diffusionstheoretische Betrachtung nach Rogers (2003) deutet die unterschiedlichen Verbreitungspotenziale von E-Bikes und E-Scooters an: die Charakteristika Wahrnehmbarkeit (d.h. die Effekte der Innnovation sind für andere sichtbar), Erprobbarkeit (d.h. man kann die Fahrzeuge vor dem Kauf ausprobieren) und relativer, persönlicher Vorteil (d.h. sie haben einen hohen persönlichen Vorteil gegenüber anderen Produkten) sind bei E-Bikes ausgeprägter als bei E-Scooters.

Händler als wichtigste Akteure

Die Händler sind wichtige Akteure im Diffusionsprozess von E-Scooters – sie erfüllen jedoch die Anforderungen an die absatzfördernde Kommunikation wie Werbung und Verkaufsförderung nur teilweise. Sowohl die befragten E-Scooter-Händler (N=20) als auch die Motorradhändler (N=102) stufen als wichtigste Nachteile bzw. Problemfelder der E-Scooters die hohen Anschaffungskosten, die Batterie und die geringe Reichweite ein. Das Interesse, Know-how und die Bereitschaft für den Besuch von Weiterbildungskursen zu E-Scooters ist insgesamt bei allen Akteuren sehr klein. Das Vertrauen in die Technik sowie in die heutigen Importeure von E-Scooters ist zurzeit nicht vorhanden und alle befragten Händler fordern eine technologische Weiterentwicklung des Produkts.

2) Arbeitspaket ‚Technologie'

Zuverlässigkeit der E-Scooters

Gemäss Händleraussagen sind in den letzten Jahren die Verarbeitungsqualität und die Zuverlässigkeit der Komponenten deutlich gestiegen und die Anzahl der Garantiefälle gesunken. In der E-Scooter-Nutzerbefragung wurde als häufigste Fehlerquellen elektrische Komponenten und die Fahrzeugbatterie genannt. Die Ursache von Batteriedefekten sind jedoch oft nicht die Batteriezellen selber, sondern deren Schutzelektronik (das Batteriemanagementsystem) und/oder das Ladegerät.

Ladeinfrastruktur

Bei einigen wenigen E-Scooter-Modellen können die Batterien zum Laden vom Fahrzeug getrennt werden. Dank der Weiterentwicklung der Batterietechnologie und der Aufteilung der Batteriekapazität auf mehrere (tragbare) Blöcke wird dies bei immer grösseren Fahrzeugen möglich sein. Fest eingebaute Batterien werden vorwiegend zu Hause geladen. Ist dies nicht möglich, so kann die fehlende Ladeinfrastruktur zu einem Kaufhindernis werden. Öffentliche Ladestationen bei Zweirad-Abstellplätzen haben zurzeit in erster Linie die Funktion, auf E-Scooters aufmerksam zu machen. Ein ausgewiesenes Bedürfnis danach sehen wir zurzeit nicht.

Verkehrssicherheit

Die Fahrzeugklasse ‚Motorräder' ist jene Klasse mit den höchsten Unfallraten. Zusätzlich zu den für alle Motorräder geltenden Gefahren kommen bei E-Scooters neue mögliche Gefahren hinzu, etwa im öffentlichen Raum herumliegende Kabel (Stolpergefahr) und externe Ladegeräte (Feuchtigkeit). Ob sich Unfallraten für E-Scooters insgesamt von herkömmlichen Motorrädern unterscheiden, ist noch unklar. Wie alle Elektrofahrzeuge sind auch E-Scooters im Geschwindigkeitsbereich unter 30 km/h schlecht hörbar. Der Bundesrat hat im Frühling 2012 eine neue Regelung in die Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS) aufgenommen, wonach Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb mit einem Geräuschgenerator zur Sicherstellung der Hörbarkeit ausgerüstet sein dürfen. Der entsprechende Geräuschpegel ist begrenzt, es handelt sich nicht um eine Lärmemission.

3) Arbeitspaket ‚Fördermassnahmen'

Finanzielle Anreize

Eine flächendeckende und bezüglich Subventionsausgestaltung zwischen den Gemeinden koordinierte Förderung mit Kaufbeiträgen existiert nicht. Die Höhe der Kaufbeiträge ist sehr unterschiedlich und schwankt zwischen etwa 5% und 25% des Kaufpreises. Grössere Mitnahmeeffekte sind dabei gemäss unseren Analysen nicht aufgetreten. Neben einmaligen Kaufbeiträgen durch die Gemeinden werden die E-Scooters in den meisten Kantonen auch durch Rabatte bei den Motorfahrzeugsteuern gefördert. Gegenüber den Kaufbeiträgen sind die Anreize bei den Motorfahrzeugsteuern aber als zweitrangig zu bezeichnen, weil sie in der Höhe bescheiden sind und nicht einmalig beim Kauf sondern jährlich bei der Steuerrechnung sichtbar werden.

E-Scooter-Ausstellungen und die Swiss-Moto 2009-2013

Auf nationaler Ebene stellen Fahrzeug-Ausstellungen mit der Möglichkeit zu Probefahrten eine zentrale Aktivität der E-Scooter-Förderung dar. Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden sowohl die E-Scooter-Testtage als auch die Sonderschauen zu E-Scooters an der Swiss-Moto evaluiert. Die Testtage erwiesen sich insgesamt als ausgezeichnetes Instrument zur Bekanntmachung der E-Scooters. Die Auswertungen der seit 2008 durchgeführten Sonderschauen zu E-Scooters an der Motorradmesse Swiss-Moto zeigen, dass sich der grosse Aufwand durch eine sehr hohe Resonanz beim Publikum, welche sich in Besucherzahlen von jährlich zwischen 30‘000 und 40‘000 Personen sowie in jährlich durchschnittlich etwa 1‘000 Probefahrten niederschlug, rechtfertigt. Auch wenn die verschiedenen Akteurgruppen (Aussteller, Händler, Besuchende) eine hohe Zufriedenheit mit der Sonderschau äusserten, bleibt indessen festzuhalten, dass auch von der Swiss-Moto keine entscheidenden Impulse für die Marktentwicklung ausgingen.

Weitere Fördermassnahmen

Die bisherigen Förderansätze für E-Scooters stellen sowohl in der Schweiz als auch im Ausland ausschliesslich auf Pull-Massnahmen ab, auf finanzielle Anreize, auf Informations- und Kommunikationsmassnahmen sowie allenfalls auf die Möglichkeit von Probefahrten. Es hat sich gezeigt, dass dieser Massnahmenmix allein bisher nicht genügt hat, um die Markteinführung von E-Scooters im erhofften Mass anzuregen.

4) Arbeitspaket ‚Energie und Umwelt'

Energiebedarf und Reichweite

Der Energiebedarf für E-Scooters wurde erhoben, da Verbrauch und Reichweite massgebend für die Bestimmung eines realistischen Lebenszyklusverbrauchs von Fahrzeugen sind. Die Daten zeigen, dass der Fahrenergiebedarf der auf dem Rollenprüfstand und im Normalbetrieb getesteten E-Scooter

den modellierten Werten gut entspricht. Die verwendeten Modelle und die darauf basierenden Auswertungen in den Anwendungen MS Excel und MatLab stehen zur Verfügung. Weiter wird festgestellt, dass der Netzenergiebezug z.T. deutlich höher ist als der Fahrenergiebedarf, d.h. der Ladevorgang ist oft verlustreich (10-30%). Gewisse Ladegeräte und Batterie-Management-Systeme sind offenbar ineffizient, insbesondere wenn die Batterie bereits fast voll geladen ist.

Spezifische Lebenszyklusinventare (LCI)

Ökoinventare ausgewählter Beispiele für alle relevanten Komponenten des Antriebsstrangs und des Chassis wurden erstellt und stehen für die freie Nutzung zur Verfügung (tabellarisch in MS Excel und in der Ökobilanzanwendung SimaPro). Ein Vergleich der Ökoinventare von funktionsgleichen Komponenten unterschiedlicher Bauart und Baugrösse (z.B. unterschiedlichste Elektromotoren) zeigt eine meist vernachlässigbare Abhängigkeit der gewichtsspezifischen Umweltauswirkungen von grundlegenden Designparametern. Z.B. ist das Treibhauspotenzial pro Kilogramm aller untersuchten Elektromotoren über deren gesamten Lebenszyklus in etwa gleich, unabhängig von Nennleistung, Drehmoment und Konstruktionsprinzipien. Im Projekt wurden zudem die Lärmemissionen als ein neuer und für die Elektromobilität relevanter Indikator theoretisch weiterentwickelt.

Spezifische Lebenszyklusanalysen (LCA)

E-Scooter zu fahren lohnt sich bezüglich Umweltauswirkungen im Vergleich mit praktisch allen anderen gerechneten Varianten – selbst die Beförderungsmittel des ÖV können schlechter abschneiden als E-Scooter (z.B. wegen Umwegen oder tiefer Belegung, siehe Abbildung 1). Dabei stellt die 'Sauberkeit' des verwendeten Stroms einen der wichtigsten Einflussfaktoren dar. Ist er 'sauber', überragt der Umweltschaden der Fahrzeugherstellung denjenigen des Fahrzeugbetriebs bei weitem. Der z.T. erhebliche Herstellungsaufwand für E-Scooters führt zu langen 'Amortisationszeiten', v.a. wenn das Gefährt als Zweitfahrzeug verwendet wird.

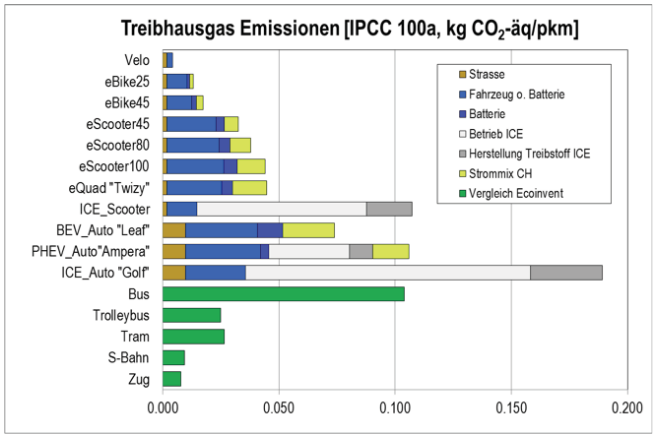


Abbildung 1: Treibhausgas-Emissionen pro Personen-Kilometer für verschiedene Fahrzeugkategorien des Individualverkehrs und des öffentlichen Verkehrs, differenziert dargestellt für verschiedene Verursacher, Strombezug (gelb) gemäss Strommix an CH-Steckdose.

5) Arbeitspaket ‚Nutzungsverhalten'

Mobilitätsverhalten

55 E-Scooter-Fahrer konnten zu ihrem Mobilitätsverhalten befragt werden. Der Männeranteil liegt bei 84%, das Durchschnittsalter bei 48 Jahren. Die Probanden weisen bei Bildung und Einkommen leicht überdurchschnittliche Werte auf. 93% der Fahrer sind mit dem E-Scooter ‚zufrieden' oder gar ‚sehr zufrieden'. Eine durchschnittliche E-Scooter-Fahrt ist 15 km und 25 Minuten lang, wobei eine breite Streuung vorliegt. 54% der Fahrten sind Arbeitswege, 23% Freizeitwege, 13% Wege für Service und

Begleitung und 9% dienen geschäftlichen Zwecken. Der Kauf des E-Scooters hat nur in sehr geringem Mass zu einer Zunahme (5%) der Fahrleistung geführt. Die E-Scooter-Fahrten haben fast zur Hälfte Fahrten mit dem Auto (33%) oder dem Benzin-Roller (15%) ersetzt. 36% der E-Scooter-Fahrten haben ÖV-Fahrten ersetzt und 9% Fahrrad-Fahrten. Bei 11% der Probanden ist durch den E-Scooter-Kauf ein Auto ersetzt worden, bei 58% ein Benzin-Roller. Insgesamt geben 73% der befragten Probanden an, dass sie den E-Scooter als Ersatz oder an Stelle eines anderen Verkehrsmittels gekauft haben. Nur bei 27% der Probanden hat der E-Scooter-Kauf zu einer Vergrösserung des Fahrzeugparks geführt.

Energieverbrauch

Die durchschnittlichen Netzenergiebezüge (Energiebezug ab Steckdose) aus den E-Scooter-Tagebüchern entsprechen gut den modellierten Werten. Aus den Versuchen auf dem Rollenprüfstand und den Untersuchungen zu Ladegeräten lässt sich ableiten, dass der Fahrenergiebedarf wegen der hohen Ladeverluste deutlich niedriger ist (vgl. Tabelle 1).

E-Scooter Klassen	durchschnittlicher Netzenergiebezug	Fahrenergiebedarf
E-Scooter ca. 45 km/h	4 kWh/100km	2-4 kWh/100km
E-Scooter ca. 80 km/h	6 kWh/100km	4-6 kWh/100km
E-Scooter ca. 100 km/h	8 kWh/100km	6-8 kWh/100km

Tabelle 1: Energieverbrauch: Netzenergiebezüge und Fahrenergiebedarf.

Die Energiebezugsdaten aus den E-Scooter-Tagebüchern zeigen keinen eindeutigen Verbrauchsanstieg im Winter. D.h. im Gegensatz zu anderen Elektrofahrzeugen mit klimatisierter Fahrerkabine bleibt der Gesamtenergiebedarf für die Fahr- und Ladeverluste etwa konstant (fehlende Heizung). Bei Kälte verringert sich hingegen die entnehmbare Batteriekapazität, wodurch die Reichweite sinkt.

Synthese

1) Zahlreiche Hindernisse für eine rasche Verbreitung der E-Scooters in der Schweiz

Kleine, unbekannte Importeure mit kleinem Budget und ungenügende Qualität einiger Produkte

Die heutigen E-Scooter-Importeure sind mehrheitlich kleine, in der Motorrad-Branche wenig bekannte Unternehmen, die über kein bestehendes und gut funktionierendes Händlernetz verfügen. Zudem können sie ihren Händlern weder professionell gestaltetes Werbe- und Kommunikations-Material zur Verfügung stellen noch attraktive weiterführende Verkaufsförderungs-Angebote (z.B. Rabatte) machen. Die Erfahrungen der letzten Jahre haben ausserdem gezeigt, dass die in China und anderen asiatischen Ländern produzierten E-Scooters den qualitativen Anforderungen des europäischen Marktes noch nicht genügen.

In jüngster Zeit zeichnet sich eine positive Veränderung dieser Situation ab, da verschiedene globale Motorradhersteller im Jahr 2014 E-Scooters auf den Markt bringen werden. Für Europa und die Schweiz ist von Bedeutung, dass E-Scooters allmählich auch in Taiwan populär werden, denn die taiwanesische Roller-Industrie arbeitet auf qualitativ hohem Niveau und ist daher nahe am europäischen Markt. Es ist eine Frage der Zeit, bis auch in Europa qualitativ hochstehende E-Scooters aus Asien angeboten werden.

Skepsis der Händler gegenüber dem Produkt

Eine diffusionstheoretische Betrachtung der gegenwärtigen Marktsituation zeigt, dass die Händler zentrale Akteure im Verbreitungsprozess sind. E-Scooters werden in der Schweiz zurzeit von sehr wenigen Motorrad- oder Velohändlern angeboten und diese sind gegenüber E-Scooters eher skeptisch eingestellt sind. Ein Grund dafür liegt im mangelnden Vertrauen der Händler in die Qualität und

Konkurrenzfähigkeit der Fahrzeuge sowie in die Verlässlichkeit der heutigen E-Scooter-Importeure. Fast alle Händler fordern – teilweise sicher auch aus Unkenntnis – eine technologische Weiterentwicklung des Produkts. Ein zweiter Grund für die Skepsis der Händler ist ökonomischer Art: Die Margen der Händler sind gering, und unsere Befragung der Händler zeigt zudem, dass beim Verkauf eines E-Scooters ein erheblicher Mehraufwand durch den höheren Informationsbedarf (bspw. wegen Wissenslücken) entsteht.

Fehlender persönlicher Vorteil

Für den Einzelnen ist der persönliche relative Vorteil (Zusatznutzen) des E-Scooters gegenüber Benzin-Rollern gering. Für die bisherige Käuferschaft steht der gesellschaftliche Nutzen im Vordergrund (weniger Schadstoff- und Lärm-Emissionen). Die heutigen E-Scooter-Nutzer geben die Umweltfreundlichkeit (z.B. reduzierter CO_2-Ausstoss) und die Geräuschlosigkeit als wichtige Vorteile gegenüber dem Benzin-Roller an. Auch werden E-Scooters nicht als neue Fahrzeuge, sondern als (teurer) Ersatz für Benzin-Roller gesehen und müssen sich gegen deren Mainstream-Stärken behaupten.

Kosteneinsparungen werden (noch) nicht wahrgenommen

Die Untersuchungen weisen darauf hin, dass im Vergleich zu den Benzin-Rollern mit tieferen Service- und Wartungskosten zu rechnen ist. Dieser ökonomische Vorteil ist vielen Akteuren (Händlern, potentiellen Käufern) nicht bekannt.

Hoher Anschaffungspreis

Ein E-Scooter kann gut zweimal so teuer sein wie ein Benzin-Roller mit vergleichbarer Leistung und Ausstattung. Diese Preisunterschiede werden in verschiedenen Gemeinden teilweise durch finanzielle Anreize (10-25% des Kaufpreises) verringert. Es kann davon ausgegangen werden, dass beim Markteintritt grosser Motorrad-Hersteller die Stückkosten gesenkt und die E-Scooters daher preiswerter werden.

Unklarheiten/Unsicherheiten bezüglich der Batterieentsorgung und des Batterierecyclings

Gemäss geltendem Recht müssen die Verkäufer ihren Kunden einfache, sichere und gesetzeskonforme Entsorgungsmöglichkeiten anbieten können. Die Befragung der Händler hat jedoch gezeigt, dass diese nur unzureichend über die Zuständigkeiten und Abläufe bei der Entsorgung bzw. dem Recycling von E-Scooter-Batterien informiert sind.

Umbau der Rollerflotte der Post hat noch wenig Signalwirkung auf andere Unternehmen

Die schweizerische Post wird ihre gesamte Benzin-Rollerflotte (ca. 7'000 Fahrzeuge) durch E-Scooters ersetzen. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass die Fahrzeuge sehr zuverlässig funktionieren. Die Post wird diesbezüglich von anderen schweizerischen Unternehmen jedoch (noch) nicht als Vorbild wahrgenommen. Mögliche Gründe dafür sind die für Unternehmen zu wenig relevanten Fahrzeugkosten, die tiefe Erneuerungsrate der Fahrzeugflotten und der postspezifische Einsatzzweck.

Schwaches politisches Commitment und keine starken Lobbys

Das Thema E-Scooters ist in den Medien kaum präsent. Kein starkes politisches Commitment ist erkennbar und es existieren keine Lobbygruppen, die Druck in dieser Richtung erzeugen könnten.

2) E-Scooters sind aus ökologischer Perspektive wünschenswert

E-Scooters sind energieeffizient und umweltschonend

Die Analyse der Mobilitätserhebungen zeigt, dass 61% der E-Scooter-Kilometer mit dem Auto oder dem Benzin-Motorrad zurückgelegt worden wären. Die durchschnittliche Jahresfahrleistung beträgt

ca. 2'500 km, woraus sich eine Einsparung von 1'500 Auto- oder Motorrad-Kilometern ergibt. Die Probanden tätigten mit dem E-Scooter kaum zusätzliche Fahrten (d.h. sie erzeugen keinen nennenswerten Mehrverkehr): Über 90% der mit dem E-Scooter zurückgelegten Wege wären auch ohne Elektroroller gemacht worden. Weiter konnte gezeigt werden, dass sich Fahren mit E-Scooters bezüglich Umweltauswirkungen im Vergleich mit praktisch allen anderen Motorfahrzeugen lohnt. Dabei ist wichtig, dass für den Betrieb ‚sauberer' Strom verwendet wird.

E-Scooter als Pendlerfahrzeug für kurze und mittlere Strecken

Die Probanden haben mit ihren E-Scooters vor allem kurze und mittlere Strecken in der Stadt und den Agglomerationen zurückgelegt: Pro Weg wurden durchschnittlich 15 Kilometer gefahren. Die Auswertung der Tagebücher zeigt auch, dass die Reichweite der Fahrzeuge für den grössten Teil der Einsätze ausreichte.

Angenommen, alle Schweizer Auto- und Motorrad-Pendlerfahrten würden durch E-Scooter-Fahrten ersetzt, so könnten beträchtliche negative Umweltwirkungen vermieden werden: Die Untersuchung zeigt, dass die Treibhausgas-Emissionen eines E-Scooters (pro Personen-Kilometer) im Vergleich zum Benzin-Roller rund drei Mal kleiner und im Vergleich zum Benzin-Auto sogar fünf Mal kleiner sind. Es würde nicht nur eine beträchtliche Reduktion der Treibhausgas-Emissionen erreicht, sondern auch positive Auswirkungen auf das Ökosystem und die Ressourcen würden erzielt.

3) Ungenügender Fördermix

Auf globaler Ebene sind bis anhin nur sehr wenig Mittel in die Förderung von E-Scooters geflossen und den staatlichen Stellen fehlt das Bewusstsein für die Substituierung von Autoverkehr in Ballungsräumen durch E-Scooters. Als Folge davon wird die Elektromobilität mit E-Scooters in den allermeisten staatlichen Förderprogrammen stiefmütterlich behandelt. Die Analyse der Schweizer E-Scooter-Fördermassnahmen hat gezeigt, dass vor allem finanzielle Anreize (in Form von Subventionen) sowie Kommunikations- und Diffusionsinstrumente (v. a. in Form von Ausstellungen) im Vordergrund stehen.

Die Beurteilung verschiedener Ausstellungen und Messeauftritte zeigt, dass diese Kommunikations- und Diffusionsinstrumente kompetent und effizient eingesetzt wurden, dass aber die effektive Zahl der E-Scooter-Verkäufe nicht gesteigert werden konnte. Beispielsweise gelang es den E-Scooter-Ausstellungen an der Swiss-Moto nicht, nennenswerte Impulse für den Markt zu geben und die Marktentwicklung zu beschleunigen. Die Beurteilung der weiteren Förderinstrumente führt zum Schluss, dass die in den letzten Jahren in der Schweiz gewählte Förderstrategie, die sich eng an die erfolgreiche E-Bike-Förderung anlehnt und ausschliesslich auf Pull-Massnahmen abstellt, ihre Ziele letztlich nicht erreicht hat.

4) Fahrzeugzuverlässigkeit, Ladeinfrastruktur und Verkehrssicherheit

Fahrzeugzuverlässigkeit

Gemäss Händleraussagen ist die Zuverlässigkeit der heute eingesetzten Komponenten deutlich gestiegen, und die Anzahl Garantiefälle ist gesunken.

Die Auswertung der E-Scooter-Tagebücher zu reparaturbedürftigen Schadensereignissen zeigt, dass Störungen am häufigsten bei den elektrischen Anlagen vorkommen, gefolgt von der Fahrzeugbatterie und den mechanischen Komponenten. Damit E-Scooters sich auf dem Markt durchsetzen, muss die Fahrzeugzuverlässigkeit weiter verbessert werden, um das Vertrauen in die Produkte bei Händlern und Interessierten zu stärken.

Ladeinfrastruktur

Die Ergebnisse zeigen, dass Ladestationen für Elektrofahrzeuge in der Schweiz nur zögerlich installiert werden. Öffentliche Ladestationen bei Zweirad-Abstellplätzen haben zurzeit in erster Linie die Funktion, auf E-Scooters aufmerksam zu machen. Ein ausgewiesenes Bedürfnis danach sehen wir nicht, weil die mit E-Scooters zurückgelegten Distanzen kaum länger als 30 bis 40 km sind. Darüber hinaus sind die Zweiradabstellplätze häufig so stark belegt, dass es schwierig sein dürfte, bei den Ladestationen genügend Platz für E-Scooters zu reservieren.

Interessant sind die Entwicklungen in Taiwan: Hier wird eine Einheitsbatterie entwickelt, um so Batteriewechselstationen aufbauen zu können.

Verkehrssicherheit

Grundsätzlich gehören Motorräder wie E-Scooters zur Fahrzeugkategorie mit den höchsten Unfallraten. Einer der wichtigsten Risikofaktoren ist die ungenügende motorradspezifische Fahrer-Erfahrung und technische Fahrfertigkeit (als Folge ungenügender Aus- und Weiterbildung). Die Auswertung unserer Nutzerbefragung zeigt, dass die Hälfte der heutigen E-Scooter-Fahrer geübte Fahrer mit langjähriger Fahrerfahrung sind. Die andere Hälfte der Probanden verfügt über keine Roller-Erfahrungen. Interessant ist, dass keine der befragten Personen (N=55) über Kollisionsunfälle berichtet.

5) Ökobilanzen als wichtige Datengrundlage

Ein Ziel des Forschungsprojekts war, Ökoinventare für alle relevanten Komponenten des Antriebsstrangs und des Chassis von E-Scooters zu erstellen. Diese Daten stehen heute für die freie Nutzung zur Verfügung. Die Auswertung zeigt beispielsweise, dass das Treibhausgaspotenzial pro Kilogramm aller untersuchten Elektromotoren über deren gesamten Lebenszyklus in etwa gleich ist, unabhängig von Nennleistung, Drehmoment und Konstruktionsprinzipien.

Im Projekt wurden zudem die Lärmemissionen als ein neuer und für die Elektromobilität relevanter Indikator theoretisch weiterentwickelt. Der Einsatz von E-Scooters im städtischen Raum hat gegenüber Benzin-Rollern deutliche Vorteile in Bezug auf Lärmemissionen.

Die heutigen E-Scooter-Nutzer haben kein Problem mit der Geräuschlosigkeit: Zwei Drittel der Befragten geben an, dass sich durch das Fehlen des Motorgeräusches nie oder nur selten gefährliche Situationen mit Fussgängern oder anderen Verkehrsteilnehmenden ergeben. Auch weist die Befragung der Subgruppe ‚ehemalige Motorradfahrer und heutige E-Scooter-Fahrer' darauf hin, dass gerade die Geräuschlosigkeit ein bedeutsamer Faktor für den Umstiegs-Entscheid ist. Gemäss den Probanden ist das ‚Schweben', ‚Fliegen' oder ‚Gleiten' ein durchwegs positiv bewertetes Fahrgefühl.

6) Erhöhter Energiebedarf durch schlechte Qualität der Ladegeräte

Im Gegensatz zum benzinbetriebenen Fahrzeug, bei dem praktisch der gesamte eingefüllte Tankinhalt für den Antrieb zur Verfügung steht, haben elektrisch batteriebetriebene Fahrzeuge sehr wohl Ladeverluste. Der Energiebedarf von E-Scooters setzt sich daher zusammen aus dem Fahrenergiebedarf und den Ladeverlusten. Durch den verlustreichen Ladevorgang ist der Energiebedarf ab Steckdose (relevant für die Energiekosten) deutlich höher als der Fahrenergiebedarf ab Batterie (relevant für die Reichweite).

7) Die Rolle von E-Scooters in einem nachhaltigen Mobilitätskonzept

E-Scooters können offensichtlich eine wichtige Rolle als Elemente einer nachhaltigen Mobilität spielen und sollten in künftigen Mobilitätskonzepten mehr Beachtung finden. Wegen ihres geringen Energieverbrauchs und ihrer geringen Umweltauswirkungen, weil sie viel weniger Lärmemissionen verursa-

chen, weil sie in verstopften Innenstädten wenig Platz brauchen und zu den schnellsten Verkehrsmitteln zählen, weisen sie gegenüber anderen Motorfahrzeugen wichtige Vorteile auf.

Die Einsatzmöglichkeiten von E-Scooters werden zudem durch eine Erweiterung/Ausweitung der schweizerischen Fahrzeugarten vergrössert. Seit etwa drei Jahren finden bedeutende Veränderungen auf dem Fahrzeugmarkt statt: Neue 3- oder 4-rädrige Elektro-Motorfahrzeuge (beispielswiese der 4-rädrige Renault Twizy) wurden in der Schweiz homologiert und zum Kauf angeboten: diese fallen ebenfalls unter den Begriff ‚E-Scooter'.

Top-10 Empfehlungen

In diesem Kapitel präsentieren wir die wichtigsten Empfehlungen (‚Top-10') für die Praxis, die wir aus den Ergebnissen unseres interdisziplinären Forschungsprojekts ‚E-Scooter' ableiten.

Empfehlung 1: Ein politisches Netzwerk aufbauen.

Unsere Untersuchungen zeigen, dass die Verbreitung von E-Scooters aus einer ökologischen Perspektive wünschenswert ist, und dass diese Fahrzeuge in nachhaltigen Mobilitätskonzepten eine wichtige Rolle spielen können. Es ist jedoch kein eindeutiges politisches Commitment für E-Scooters (etwa im Rahmen einer zukunftsweisenden Verkehrsstrategie für die Agglomerationen) zu erkennen, und es gibt keine starken Lobby-Gruppen, die entsprechenden politischen Druck aufbauen könnten.

⇨ Wir empfehlen daher den interessierten Kreisen den Aufbau eines politischen Netzwerkes, um Kräfte und Mittel zu bündeln. Dieses Netzwerk könnte sich in politische Debatten einbringen und dadurch den Druck erhöhen, dass E-Scooters in zukunftsorientierten Verkehrskonzepten einen angemessenen Platz erhalten und auch Push-Massnahmen in den Fördermix Eingang finden (beispielsweise eine Verschärfung der gesetzlichen Emissions-Standards für herkömmliche Motorräder[1]).

Empfehlung 2: Vertrauen schaffen.

Für eine schweizweite Verbreitung von E-Scooters sind sowohl bei der Technik als auch beim Anschaffungspreis noch bedeutende Fortschritte notwendig. Priorität sollte die technische Weiterentwicklung haben. Unsere Untersuchungen zeigen aber auch, dass sich die Zuverlässigkeit der heute eingesetzten E-Scooter-Komponenten in den letzten Jahren stark verbessert hat. Zentral ist, dass diese Fortschritte deutlich kommuniziert werden, um noch existierende Hemmschwellen (Misstrauen, Skepsis) bei Händlern und potenziellen Nutzern abzubauen.

⇨ Wir empfehlen Herstellern und Importeuren, die globale technische Entwicklung der E-Scooters weiterzuverfolgen und die dabei gewonnenen Informationen aktiv in der Schweizer Motorradbranche zu verbreiten. Die technischen Verbesserungen und Neuerungen sollten zielgruppengerecht kommuniziert und in den Fachmedien der Motorradbranche diffundiert werden.

Empfehlung 3: Verbesserungen einfordern.

Die durchgeführte Marktanalyse offenbart, dass einerseits das gegenwärtige E-Scooter-Verkaufsvolumen in der Schweiz sehr bescheiden ist, und dass andererseits die global tätigen Motorradhersteller bisher noch nicht auf dem E-Scooter-Markt aktiv sind. Wir regen daher für engagierte und interessierte E-Scooter-Händler eine Bottom-up-Strategie an:

[1] Der Bundesrat beabsichtigt, die europäische Neuregelung in der Schweiz ab 2016/17 zu übernehmen: Die neuen EU-Vorschriften enthalten neben einer wirksamen Absenkung der Emissionsgrenzwerte auch neue, zusätzliche Anforderungen bezüglich On-Board-Diagnosesystemen, Dauerhaltbarkeit oder Verdampfungsemissionen. Die Neuregelung ist nur für die ab 2017 neu zugelassenen Motorräder vorgesehen.
(vgl. http://www.parlament.ch/d/suche/seiten/geschaefte.aspx?gesch_id=20134006, abgerufen am 2.12.2013)

⇨ Wir empfehlen den E-Scooter-Händlern, ihr Wissen (z.B. in Bezug auf Kundenbedürfnisse) den Hersteller-Firmen für die Weiterentwicklung der E-Scooters anzubieten. Falls der direkte Kontakt von Händlern zu Hersteller-Firmen nicht möglich sein sollte, muss der Weg über andere Akteure (Importfirmen, NewRide) gewählt werden, damit eine Verbesserung der Produkte eingefordert werden kann.

Empfehlung 4: Interessierte Händler identifizieren und ansprechen.

Die Beobachtung des heutigen E-Scooter-Netzwerkes zeigt, dass die Akteure noch keine langfristigen Kooperationen gebildet haben. Der Austausch und das Zusammenspiel zwischen den Akteuren – notwendige Faktoren für die Diffusion von Innovationen – haben daher noch kaum stattgefunden.

⇨ Für den Auf- und Ausbau des E-Scooter-Händlernetzes empfehlen wir, die Zielgruppe derjenigen Händler verstärkt anzusprechen, die ökonomische und strategische Vorteile im Nischenmarkt anvisieren. Unsere Untersuchung deutet darauf hin, dass hierfür interessierte oder affine Fachhändler identifiziert und angesprochen werden sollten, die nicht in einer Markenbindung mit grossen Motorrad-Anbietern stehen. Diese Nischenmarkthändler können Fahrrad-, Motorrad-, Auto- oder Elektrofahrzeug-Händler sein. Ziel ist, diese Händler von neutralen Plattformen (z.B. NewRide) über die Entwicklung von E-Scooters zu informieren und ihnen E-Scooter-Wissen zu vermitteln.

Empfehlung 5: Über Recycling und Entsorgung der Batterien informieren.

Aus unseren Untersuchungen geht weiter hervor, dass in Bezug auf die Handhabung der E-Scooter-Batterien noch grosser Informationsbedarf besteht.

⇨ Wir empfehlen, die Händler auf die Vorschriften zu Lagerung, Transport und Entsorgung von Batterien aufmerksam zu machen (Sicherheitsvorkehrung). Sobald ein ausreichendes Verkaufsvolumen von E-Scooters existiert, dürfte dies von den Importeuren/Herstellern übernommen werden, da das Management der Batterieentsorgung deren Pflicht ist. Als Zwischenlösung sollten jedoch andere Akteure (z.B. NewRide, EnergieSchweiz, Inobat) diese Informationsarbeit leisten.

Empfehlung 6: Über korrektes Laden informieren.

Das korrekte Laden bewirkt eine deutliche Verbesserung der Batterielebensdauer und mehr Sicherheit.

⇨ Wir empfehlen, bei Händlern und Nutzern Verhaltensregeln zum Laden von E-Scooter-Batterien bekannt zu machen. Dafür könnten beispielsweise von einer neutralen Plattform wie NewRide Weiterbildungskurse für interessierte oder affine Fachhändler angeboten werden.

Empfehlung 7: Finanzielle Anreize weiterführen.

Die bisherigen Fördermassnahmen (finanzielle Anreize, Informations- und Kommunikationsmassnahmen und Probefahrten) haben nicht genügt, um die Markteinführung von E-Scooters im erhofften Mass anzuregen. Angesichts der im Vergleich mit allen andern Motorfahrzeugen positiven Energie- und Umweltbilanz von E-Scooters ist die Weiterführung der Förderung seitens Politik und öffentlicher Verwaltung sinnvoll. Wir plädieren für eine Ausweitung des Fördermixes durch Einbezug weiterer Massnahmen, insbesondere auch Push-Massnahmen. Nebst Städten könnten auch Stromversorger vermehrt einbezogen werden, und die Schaffung eines separaten Fonds ist zu prüfen.

⇨ Wir empfehlen, die Markteinführung von E-Scooters weiterhin mit finanziellen Anreizen zu unterstützen. Wir plädieren für vergleichsweise eher hohe Subventionen (10-20% des Anschaffungspreises), die aber zeitlich befristet und bezüglich der Anzahl geförderter Fahrzeuge gedeckelt sind. Da die Händler in der Vertriebskette eine Schlüsselstelle einnehmen, wäre es auch sinnvoll, einen Teil der Subvention nach einem geeigneten System an die Händler auszubezahlen.

Empfehlung 8: Autopendler und Flottenbetreiber gezielt ansprechen.

Insbesondere in Agglomerationen und während besonders verkehrsreichen Tageszeiten (Pendlerfahrten) besteht ein hohes Potential zur Verlagerung von Autofahrten auf den E-Scooter.

⇨ Wir empfehlen der öffentlichen Hand auf den verschiedenen staatlichen Ebenen, bei der Förderung von E-Scooters auf die beiden Zielgruppen ‚Autopendler' und ‚Flottenbetreiber' zu fokussieren. Autopendler in Agglomerationen sollten gezielt angesprochen werden. Kurz- und mittelfristig sehen wir zudem ein grosses ungenutztes Potenzial im Bereich des Geschäftsverkehrs in Agglomerationen. Der Fördermix sollte deshalb stärker auf die Bedürfnisse von Flottenbetreibern zugeschnitten sein.

Empfehlung 9: Wissen über E-Scooters umfassend kommunizieren.

Aus unseren Untersuchungen geht hervor, dass eine umfassende Kommunikation über alle Aspekte von E-Scooters wichtig ist.

⇨ Der Politik und der öffentlichen Verwaltung empfehlen wir, insbesondere auch zu kommunizieren, dass:

- beim Kauf eines E-Scooters hochwertige Produkte mit langer Lebensdauer gekauft werden sollen;
- für den Betrieb ‚sauberer' Strom verwendet werden soll;
- zwischen dem kosten- und umweltrelevanten Energiebezug ab Steckdose und dem reichweitenrelevanten Energiebedarf für das Fahren unterschieden werden muss;
- der Einsatz von E-Scooters das Mobilitätsverhalten positiv beeinflusst: rund zwei Drittel der ersetzten Kilometer sind Auto- und Motorradkilometer, und E-Scooters verursachen keinen nennenswerten zusätzlichen Verkehr (und schneiden diesbezüglich deutlich besser ab als E-Bikes);
- die errechneten Ökobilanzen eindeutig zeigen, dass E-Scooters die Umwelt weniger belasten als herkömmliche Roller;
- verschiedene Städte und Elektrizitätswerke finanzielle Anreize bieten;
- bei Neubauten die Vorinstallationen für Ladestationen (Rohre einziehen) eingeplant werden sollten.

Empfehlung 10: In einer Imagekampagne den persönlichen Nutzen von E-Scooters hervorstreichen.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass für den Einzelnen der persönliche relative Vorteil (Zusatznutzen) der E-Scooters gegenüber Benzin-Rollern gering ist. Vielmehr gehen die potenziellen Käufer aufgrund des höheren Anschaffungspreises von generell höheren Kosten für E-Scooters aus – nicht immer zu Recht, wie unsere Analysen zeigen. Auch gelten E-Scooters bisher kaum als trendige Lifestyle-Produkte. E-Scooters werden nicht als neue, sondern als (teurer) Ersatz für herkömmliche Roller gesehen und müssen sich gegen deren Mainstream-Stärken behaupten.

⇨ Wir empfehlen, dass der Bund eine schweizweite E-Scooter-Imagekampagne lanciert, um das neuartige positive Fahrerlebnis, die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit und die Eignung für Pendlerfahrten bekannt zu machen. Auch die Erfolge und guten Erfahrungen von Unternehmen mit E-Scooters (beispielweise die Post oder KMUs) sollten aufgezeigt und kommuniziert werden.

Résumé

Situation initiale et objectifs

Depuis deux à trois ans, on constate un intérêt accru du monde politique et de l'opinion publique pour les questions d'énergie en général d'une part, et pour l'électromobilité en tant que porteuse d'espoir pour une mobilité plus respectueuse de l'environnement d'autre part. Les scooters à propulsion électrique (scooters électriques)[1] offrent un potentiel considérable de réduction de la demande en énergie, des émissions de gaz à effet de serre, de la pollution de l'air et du bruit routier (Buwal 2004). Bien que les scooters électriques soient présents sur le marché suisse depuis les années 1990 et aient été encouragés dans le cadre de l'essai à grande échelle de véhicules électriques légers à Mendrisio et dans les communes partenaires (1995-2001), ils n'ont pas encore réussi à percer. L'objectif du présent travail de recherche interdisciplinaire est d'apporter une contribution au développement technique des scooters électriques, de soutenir scientifiquement la mise sur le marché de ces nouveaux véhicules et d'analyser leur impact sur l'énergie, l'environnement et les comportements de mobilité. Pour le traitement de ces différentes questions, six paquets de travail (PT) ont été formulés :

- Dans le PT « Acteurs et évolution du marché », l'évolution globale du marché ainsi que les besoins et possibilités de ses différents acteurs (distributeurs, constructeurs, importateurs) ont été analysés.
- Dans le PT « Technologie », des recherches sur les types de batteries adaptées aux scooters électriques, les infrastructures de charge et la sécurité routière ont été menées.
- Le PT « Mesures d'encouragement » a évalué les mesures déjà introduites et d'autres mesures envisageables.
- Dans le PT « Énergie et environnement », les bases manquantes dans le domaine des inventaires de cycle de vie (ICV) et des analyses de cycle de vie (ACV) ont été élaborées. L'accent a été mis sur la fabrication, la propulsion et l'élimination/le recyclage des scooters électriques.
- Le PT « Comportement d'utilisation » a étudié la consommation d'énergie, les kilomètres parcourus, les habitudes de charge et le comportement de mobilité des conducteurs de scooter électrique.
- Le PT « Direction du projet et communication » enfin, comprenait la direction administrative et en termes de contenu du projet global, la coordination des PT ainsi que la représentation commune vis-à-vis des tiers.

Démarche et méthodologie

Les méthodes utilisées sont décrites en même temps que chacun des paquets de travail.

Paquet de travail ‚Acteurs et évolution du marché'

L'évolution globale et nationale du marché des scooters électriques a été suivie et documentée selon différentes approches (p. ex. participation à des salons, visite de congrès nationaux/internationaux, diverses lettres d'information et contacts personnels). Pour l'analyse du processus de diffusion en Suisse, une analyse de niche comparative a été menée selon l'approche du système d'innovation

[1] Il n'existe pas de définition uniforme du « scooter électrique » dans la littérature spécialisée ; c'est pourquoi l'équipe de recherche a établi une définition de travail au début du projet en 2009 : « Scooter électrique » est un terme générique pour les *cyclomoteurs et motocycles à propulsion électrique*. Au cours du projet (2009-2013), des changements importants ont eu lieu sur le marché des véhicules : de nouveaux tricycles et quadricycles à moteur électriques, répertoriés aussi sous le terme de scooter électrique, ont été homologués en Suisse et offerts à la vente.

technologique (TIS, cf. Walter 2012) et les bases théoriques de diffusion de Rogers (2003) ont été utilisées. Des entretiens avec des distributeurs de scooters électriques et de motocycles ont également été réalisés, afin de connaître leur appréciation des scooters électriques.

Paquet de travail ‚Technologie'

L'accent a été mis ici sur les aspects fiabilité, infrastructure de charge et sécurité routière. La fiabilité des scooters électriques a été appréhendée et évaluée au moyen de l'enquête auprès des utilisateurs de scooters électriques (voir ci-dessous). Un guide pour les régions qui soutiennent l'utilisation de scooters électriques a été rédigé dans le but de faciliter l'élaboration d'un concept pour les stations de charge. En ce qui concerne la sécurité routière, des analyses électroniques des scooters électriques ont été réalisées en collaboration avec Electrosuisse[1] d'une part, et des aspects spécifiques au scooter électrique - faible niveau sonore, nouveaux conducteurs inexpérimentés - ont été analysés en coopération avec le Bureau de prévention des accidents bpa, d'autre part.

Paquet de travail ‚Mesures d'encouragement'

Dans ce paquet de travail, il s'agissait d'analyser les différentes mesures d'encouragement ciblées en faveur du développement, de la mise sur le marché et de la pénétration commerciale des scooters électriques. Les mesures d'encouragement déjà engagées (p. ex. dans le cadre du programme NewRide) ou prévues ont été recensées au moyen d'une recherche documentaire, évaluées et consignées dans divers rapports.

Paquet de travail ‚Énergie et environnement'

Les bases manquantes pour la mesure du besoin en énergie des scooters électriques et des inventaires de cycle de vie (ICV) et analyses de cycle de vie (ACV) ont été établis. La plupart des données d'inventaire ont été intégrées à la plus grande banque de données d'inventaires environnementaux au monde, ecoinvent v2.2.

Paquet de travail ‚Comportement d'utilisation'

Afin de pouvoir analyser le comportement d'utilisation, c.-à-d. l'influence sur le comportement de mobilité de l'achat d'un scooter électrique et la consommation spécifique d'énergie des scooters électriques dans la pratique, une enquête écrite a été réalisée auprès de 70 conducteurs de scooters électriques en Suisse alémanique et romande.

Résultats

1) Paquet de travail ‚Acteurs et évolution du marché'

Évolution globale et nationale du marché

Nos analyses montrent que des constructeurs mondiaux de scooters (tels que Peugeot, Yamaha, PGO, Piaggio) ont mis des scooters électriques sur le marché et que d'autres l'annoncent (p. ex. BMW). En outre, divers constructeurs spécialisés de scooters électriques sont présents sur le marché depuis des années, avec peu de succès toutefois jusqu'ici, à l'exception de l'entreprise suisse Kyburz avec son DXP. Les scooters électriques produits en grand nombre en Chine et dans d'autres pays asiatiques ne satisfont pas encore aux exigences qualitatives du marché européen. Dans les expositions internationales, les constructeurs asiatiques présentent cependant toujours plus de produits dé-

[1] Electrosuisse est l'association professionnelle du domaine de l'électrotechnique, des technologies de l'énergie et de l'information.

veloppés spécifiquement pour le marché européen. L'offre en Europe de scooters électriques de haute qualité venus d'Asie n'est donc qu'une simple question de temps.

La Poste suisse a commencé en 2008 à remplacer la totalité de sa flotte de scooters à essence par des scooters électriques, à raison de commandes annuelles d'env. 1600 unités. Ces scooters confirment la fiabilité et la rentabilité de ces véhicules et de cette technologie.

Analyse des processus de diffusion des scooters électriques en Suisse jusqu'à présent

La diffusion des vélos électriques en Suisse est nettement en avance sur celle des scooters électriques, bien qu'ils soient sur le marché depuis à peu près le même temps. Des explications possibles à ces parcours de diffusion différents ont été avancées : l'analyse TIS dévoile qu'au-delà de l'espace protégé, qui au début a préservé ces deux niches d'innovation de la pression inhibitrice de l'entourage, l'interaction entre caractéristiques de produit, de niche et d'entourage a été déterminante pour la différence de parcours des deux innovations. Il est important pour la poursuite de la diffusion des scooters électriques de renforcer de façon ciblée les deux fonctions TIS « création de légitimité » et « pilotage et orientation stratégique ». L'observation sous l'angle de la théorie de diffusion de Rogers (2003) montre aussi le potentiel de diffusion différent des vélos et des scooters électriques : les caractéristiques visibilité (les effets de l'innovation sont visibles pour les autres), possibilité d'essai (on peut essayer les véhicules avant l'achat) et avantage relatif personnel (ils présentent un avantage personnel élevé par rapport à d'autres produits) sont bien plus marquées pour les vélos électriques que pour les scooters électriques.

Les distributeurs sont des acteurs importants

Les distributeurs sont des acteurs importants dans le processus de diffusion des scooters électriques. Ils ne remplissent toutefois que partiellement les exigences en matière de communication promotionnelle telle que publicité et promotion des ventes. Aussi bien les distributeurs de scooters électriques (N=20) que les distributeurs de motocycles (N=102) interrogés classent comme inconvénients importants voire points problématiques des scooters le prix de vente élevé, la batterie et la faible autonomie. L'intérêt, le savoir-faire et la disposition à suivre des cours de perfectionnement sur les scooters électriques sont dans l'ensemble très faibles chez tous les acteurs. La confiance tant dans la technique que dans les importateurs actuels de scooters électriques fait défaut actuellement et tous les distributeurs interrogés exigent un développement technologique du produit.

2) Paquet de travail ‚Technologie'

Fiabilité des scooters électriques

Le dépouillement de l'enquête auprès des utilisateurs de scooters électriques montre que les défaillances les plus fréquemment citées concernent les composants électriques et la batterie du véhicule. Selon les déclarations des concessionnaires, la qualité de finition et la fiabilité des composants a nettement augmenté et le nombre de recours en garantie a diminué. Les pannes de batterie ne sont souvent pas dues aux cellules de la batterie elles-mêmes, mais à la protection électronique (le système de gestion de la batterie) et/ou au chargeur.

Infrastructure de charge

Pour quelques modèles de scooter électrique, les batteries peuvent, en fonction de leur poids, être ôtées du véhicule pour être rechargées. Grâce au développement technologique des batteries et au fractionnement de leur capacité en plusieurs blocs (portables), cela sera possible pour des véhicules de plus en plus gros. Les batteries fixes des scooters électriques sont chargées surtout à la maison. Si ce n'est pas possible, le manque d'infrastructure de charge peut constituer un obstacle à l'achat. Les stations de charge publiques sur les places de stationnement pour deux-roues ont actuellement

d'abord la fonction d'attirer l'attention sur les scooters électriques. Nous ne constatons pas pour le moment de besoin avéré en la matière.

Sécurité routière

Les « motocycles » constituent la classe de véhicules où le taux d'accidents est le plus élevé. Aux dangers communs à tous les motocycles, s'ajoutent de nouveaux risques potentiels pour les scooters électriques, tels que les câbles trainant sur le sol dans l'espace public (risque de trébucher) et les chargeurs extérieurs (humidité). On ne sait pas si le taux d'accidents des scooters électriques est différent de celui des motocycles classiques. Comme tous les véhicules électriques, les scooters électriques sont peu audibles à une vitesse inférieure à 30 km/h. Au printemps 2012, le Conseil fédéral a adopté une nouvelle réglementation dans l'ordonnance concernant les exigences techniques pour les véhicules routiers (OETV), selon laquelle les véhicules à propulsion électrique peuvent être équipés d'un avertisseur sonore en vue de garantir leur audibilité. Leur niveau sonore est limité, il ne s'agit pas d'une émission de bruit.

3) Paquet de travail ‚Mesures d'encouragement'

Incitations financières

Il n'existe pas de promotion avec aides à l'achat généralisée et coordonnée entre les communes en ce qui concerne le mode de subvention. Le montant des aides à l'achat est très variable et oscille entre 5 % et 25 % du prix de vente. Selon nos analyses, il n'y a pas eu d'effets d'aubaine majeurs. Outre les contributions uniques à l'achat des communes, les scooters électriques bénéficient dans la plupart des cantons de réduction de taxes sur les véhicules à moteur. Par rapport aux aides à l'achat, les incitations sous forme de réduction de taxes sont toutefois secondaires, parce que leur montant est modeste et qu'elles ne sont pas visibles à l'achat, mais seulement sur la facture de taxe annuelle.

Expositions de scooters électriques et Swiss-Moto 2009-2013

Au niveau national, les expositions de véhicules avec possibilité d'effectuer des essais représentent une activité centrale de promotion des scooters électriques. Dans le cadre du projet de recherche, les journées de test et les expositions spéciales scooters électriques de Swiss-Moto ont été évaluées. Les journées d'essai se révèlent dans l'ensemble être un instrument excellent pour faire connaître les scooters électriques. L'évaluation des expositions spéciales scooters électriques du salon de la moto Swiss-Moto réalisées depuis 2008 montre que le gros investissement se justifie par un très fort écho auprès du public, qui se traduit par un nombre de 30 000 à 40 000 visiteurs et une moyenne de 1000 essais de véhicules par an. Même si les différents groupes d'acteurs (exposants, concessionnaires, visiteurs) se disent très satisfaits de l'exposition spéciale, il reste que Swiss-Moto ne donne pas (non plus) d'impulsion décisive à l'évolution du marché.

Autres mesures d'encouragement

Les approches de promotion des scooters électriques adoptées jusqu'ici, aussi bien en Suisse qu'à l'étranger, reposent exclusivement sur des mesures axées sur la demande, des incitations financières, des mesures d'information et de communication et également la possibilité de faire des essais. Il s'avère que ce bouquet de mesures seul n'a pas suffi jusqu'à présent pour activer la mise sur le marché de scooters électriques dans la mesure espérée.

4) Paquet de travail ‚Energie et environnement'

Besoin en énergie et autonomie

Le besoin en énergie des scooters électriques a été étudié parce que la consommation et l'autonomie sont déterminantes pour une estimation réaliste de la consommation sur le cycle de vie des véhicules. Les données montrent que le besoin en énergie des scooters électriques testés sur banc d'essai à rouleaux et en utilisation normale correspond bien aux valeurs modélisées. Les modèles utilisés et les évaluations réalisées à partir de ceux-ci sont disponibles sous forme d'applications MS Excel et MatLab. On a de plus constaté que le prélèvement d'électricité de réseau peut être nettement supérieur au besoin en énergie pour la circulation, c.-à-d. que le processus de charge comporte des pertes importantes (10-30%). Certains chargeurs et systèmes de gestion de batterie sont visiblement inefficients, en particulier quand la batterie est déjà presque complétement chargée.

Inventaires de cycle de vie spécifiques (ICV)

Des inventaires environnementaux d'exemples sélectionnés ont été établis pour tous les composants pertinents de la chaîne cinématique et du châssis. Ils sont en libre accès (sous forme de tableau MS Excel et dans le logiciel d'écobilan SimaPro). La comparaison des inventaires environnementaux de composants ayant la même fonction, de taille et de type différents (p. ex. divers moteurs électriques), montre en général une dépendance négligeable de l'impact sur l'environnement des paramètres de conception fondamentaux. Par exemple, le potentiel d'effet de serre par kilogramme de tous les moteurs électriques étudiés sur l'ensemble de leur cycle de vie est à peu près le même, indépendamment de la puissance nominale, du couple et des principes de construction. Dans le projet, les émissions sonores ont en outre été développées sur le plan théorique en tant que nouvel indicateur pertinent pour l'électromobilité.

Analyses de cycle de vie spécifiques (ACV)

Conduire un scooter électrique est intéressant du point de vue de l'impact sur l'environnement par rapport à pratiquement toutes les variantes calculées - même les transports publics peuvent avoir de moins bons résultats (p. ex. en raison de détours ou d'un faible taux de remplissage, cf. figure 1). La 'propreté' du courant utilisé représente un des principaux indicateurs. Si le courant est 'propre', l'atteinte à l'environnement de la fabrication du véhicule dépasse de loin celle de son utilisation. Les coûts de production parfois très élevés des scooters électriques rallongent les 'temps d'amortissement', surtout quand ils sont utilisés comme deuxième véhicule.

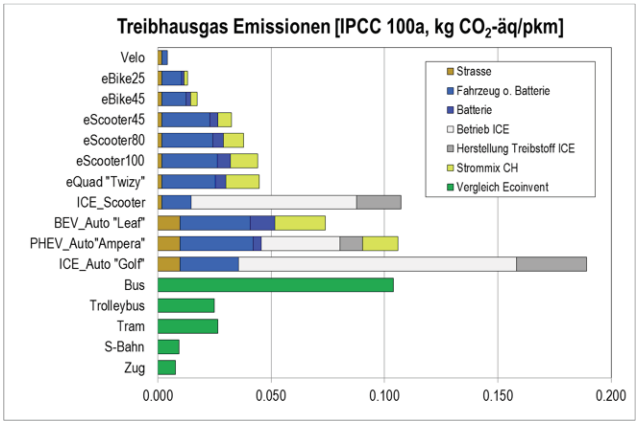


Figure 1: Emissions de gaz à effet de serre par voyageur-kilomètre pour différentes catégories de véhicules de transports individuels et publics, différenciées en fonction de différentes origines, prélèvement de courant (en jaune) selon le mix électrique suisse à la prise.

5) Paquet de travail ‚Comportement d'utilisation'

Comportement de mobilité

55 conducteurs de scooters électriques ont pu être interrogés sur leur comportement de mobilité. La part d'hommes est de 84% et l'âge moyen est de 48 ans. Les participants ont un niveau de formation et de revenus légèrement supérieur à la moyenne. 93% des conducteurs sont ‚satisfaits' ou même ‚très satisfaits' de leur scooter. Le trajet moyen en scooter électrique est de 15 km et dure 25 minutes, mais la dispersion est large. 54% des trajets ont été effectués pour se rendre au travail, 23% pour les loisirs, 13% pour le service et l'accompagnement et 9% à des fins commerciales. L'achat d'un scooter électrique n'a entrainé qu'une faible augmentation (5%) des kilomètres parcourus. Les trajets en scooters électriques ont remplacé presque pour la moitié des trajets en voiture (33%) ou en scooter à essence (15%). 36% des trajets en scooters électriques ont remplacé des trajets en transports publics et 9% des trajets à vélo. Pour 11% des participants, le scooter électrique a remplacé une voiture, pour 58% un scooter à essence. En tout 73% des participants disent avoir acheté un scooter électrique en remplacement ou à la place d'un autre moyen de transport. L'achat d'un scooter électrique n'a conduit à un agrandissement du parc de véhicules que pour 27% des participants.

Consommation d'énergie

L'approvisionnement moyen en énergie de réseau (prélèvement d'énergie à la prise de courant) consignés dans les journaux des scooters électriques correspond bien aux valeurs modélisées (cf. table 1). On peut conclure des essais sur les bancs à rouleaux et des études des chargeurs que le besoin en énergie pour la circulation est nettement inférieur en raison de la perte élevée pendant la charge.

Classe de scooter électrique	Prélèvement moyen d'énergie du réseau	Besoin en énergie pour la circulation
E-Scooter env. 45 km/h	4 kWh/100km	2-4 kWh/100km
E-Scooter env. 80 km/h	6 kWh/100km	4-6 kWh/100km
E-Scooter env. 100 km/h	8 kWh/100km	6-8 kWh/100km

Table 1: Consommation énergétique : prélèvement d'énergie du réseau et besoin en énergie pour la circulation.

Les données d'approvisionnement en énergie tirées des journaux des scooters électriques ne montrent pas de hausse de consommation nette en hiver. Cela signifie que, contrairement aux autres véhicules électriques avec habitacle climatisé, le besoin en énergie pour la circulation et les pertes de charge reste à peu près constant (pas de chauffage). Par contre, le froid diminue la capacité utile de la batterie, ce qui réduit l'autonomie.

Synthèse

1) De nombreux obstacles à la diffusion rapide des scooters électriques en Suisse

Petits importateurs peu connus au budget modeste et qualité insuffisante de certains produits

Les importateurs actuels de scooters électriques sont en majorité des entreprises peu connues de la branche des motocycles qui ne disposent pas d'un réseau de concessionnaires fonctionnel. En outre ils ne peuvent pas procurer de matériel professionnel de publicité et de communication à leurs distributeurs, ni leur faire des offres attrayantes pour la promotion des ventes (p.ex. des rabais). L'expérience des dernières années montre en outre que les scooters électriques produits en Chine et dans d'autres pays asiatiques ne répondent pas encore aux exigences de qualité du marché européen.

Depuis peu, un changement positif de cette situation se dessine, puisque plusieurs constructeurs mondiaux de motocycles vont mettre des scooters électriques sur le marché en 2014. Le fait que les scooters électriques deviennent populaires aussi à Taiwan est important pour l'Europe et la Suisse, car l'industrie du scooter taïwanaise travaille selon un haut niveau de qualité et se rapproche donc du

marché européen. L'offre en Europe de scooters électriques de haute qualité venus d'Asie n'est qu'une simple question de temps.

Scepticisme des distributeurs vis-à-vis du produit

L'observation de la situation actuelle du marché sous l'angle de la théorie de la diffusion montre que les distributeurs sont les acteurs principaux du processus de diffusion. Les scooters électriques sont proposés en Suisse actuellement chez quelques distributeurs de motocycles et de cycles et ceux-ci sont très sceptiques envers les scooters électriques. Une des raisons en est le manque de confiance dans la qualité et la compétitivité des véhicules et dans la fiabilité des importateurs de scooters électriques actuels. Presque tous les distributeurs demandent - en partie sans doute par ignorance - un développement technologique du produit. Le deuxième motif de scepticisme des distributeurs est de nature économique : leurs marges sont faibles et notre enquête auprès des distributeurs montre que la vente d'un scooter électrique entraine un surcroît important de travail en raison du besoin d'information plus élevé (p. ex. connaissances lacunaires).

Absence d'avantage personnel

Pour l'individu, le bénéfice personnel relatif (avantage supplémentaire) du scooter électrique est mince par rapport au scooter à essence. Pour la clientèle actuelle, les bénéfices pour la société occupent le premier plan (moins d'émission de polluants et de bruit). Les utilisateurs actuels de scooters électriques citent le respect de l'environnement (p. ex. réduction du rejet de CO_2) et le faible niveau sonore comme avantages importants par rapport au scooter à essence. Les scooters électriques ne sont pas non plus considérés comme nouveaux véhicules, mais comme substituts (onéreux) au scooter classique et doivent s'imposer face à la force de mainstream de ceux-ci.

Les économies sur les coûts ne sont pas (encore) perçues

Les études montrent que l'on peut compter sur des frais de service et d'entretien plus bas par rapport aux scooters à essence. Cet avantage économique n'est pas connu de beaucoup d'acteurs (distributeurs, acheteurs potentiels).

Prix de vente élevé

Un scooter électrique peut être deux fois plus cher qu'un scooter classique présentant les mêmes performances et équipements. Ces différences de prix sont compensées en partie dans plusieurs communes par des incitations financières (10-25% du prix de vente). On peut supposer qu'avec l'entrée sur le marché des grands constructeurs de motocycles, les coûts unitaires vont diminuer et les scooters électriques devenir ainsi meilleur marché.

Imprécisions/incertitudes relatives à l'élimination et au recyclage des batteries

Selon le droit en vigueur, les vendeurs doivent offrir à leurs clients des possibilités d'élimination simples, sûres et conformes à la loi. L'enquête auprès des distributeurs a cependant montré que ceux-ci sont insuffisamment informés sur les compétences et les procédures en matière d'élimination et de recyclage des batteries de scooters électriques.

La restructuration de la flotte de scooters de la Poste n'a encore qu'un faible effet de signal sur les autres entreprises

La Poste suisse va remplacer la totalité de sa flotte de scooters à essence (env. 7000 véhicules) par des scooters électriques. L'expérience passée montre que ces véhicules sont très fiables et qu'ils n'entrainent pas de désavantage en termes de coûts. La Poste n'est cependant pas (encore) perçue comme un exemple en la matière par les autres entreprises suisses. Cela peut s’expliquer par des frais liés aux véhicules trop insignifiants pour les entreprises, les faibles taux de renouvellement des flottes de véhicules et l'usage spécifique de la Poste.

Faible engagement politique et absence de groupes de pression influents

Le thème des scooters électriques est quasi absent des médias. Aucun engagement politique fort ne se fait sentir et il n'existe pas de groupes de pression pouvant agir en ce sens.

2) Les scooters électriques sont souhaitables du point de vue écologique

Les scooters électriques sont efficients sur le plan énergétique et respectueux de l'environnement

L'analyse de l'enquête sur la mobilité montre que 61% des kilomètres parcourus en scooter électrique l'auraient été en voiture ou en motocycle à essence. La moyenne des kilomètres parcourus par an est d'environ 2500 km, avec une économie de 1500 kilomètres en auto ou moto. Les participants n'ont pratiquement pas effectué de trajets supplémentaires avec leur scooter électrique (c.-à-d. pas d'augmentation notable du trafic) : plus de 90% des trajets parcourus en scooter électrique auraient été effectués aussi en l'absence de celui-ci. De plus, on a pu montrer que l'utilisation de scooters électriques vaut la peine du point de vue de l'impact sur l'environnement par rapport à presque tous les autres véhicules à moteur. Il est important pour cela d'utiliser du courant ‚propre'.

Le scooter électrique comme véhicule de pendulaire pour des distances courtes et moyennes

Les participants ont effectué avec leur scooter électrique surtout des trajets courts ou moyens, en ville et en agglomération : la moyenne est de 15 kilomètres parcourus par trajet. L'exploitation des journaux de bord montre aussi que l'autonomie des véhicules a suffi pour la plupart des utilisations.

À supposer que tous les trajets de pendulaires effectués en automobile ou en motocycle en Suisse soient remplacés par des trajets en scooter électrique, un impact négatif énorme sur l'environnement pourrait être évité : l'étude montre que les émissions de gaz à effet de serre d'un scooter électrique (par personne-kilomètre) est trois fois moindre que pour un scooter à essence et même cinq fois plus faible que pour une voiture à essence. On n'obtiendrait pas seulement une réduction considérable des émissions de gaz à effet de serre, mais aussi un impact positif sur l'écosystème et les ressources.

3) Palette de mesures d'encouragement insuffisante

À l'échelle globale, peu de moyens ont été alloués jusqu'ici à la promotion des scooters électriques et la conscience en matière de substitution des automobiles par des scooters électriques en agglomération fait défaut aux pouvoirs publics. En conséquence, l'électromobilité avec scooters électriques est négligée dans la plupart des programmes d'encouragement. L'analyse des mesures suisses d'encouragement des scooters électriques révèle que l'accent est mis surtout sur les incitations financières (sous forme de subventions) et sur les instruments de communication et de diffusion (essentiellement sous forme d'expositions).

L'évaluation des différents salons et expositions montre que ces instruments de communication et de diffusion ont été utilisés de manière compétente et efficace, sans réussir toutefois à augmenter le nombre effectif de scooters électriques vendus. Ainsi, l'exposition de scooters électriques au salon Swiss-Moto n'a pas réussi à donner une impulsion notable au marché ni à accélérer son évolution. L'évaluation des autres instruments de promotion conduit à la conclusion que la stratégie d'encouragement choisie ces dernières années en Suisse, qui s'appuie étroitement sur la promotion réussie des vélos électriques et repose exclusivement sur des mesures axées sur la demande, n'a pas atteint ses objectifs.

4) Fiabilité des véhicules, infrastructure de charge et sécurité routière

Fiabilité des véhicules

Selon les déclarations des distributeurs, la fiabilité des composants utilisés aujourd'hui a nettement augmenté et le nombre de recours en garantie a diminué.

L'exploitation des journaux de bord des scooters électriques du point de vue des dommages nécessitant une réparation montre que les pannes les plus fréquentes concernent les installations électriques, viennent ensuite la batterie du véhicule et les composants mécaniques. Pour que les scooters électriques puisent s'imposer sur le marché, la fiabilité des véhicules doit encore être améliorée, afin de renforcer la confiance des distributeurs et des personnes intéressées dans les produits.

Infrastructure de charge

Les résultats montrent que l'installation de stations de charge tarde en Suisse. Les stations de charge publiques sur les places de stationnement pour deux-roues ont actuellement d'abord la fonction d'attirer l'attention sur les scooters électriques. Nous ne voyons pas de besoin avéré en la matière du fait que les distances parcourues en scooter électrique sont rarement supérieures à 30 – 40 km. De plus, les parcs de stationnement pour deux-roues sont souvent si occupés qu'il devrait être difficile de réserver une place suffisante pour la charge des scooters électriques.

L'évolution à Taiwan est intéressante : une batterie universelle, permettant la mise en place de stations d'échange de batteries, a été conçue.

Sécurité routière

Les motocycles comme les scooters électriques appartiennent à la catégorie de véhicules où le taux d'accidents est le plus élevé. Un des plus grands facteurs de risque est le manque d'expérience spécifique des motocycles et de dextérité de conduite des conducteurs (conséquence d'un manque de formation). Le dépouillement de notre enquête auprès des utilisateurs montre que la moitié des conducteurs de scooters électriques actuels possèdent une longue expérience de conduite. L'autre moitié des participants ne dispose d'aucune expérience des scooters. Nous constatons avec intérêt qu'aucune des personnes interrogées (N=55) ne fait état de collisions.

5) Les écobilans constituent une base de données importante

Un des objectifs du projet de recherche était de réaliser des inventaires environnementaux pour tous les composants pertinents de la chaine cinématique et du châssis des scooters électriques. Ces données sont maintenant en accès libre. L'évaluation montre par exemple que le potentiel de gaz à effet de serre par kilogramme sur l'ensemble du cycle de vie de tous les moteurs électriques étudiés est à peu près le même, indépendamment de la puissance nominale, du couple et des principes de construction.

Dans le projet, les émissions sonores ont en outre été développées sur le plan théorique en tant que nouvel indicateur pertinent pour l'électromobilité. L'utilisation de scooters électriques dans l'espace urbain présente de nets avantages par rapport aux scooters à essence en matière d'émissions sonores.

Le faible niveau sonore ne pose pas de problème aux utilisateurs actuels : deux tiers des personnes interrogées déclarent que l'absence de bruit du moteur ne les a jamais ou rarement placées en situation dangereuse avec des piétons ou autres usagers de la route. Dans le sous-groupe « ancien conducteur de moto aujourd'hui conducteur de scooter électrique », l'enquête indique que l'absence de bruit est un facteur significatif dans la décision de changement. Les participants jugent très positivement la sensation de « planer », « voler » ou « glisser » lors de la conduite.

6) Besoin en énergie accru de par la mauvaise qualité des chargeurs

Contrairement aux véhicules propulsés à l'essence, pour lesquels la quasi-totalité du contenu du réservoir est disponible pour la propulsion, les véhicules à batterie électrique subissent des pertes lors de la charge. Le besoin en énergie des scooters électriques est donc la somme du besoin en énergie de circulation et des pertes à la charge. À cause des fortes pertes lors du processus de charge, le besoin en énergie à la prise de courant (pertinent pour les coûts énergétiques) est nettement plus élevé que le besoin en énergie à partir de la batterie (pertinent pour l'autonomie).

7) Rôle des scooters électriques dans un concept de mobilité durable

Les scooters électriques peuvent manifestement jouer un rôle important comme élément de mobilité durable et devraient être mieux pris en compte dans les futurs concepts de mobilité. Parce que leur consommation énergétique et leur impact sur l'environnement sont faibles, qu'ils font beaucoup moins de bruit, qu'ils occupent peu de place dans les centres villes encombrés et qu'ils comptent parmi les moyens de transports les plus rapides, ils présentent d'importants avantages par rapport aux autres véhicules à moteur.

Les possibilités d'utilisation de scooters électriques sont de plus accrues grâce à une extension/un élargissement des classes de véhicules suisses. Depuis environ trois ans, des changements significatifs ont eu lieu sur le marché et de nouvelles catégories de véhicules sont apparues : des véhicules à 3 ou 4 roues, répertoriés aussi comme „scooters électriques“, ont été homologués en Suisse et offerts à la vente.

Top-10 Recommandations

Dans ce chapitre, nous présentons nos recommandations principales (‘Top-10’) pour la pratique, tirées des résultats de notre projet de recherche interdisciplinaire « scooter électrique ».

Recommandation 1 : construire un réseau politique

Nos études montrent que la diffusion des scooters électriques est souhaitable du point de vue écologique et que ces véhicules peuvent jouer un rôle important dans des concepts de mobilité durables. On ne discerne cependant pas d'engagement politique en faveur des scooters électriques (par exemple dans le cadre d'une stratégie de circulation porteuse d'avenir pour les agglomérations) et il n'existe pas de groupe assez puissant pour exercer la pression politique nécessaire.

⇨ Nous recommandons donc aux milieux concernés de construire un réseau politique afin de concentrer les forces et les moyens. Ce réseau pourrait s'impliquer dans les débats politiques et ainsi augmenter la pression pour que les scooters électriques obtiennent une place adaptée dans les concepts de circulation d'avenir et aussi que des mesures axées sur l'offre soient intégrées aux mesures d'encouragement (par exemple un durcissement des normes légales en matière d'émissions pour les motocycles classiques[1]).

Recommandation 2 : créer la confiance

Pour la diffusion des scooters électriques dans toute la Suisse, des progrès significatifs sont nécessaires aussi bien en termes techniques que de prix de vente. La priorité doit être donnée au développement technique. Nos analyses montrent cependant que la fiabilité des composants des scooters

[1] Le Conseil fédéral envisage de reprendre la nouvelle réglementation européenne en Suisse à partir de 2016/17 : outre un abaissement efficace des valeurs limites d'émission, les nouvelles dispositions de l'UE comprennent des exigences supplémentaires en matière de système de diagnostic embarqué, de durabilité ou d'émissions par évaporation. La nouvelle réglementation est prévue uniquement pour les motocycles immatriculés pour la première fois à partir de 2017. (cf. http://www.parlament.ch/f/suche/Pages/geschaefte.aspx?gesch_id=20134006, consulté le 2.12.2013)

électriques utilisés aujourd'hui s'est fortement améliorée ces dernières années. L'important est que ces progrès soient clairement communiqués afin de vaincre les blocages encore existants (méfiance, scepticisme) chez les distributeurs et les utilisateurs potentiels.

⇨ Nous recommandons aux constructeurs et importateurs de suivre l'évolution technique des scooters électriques et de diffuser activement les informations ainsi acquises dans le secteur des motocycles suisse. Les améliorations techniques et les nouveautés doivent être communiquées en fonction des groupes cibles et diffusées dans les médias spécialisés de la branche.

Recommandation 3 : exiger des améliorations

L'analyse de marché réalisée révèle que, d'une part, le volume actuel de vente de scooters électriques en Suisse est très modeste et que, d'autre part, les constructeurs mondiaux de motocycles ne sont pas encore actifs sur ce marché. Nous suggérons donc aux distributeurs de scooters électriques engagés et intéressés une stratégie bottom up :

⇨ Nous recommandons aux distributeurs de scooters électriques d'offrir leur savoir (p. ex. en matière de besoins des clients) aux constructeurs pour le développement des scooters électriques. Au cas où le contact direct entre distributeurs et constructeurs ne serait pas possible, une autre voie doit être choisie (importateurs, NewRide) afin de pouvoir exiger une amélioration des produits.

Recommandation 4 : identifier et contacter les distributeurs intéressés

L'observation du réseau actuel du scooter électrique montre que les acteurs n'ont pas encore établi de coopérations à long terme. De ce fait, l'échange et l'interaction entre les acteurs - facteurs nécessaires à la diffusion des innovations - n'ont guère eu lieu.

⇨ Pour la mise en place et l'extension d'un réseau de distributeurs de scooters électriques, nous recommandons de s'adresser de préférence au groupe cible des concessionnaires qui visent un avantage économique et stratégique dans un marché de niche. Notre analyse indique que pour cela les distributeurs spécialisés intéressés ou affins, qui ne sont pas liés sur le marché à des gros fournisseurs de motocycles, doivent être identifiés et contactés Ces distributeurs de niche peuvent être des vendeurs de vélos, de motos, d'automobiles ou de véhicules électriques. Le but est de les informer du développement des scooters électriques par le biais de plateformes indépendantes (telles que NewRide) et de leur transmettre des connaissances relatives aux scooters électriques.

Recommandation 5 : informer sur le recyclage et l'élimination des batteries

Il ressort de nos études qu'il existe encore un grand besoin d'informations concernant le maniement des batteries de scooters électriques.

⇨ Nous recommandons d'attirer l'attention des distributeurs sur les directives relatives au stockage, au transport et à l'élimination des batteries (mesure de sécurité). Dès que le volume des ventes de scooters électriques sera suffisant, cette tâche devrait être reprise par les importateurs/constructeurs, puisque la gestion de l'élimination des batteries fait partie de leurs obligations. En attendant, d'autres acteurs (p. ex. NewRide, EnergieSchweiz, Inobat) devraient cependant assurer ce travail d'information.

Recommandation 6 : informer de la manière correcte de charger

Une charge correcte prolonge nettement la durée de vie de la batterie et augmente la sécurité.

⇨ Nous recommandons d'apprendre aux vendeurs et aux utilisateurs les règles de comportement pour la charge des batteries de scooters électriques. Pour cela par exemple, une plateforme neutre telles que NewRide pourrait proposer des cours de perfectionnement pour les vendeurs spécialisés intéressés.

Recommandation 7 : continuer les incitations financières

Les mesures d'encouragement prises jusqu'ici (incitations financières, mesures d'information et de communication et essais) n'ont pas suffi à activer la mise sur le marché de scooters électriques dans la mesure espérée. Au regard du bilan énergétique et écologique positif des scooters électriques par rapport aux autres véhicules à moteur, la poursuite de l'encouragement de la part du monde politique et des pouvoirs publics est judicieuse. Nous plaidons pour une extension du paquet de mesures par l'introduction notamment de nouvelles mesures axées sur l'offre. Avec les villes, les fournisseurs d'électricité pourraient être davantage impliqués et la création d'un fonds séparé est à étudier.

⇨ Nous recommandons de continuer à soutenir la mise sur le marché de scooters électriques à l'aide d'incitations financières. Nous plaidons pour des subventions relativement élevées (10-20% du prix de vente), mais limitées dans le temps et plafonnées en nombre de véhicules subventionnés. Puisque les distributeurs occupent une place clé dans la chaine de distribution, il serait judicieux de leur verser une part des subventions selon un système adéquat.

Recommandation 8 : cibler les pendulaires automobiles et les gestionnaires de flottes

En particulier en agglomération et pendant les heures de pointe (trajets de pendulaires), il existe un fort potentiel de transfert de l'automobile vers le scooter électrique.

⇨ Nous recommandons aux pouvoirs publics aux différents niveaux de se concentrer sur les deux groupes cibles „pendulaires automobiles“ et „gestionnaires de flottes“ dans la promotion des scooters électriques. Les pendulaires automobiles en agglomération doivent être abordés de façon ciblée. À court et moyen terme nous voyons aussi un gros potentiel inutilisé dans le domaine de la circulation commerciale en agglomération. C'est pourquoi le bouquet de mesures d'encouragement devrait être ajusté plus étroitement aux besoins des gestionnaires de flottes.

Recommandation 9 : communiquer globalement les connaissances en matière de scooters électriques

Il ressort de nos études qu'une communication globale sur tous les aspects des scooters électriques est importante.

⇨ Nous conseillons au monde politique et aux pouvoirs publics de faire savoir en particulier que :

- pour l'achat de scooters électriques, des produits de qualité ayant une longue durée de vie doivent être choisis ;
- pour le fonctionnement, du courant ‚propre' doit être utilisé ;
- il faut faire la distinction entre prélèvement d'électricité à la prise, pertinent en termes de coût et d'environnement, et le besoin en énergie pour le trajet, pertinent pour l'autonomie ;
- l'utilisation de scooters électriques influence positivement le comportement de mobilité ; environ deux tiers des kilomètres remplacent des kilomètres en auto ou en moto et les scooters électriques ne causent pas d'augmentation notable de la circulation (et obtiennent des résultats nettement meilleurs à ce sujet que les vélos électriques) ;
- les écobilans calculés montrent sans équivoque que les scooters électriques polluent moins que les scooters classiques ;
- plusieurs villes et producteurs d'électricité proposent des incitations financières ;
- dans les nouvelles constructions, des pré-installations pour des stations de charge (passer des conduits) devraient être prévues.

Recommandation 10 : mettre en avant les avantages personnels des scooters électriques dans une campagne d'image

La présente étude montre que pour l'individu, le bénéfice personnel relatif (avantage supplémentaire) du scooter électrique par rapport au scooter à essence est mince. Bien plus, les acheteurs potentiels supposent, sur la base du prix d'achat élevé, des frais en général supérieurs pour les scooters élec-

triques - pas toujours avec raison comme le montrent nos analyses. Les scooters électriques ne sont guère non plus perçus comme des produits tendance. Ils ne sont pas perçus comme nouveaux véhicules, mais comme substituts (onéreux) au scooter classique et doivent s'imposer face à la force de mainstream de ceux-ci.

⇨ Nous recommandons à la Confédération de lancer une campagne d'image en faveur des scooters électriques à l'échelle de la Suisse afin d'en faire connaitre les nouvelles expériences de conduite positives, la fiabilité, la rentabilité et l'aptitude pour les trajets pendulaires. Les succès et les bonnes expériences des entreprises utilisant des scooters électriques (par exemple la Poste ou des PME) doivent aussi être montrés et communiqués.

Summary

Background and aims

The past two or three years have seen increasing government and public interest in energy issues generally and in electromobility (use of electric vehicles) as a source of hope for less environmentally harmful mobility. Scooters propelled by electric motors (e-scooters)[1] have considerable potential for reduction of energy demand, greenhouse gas emissions, air pollution and traffic noise (Buwal 2004). But even though e-scooters have been on the market in Switzerland since the 1990s and were promoted in a large-scale fleet test with lightweight electric vehicles (LEV) in Mendrisio and the partner communities (1995-2001), there has been as yet no breakthrough. This interdisciplinary research project aimed to contribute towards the technical development of e-scooters, support the market launch of these new vehicles through research evidence, and analyse their impacts on energy, environment and mobility behaviour. The work on the research questions was structured in the following six work packages:

- "Players and Market Development" examined global market developments and the needs and opportunities of the market players (dealers, manufacturers, importers).
- "Technology" conducted studies on suitable e-scooter battery types, electric vehicle charging infrastructure and traffic safety.
- "Promotional Measures" evaluated existing and other conceivable measures.
- "Energy and the Environment" developed lacking bases in the area of e-scooter life cycle inventory (LCI) and life cycle assessment (LCA), focusing on manufacture, use and disposal/recycling.
- "User Behaviour" studied e-scooter users' energy consumption, travel distances, charging habits and mobility behaviour.
- "Project Management and Communication" comprised the content and administrative management of the entire research project, coordination of the work packages and joint representation vis-à-vis third parties.

Procedure and methods

The methods used in the research project are described in the following for each work package.

Work package: Players and Market Development

The global and national market development of e-scooters was followed and documented using a number of different and coordinated approaches (including participation at trade fairs and exhibitions, visits to national and international conferences, diverse newsletters and personal contacts). For analysis of the previous diffusion process in Switzerland, a comparative niche analysis based on the technological innovation system (TIS) approach (see Walter 2012) was conducted and Rogers' (2003) diffusion theory applied. In addition, interviews were conducted with e-scooter and motorcycle dealers on their assessment of e-scooters.

[1] There is no uniform, standardised definition of e-scooter in the literature. For this reason, the research team used the following working definition at project start in 2009: *E-scooter is a collective term for motorcycles and motorbikes with electric motors*. Over the duration of the project (2009-2013), there were significant changes on the vehicles market: New three- or four-wheeled electric motor vehicles were approved in Switzerland and made available for purchase, and they were also assigned to the category "e-scooter".

Work package: Technology

The focus here was on reliability, electric vehicle charging infrastructure and traffic safety. The reliability of e-scooters was recorded and evaluated with an e-scooter user questionnaire (see below). For regions that wish to support the use of e-scooter, a guide to developing a charging station concept was prepared. For examining traffic safety, we conducted electro-technical studies of e-scooters in cooperation with Electrosuisse[1] and analysed aspects that are specific to e-scooters—low noise level, inexperienced new drivers—in cooperation with the Swiss Council for Accident Prevention (bfu).

Work package: Promotional Measures

This work package analysed the different promotional measures for targeted development, market introduction and market penetration of e-scooters. Previously implemented promotional measures (in the framework of the "NewRide" programme, for example) and planned measures were collected, evaluated and assessed through desk research and written up in various reports.

Work package: Energy and the Environment

Here, previously lacking bases were created for: (1) measurement of energy consumption of e-scooters, and (2) life cycle inventory (LCI) analysis and life cycle assessment (LCA) of e-scooters. Most of the inventory data were integrated into the world's largest LCA and LCI database, the *ecoinvent database v2.2*.

Work package: User Behaviour

To analyse user behaviour—that is, the effect of an e-scooter purchase on mobility behaviour and the specific energy consumption of the e-scooter in practical use—a written survey of 55 e-scooter users in the German-speaking and French-speaking parts of Switzerland was conducted.

Results

(1) Work package: Players and Market Development

Global and national market development

Our analyses show that first global scooter manufacturers (such as Peugeot, Yamaha, PGO, Piaggio) have put e-scooters on the market, and others (BMW, for example) have announced that they will do so in the future. In addition, diverse specialised manufacturers of e-scooters have been present on the market for years but have had little success, with the exception of the Swiss company Kyburz with its DXP model. The e-scooters produced in large quantities in China and other Asian countries do not yet meet the quality requirements of the European market. However, at international exhibitions the Asian manufacturers are presenting more and more products that are being developed specifically for the European market. It is thus only a matter of time before high-quality e-scooters from Asia are available for purchase in Europe.

Since 2008 the Swiss Post has been transforming their entire scooter fleet from fossil fuel-powered to electric vehicles, ordering 1,600 units each year. These vehicles are demonstrating the reliability and cost effectiveness of the e-scooters and the technology.

Analysis of the previous e-scooter diffusion process in Switzerland

In Switzerland the market growth of e-bikes is considerably ahead of e-scooters, even though they have been on the market for about the same length of time. Possible explanations for the differing diffusion of e-bikes and e-scooters were found: The TIS analysis reveals that beyond the initial "pro-

[1] Electrosuisse is the Swiss professional association for electrical, energy and information technology.

tective space" that shielded the two niche innovations from inhibitory selection pressures, the *interplay* between product characteristics, niche characteristics and the selection environment was critical for the two different diffusion pathways. For further growth of e-scooters, it is important to strengthen in a targeted way the two TIS functions "creation of legitimacy" and "strategic steering and orientation". Also Rogers' (2003) diffusion theory perspective interprets the different diffusion potential of e-bikes and e-scooters: The following characteristics of innovations are stronger for e-bikes than for e-scooters: "observability" (the extent that the effects of an innovation are visible to others), "trialability" (you can try out the vehicle before purchasing it) and "relative, personal advantage" (e-scooters have strong personal advantages over other products).

Dealers as the most important players

Dealers are the most important players in the process of demand growth of e-scooters. However, they meet the requirements of sales-boosting communication, such as advertising and sales promotion, only in part. Both the e-scooter dealers (N = 20) and motorcycle dealers (N = 102) surveyed find the most important disadvantages, or problem areas, of e-scooters to be their high purchase price, the battery and the limited vehicle range. Interest, know-how and willingness to attend continuing education courses on e-scooters are very low among all actors overall. There is currently no trust in the technology and in today's importers of e-scooters, and all of the dealers surveyed demand technological development of the product.

(2) Work package: Technology

Reliability of e-scooters

Evaluation of the e-scooter user questionnaire shows that the most frequently named sources of error are the electrical components and the vehicle battery. According to dealers, the manufacturing quality and the reliability of the components have definitely improved, and the number of warranty cases has decreased. The cause of battery defects is often not the battery cells themselves but rather their protection circuits (battery management system) and/or the charger.

Battery charging infrastructure

With some e-scooter models the batteries, depending on weight, can be detached from the scooter for charging. Thanks to advancements in battery technology and division of the battery capacity in several (detachable) packs, this will become possible for larger and larger motor vehicles. Built-in batteries in e-scooters are mainly charged at home. If that is not possible, the lack of a battery charging infrastructure can be a purchase obstacle. At present, the main function of public charging stations at parking places for two-wheeled vehicles is to draw attention to e-scooters. At this time we do not see a demonstrated need for public charging stations.

Traffic safety

"Motorcycles" is the motor vehicle category with the highest accident rates. In addition to the dangers entailed with all motorcycles, for e-scooters there are new possible dangers as well, such as cables lying around in public spaces (stumble danger) and external charging devices (dampness). It is still unclear whether accident rates for e-scooters differ overall from the rates for traditional motorcycles. Like all electric vehicles, e-scooters, too, cannot easily be heard at speeds below 30 km/h. In the spring of 2012 the Federal Council added a new regulation to the ordinance on Technical Requirements for Road Vehicles (VTS), according to which electric vehicles may be equipped with noise generators to ensure that they are heard; the noise level is limited and does not constitute a noise emission.

(3) Work package: Promotional Measures

Financial incentives

Full-coverage and coordinated (with regard to subsidies among the municipalities) promotion through purchase incentives does not exist. The size of the purchase incentives varies greatly from about 5% to 25% of the purchase price. According to our analyses there have been no big windfall gains. In addition to one-time purchase incentives provided by the municipalities, in most cantons e-scooters are also promoted through motor vehicle tax rebates. But compared to purchase incentives, motor vehicle tax rebates are of secondary importance, because they are modest in amount and are not visible once, at purchase, but rather yearly on the tax bill.

E-scooter exhibitions and SWISS-MOTO 2009-2013

At the national level, motor vehicle trade shows and exhibitions that allow test drives are a central activity of e-scooter promotion. In this research project, we evaluated both the *E-Scooter-Testtage* (e-scooter test drive days held by NewRide) and the special e-scooter shows at the SWISS-MOTO Motorcycle, Scooter and Tuning Show. Overall, the *Testtage* proved to be an excellent instrument for publicising the e-scooter. Evaluations of the e-scooter shows held since 2008 at the SWISS-MOTO reveal that the great effort entailed is justified, as shown by the very positive response by the public, with visitor attendance figures from 30,000 to 40,000 and about 1,000 test drives on average each year. Even though the various actor groups (exhibitors, dealers, visitors) expressed high satisfaction with the special e-scooter shows, it must be noted that (also) the SWISS-MOTO provided no decisive boost for market growth.

Further promotional measures

In Switzerland and in other countries, the promotional measures have focused exclusively on measures that may support the market uptake of e-scooters through a “pull” effect. These pull measures are financial incentives, information and communication measures and possibly the test drive opportunities. This mix of measures alone has not been shown to stimulate the market launch of e-scooters to the desired extent.

(4) Work package: Energy and the Environment

Energy requirements and range

We collected energy consumption data for e-scooters, since consumption and range are essential for determining realistic life cycle consumption of vehicles. The data show that the energy demand of the e-scooters tested on a roller dynamometer and in normal operation correspond well to the modelled values. The models used and the analyses based on them in MS Excel and MatLab are available. We also found that the grid energy demand is in part clearly higher than the operating energy requirements—that is, the charging process often involves losses (10%-30%). Some charging devices and battery management systems are apparently inefficient, especially when the battery is already almost fully charged.

Specific life cycle inventory (LCI)

Life cycle inventories of selected examples for all relevant components of the powertrain and chassis were produced and have been made available for free (in tabular form in MS Excel and in the LCA software SimaPro). A comparison of the LCI of functionally identical components but different types and sizes (for example, very different electric motors) shows a mostly insignificant dependency of weight-specific environmental impacts on fundamental design parameters. For instance, the global warming potential per kilogram of all electric motors examined over the entire life cycle is approximate-

ly the same, regardless of rated power, torque and design principles. In addition, we further developed noise emissions theoretically as a new indicator and as one that is relevant for electromobility.

Specific life cycle assessment (LCA)

Concerning environmental impacts, using an e-scooter is more favourable than practically any other means of transportation for which calculations are available; even public transport scores worse than e-scooters (due to long ways around and low occupancy, for example; see figure 1). One of the most important factors is the “cleanness” of the electricity used. If it is “clean”, environmental damage of vehicle manufacture is far higher than the environmental damage of vehicle operation. The in part considerable manufacturing costs of e-scooters result in long “pay back periods”, particularly if the e-scooter is used as a second vehicle.

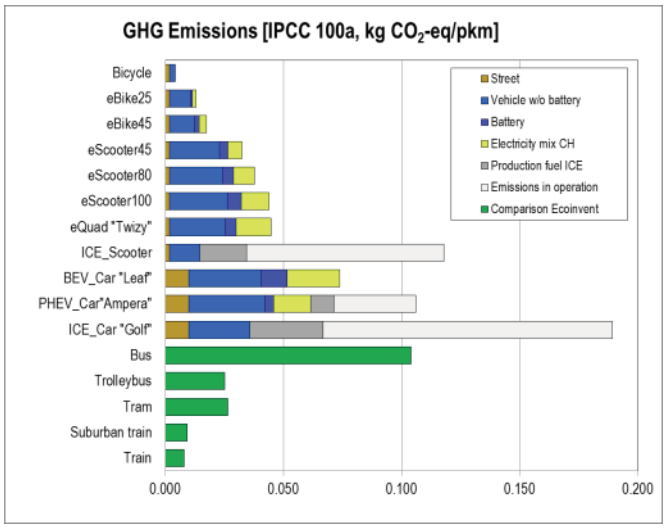


Figure 1: Greenhouse gas emissions per person-kilometre for different vehicle categories of private transport and public transport, presented differentiated by different causes of the emissions, the energy demand at household power outlet (yellow) is the Swiss electricity mix.

(5) Work package: User Behaviour

Mobility behaviour

We surveyed 55 e-scooter users (84% men, average age 48) on their mobility behaviour. The respondents had slightly above-average incomes and educational attainment. Ninety-three per cent of the e-scooter drivers are “satisfied” or even “very satisfied” with the e-scooter. An average e-scooter trip was 15 km and 25 minutes long, with wide variation; 54% of the trips were commutes to work, 23% were leisure-time trips, 13% were trips for helping others and 9% were for business purposes. The purchase of an e-scooter leads to an only very small increase (5%) in travel distances. Almost half of the e-scooter trips replaced trips by car (33%) or petrol scooter (15%); 36% of the e-scooter trips replaced trips by public transport and 9% replaced trips by bicycle. For 11% of the respondents, the e-scooter purchase replaced a car, and 58% of e-scooter purchases replaced a petrol scooter. In all, 73% of the respondents reported that they purchased the e-scooter as a replacement for or instead of another means of transport. The e-scooter increased a person’s fleet of road vehicles among only 27% of the respondents.

Energy consumption

E-scooter diaries revealed that the average grid energy demand (energy consumption from a power outlet) corresponded well with the modelled values (see table 1). From the trials on the roller dyna-

mometer and the investigations on charging devices, it can be concluded that the driving energy demand are clearly lower due to the increased charging losses.

E-scooter classes	Average grid energy demand	Driving energy demand
E-scooter ca. 45 km/h	4 kWh/100km	2-4 kWh/100km
E-scooter ca. 80 km/h	6 kWh/100km	4-6 kWh/100km
E-scooter ca. 100 km/h	8 kWh/100km	6-8 kWh/100km

Table 1: Energy consumption: average grid energy, and driving energy demand.

The energy draw data in the e-scooter diaries show no clear consumption increase in the winter. That is, in contrast to other electric vehicles that have air-conditioned/heated driver cabins, the total energy demand for the driving and charging losses remains approximately constant (lack of a heater). However, in cold weather the available battery capacity decreases, and range decreases.

Synthesis

(1) Numerous obstacles to rapid growth of e-scooters in Switzerland

Small, unknown importers with small budgets; insufficient quality of some products

The majority of today's e-scooter importers are small, little-known companies in the motorcycle line of business. They have no existing, well-functioning network of dealerships. In addition, they cannot provide their dealers with professionally designed promotional and communication materials or make attractive sales promotion offers (such as rebates). Experience in recent years has also shown that e-scooters manufactured in China and other Asian countries do not yet meet the quality standards of the European market.

There has been a positive change in this situation recently; several global motorcycle manufacturers are going to put e-scooters on the market in 2014. For Europe and Switzerland it is relevant that the popularity of e-scooters has been steadily increasing in Taiwan, for the Taiwanese scooter industry is working to high quality industrial standards and thus close to the European market. It is only a question of time before high-quality e-scooters from Asia will also be available in Europe.

Dealers' scepticism about the product

As seen from a diffusion theory perspective, dealers are the central players in the diffusion process in the current market situation. At this time in Switzerland, e-scooters are being offered by very few motorcycle and bicycle dealers who tend to be sceptical about the e-scooter. One reason for this is the dealers' lack of trust in the quality and competitiveness of e-scooters and in the reliability of the present e-scooter importers. Almost all dealers—partly also out of ignorance—call for technological development of the product. Another reason for dealers' scepticism is economic: The dealer margin is small, and our survey revealed in addition that selling an e-scooter entails considerable more expenditure due to the higher information needs (due to gaps in knowledge, for instance).

Lack of personal advantages

For individuals the e-scooter has little personal relative advantage (added value) over a petrol scooter. The foremost advantage for purchasers up to now has been societal (lower emission of pollutants and noise). Today's e-scooter users state that important advantages over petrol scooters are the e-scooter's environmental friendliness (for example, reduced CO_2 emissions) and noiselessness. E-scooters are not seen as new vehicles but as (expensive) replacements for traditional scooters and have to compete against their mainstream strengths.

Cost savings are not (yet) apparent to consumers

The investigations indicate that compared to petrol scooters, service and maintenance costs are lower for e-scooters. Many players (dealers, potential buyers) are unaware of this economic advantage.

High purchase price

An e-scooter can easily cost more than twice the price of a traditional scooter with comparable power and equipment. In some municipalities, the price differences are in part reduced through financial incentives (10%-25% of the purchase price). It is reasonable to assume that when large motorcycle manufacturers enter the market, unit prices will decrease and e-scooters will thus become less expensive.

Lack of clarity/uncertainties concerning battery disposal recycling

Under current law, retailers must offer their customers simple, secure and legal ways to dispose of batteries. However, the survey of dealers found that they are only insufficiently informed about responsibilities and procedures in the disposal and recycling of e-scooter batteries.

Swiss Post fleet changeover to e-scooters not yet sending a strong signal to other companies

The Swiss Post is replacing its entire petrol scooter fleet (ca. 7,000 vehicles) with e-scooters. Their experience up to now is that the e-scooters are very reliable and that there are no cost disadvantages. However, Swiss Post is not (yet) serving as a role model for other Swiss companies. Possible reasons for this are that vehicle costs may not be very important to companies, the rate of the replacement of the fleet vehicles is slow and the use of the e-scooters is post office-specific.

Weak political commitment and no strong lobby

There is little media coverage on the topic of e-scooters. No strong political commitment is discernible, and there are no advocacy groups that could generate pressure in this direction.

(2) E-scooters are desirable from an environmental perspective

E-scooters are energy efficient and environmentally friendly

The analysis of the mobility data shows that 61% of e-scooter kilometres would have been driven by car or by petrol scooter. The average distance driven by e-scooter per year is approximately 2,500 km, resulting in savings of 1,500 car or motorcycle kilometres. The survey respondents did not make extra trips with the e-scooter (that is, there was no appreciable additional traffic): Over 90% trips by e-scooter would have been made also without the e-scooter. Further, it was found that with regard to environmental impact, driving e-scooters is worth it compared to practically all other motor vehicles. Here it is important that “clean” electricity is used for e-scooter operation.

E-scooters as commuter vehicles for short and medium distances

The survey respondents made mainly short and medium-long trips in the city and urban agglomerations: The average distance per trip was 15 km. Evaluation of the e-scooter diaries also shows that the range of e-scooters was sufficient for the majority of uses.

If all Swiss car and motorcycle commuter trips were replaced by e-scooter trips, considerable negative environmental impacts could be avoided: The study shows that compared to petrol scooters, the greenhouse gas emissions of e-scooters (per person-km) are about three time less and compared to cars, as much as five times less. This would achieve not only a considerable reduction in greenhouse gas emissions but also positive impacts on the ecosystem and resources.

(3) Insufficient mix of promotional measures

At the global level, only very little money has been put into promotion of e-scooters up to now, and government offices and agencies lack awareness of e-scooters as a replacement for car traffic in congested urban areas. As a consequence, electromobility with e-scooters is neglected in the vast majority of government promotional programmes. The analysis of Swiss e-scooter promotional measures reveals that the accent is on financial incentives (in the form of subsidies) and communication and diffusion instruments (mainly in the form of exhibitions).

The evaluation of various exhibitions and trade fair presentations shows that the communication and diffusion instruments were competent and used efficiently but that the effective number of e-scooter purchases could not be increased. For example, the e-scooter presentations at the SWISS MOTO did not succeed in stimulating the market and accelerating market growth. Assessment of the other promotional measures led to the conclusion that the promotional strategy chosen in recent years in Switzerland, which is very similar to the successful e-bike promotion and focuses exclusively on pull measures, has not achieved its goals.

(4) Vehicle reliability, electric vehicle charging infrastructure and traffic safety

Vehicle reliability

According to the dealers surveyed, the reliability of the components used today has definitely improved and the number of warranty cases has declined.

Evaluation of the e-scooter diaries with regard to need for repairs shows that e-scooter repairs are most frequently needed for the electrical system, followed by the battery and lastly the mechanical components. For success on the market, the reliability of e-scooters must be further increased and dealers' and interested persons' trust in the products strengthened.

Electric vehicle charging infrastructure

The results show that charging stations for electric vehicles are being installed in Switzerland only hesitantly. At present, the main function of public charging stations at parking areas for two-wheeled vehicles is to call attention to e-scooters. We do not see a demonstrated need for them, because the distances driven by e-scooter are rarely longer than 30 to 40 km. Moreover, the two-wheeled vehicle parking areas are frequently so full that it would probably be difficult to reserve enough space for e-scooters next to the charging stations.

Developments in Taiwan are interesting; a uniform battery is being developed to make possible battery swapping stations instead of battery recharging stations.

Traffic safety

Motorcycles and e-scooters belong to the motor vehicle category with the highest accident rates. One of the most important risk factors is insufficient motorcycle-specific driving experience and technical driving skills (as a result of insufficient education and training). The evaluation of our user survey shows that one-half of today's e-scooter drivers are experienced drivers with many years of driving experience. The other half of the survey respondents has no scooter experience. It is interesting that none of the persons surveyed (N = 55) reported collision accidents.

(5) Life cycle assessment as important basis

One aim of this research project was to draw up an eco-balance or life cycle inventory for all relevant components of the powertrain and chassis of e-scooters. The data are now available to the public for free use. The evaluation shows, for instance, that the greenhouse gas potential per kilogramme over

the entire life cycle is approximately equal in all of the electric motors examined, regardless of rated power, torque and design principles.

In addition, we worked on further theoretical development of noise emissions as a new indicator and one that is relevant for electromobility. With regard to noise emissions, the use of e-scooters in urban areas has definite advantages over petrol scooters.

E-scooter users today do not see the noiselessness of e-scooters as a problem: Two-thirds of the survey respondents reported that the absence of engine noise never or only rarely leads to dangerous situations with pedestrians or other road users. And a survey of the subgroup "former motorcyclists now driving e-scooters" indicates that e-scooters' very noiselessness is a significant factor in the decision to change over to an e-scooter. According to the respondents, the e-scooters' "floating", "flying" or "gliding" sensation is a positive driving experience.

(6) Increased energy requirements due to poor quality of the charging devices

In contrast to petrol-powered vehicles, where practically the entire filled tank contents are available for the motor, electric battery-powered vehicles definitely have charging losses. The energy requirements of e-scooters are therefore the sum of driving energy demand and charge loss. Due to the losses in the charging process, the grid energy demand (important in terms of energy costs) are higher than the battery energy demand (important for range).

(7) The role of e-scooters in a sustainable mobility concept

It is apparent that e-scooters can play an important role as an element of sustainable mobility and should receive more attention in future mobility concepts. With their low energy consumption and low environmental impacts, and because they produce much lower noise emissions, and because they require little space in congested inner cities and belong to the fastest means of transportation, they have important advantages over other motor vehicles.

In addition, the possible uses of e-scooters are increasing through an extension/widening of the motor vehicle categories in Switzerland. About three years ago significant changes were made on the motor vehicle market that made new vehicle categories possible: New electric three- or four-wheeled electric vehicles were approved in Switzerland and made available for purchase, and they were also assigned to the category "e-scooter".

Top 10 Recommendations

In the following, we present the most important ('top 10') recommendations based on the results of our interdisciplinary "E-scooters" research project.

Recommendation 1: Build a political network

Our investigations show that the diffusion of e-scooters is desirable from an ecological perspective and that e-scooters can play an important role in sustainable mobility concepts. However, there is at present no discernible clear political commitment to e-scooters (such as in the framework of a future-oriented transport strategy for agglomerations), and there are no strong special advocacy groups that could build up political pressure.

⇨ We therefore recommend interested parties to build up a political network, so as to join forces and pool resources. This network could play a part in political debates and in this way increase the pressure to give e-scooters an appropriate role in future-oriented transport concepts and to ensure

that also “push” measures (for example, tougher emission limits for traditional motorcycles[1]) are added to the mix of promotional measures.

Recommendation 2: Create trust

For acceptance and diffusion of e-scooters in Switzerland, significant advances are needed in technology and in the purchase cost. Technical development should be given priority. However, our studies also show that the reliability of today’s e-scooter components has improved significantly in recent years. The main thing is for these advancements to be clearly communicated, in order to reduce still existing inhibitions (mistrust, scepticism) on the part of dealers and potential users.

⇨ We recommend that manufacturers and importers continue to follow the global technical development of e-scooters and actively publicise the information in the Swiss motorcycle sector. The technical improvements and innovations should be communicated effectively to target groups and to the specialised media in the motorcycle sector.

Recommendation 3: Call for improvements

The market analyses conducted reveal, for one, that the current sales volume of e-scooters is very modest. For another, global motorcycle manufacturers are not yet active on the e-scooter market. To committed and interested e-scooter dealers, we therefore suggest a bottom-up strategy:

⇨ We recommend that e-scooter dealers offer their knowledge (for example, of customer needs) to manufacturers for further development of e-scooters. If direct contact between dealers and manufacturers is not possible, a route via other players (importers, NewRide) must be chosen, so that product improvements can be demanded.

Recommendation 4: Identify interested dealers and address them specifically

Examination of today’s e-scooter network reveals that the players have not yet set up any long-term cooperation. For this reason, up to now there has been hardly any of the exchange and interaction among the players that is necessary for diffusion of innovations.

⇨ For building up and developing the e-scooter dealer network, we recommend targeted addressing of dealers who are aiming for economic and strategic advantages in the niche market. Our research indicates that specialist and similar dealers who have that interest and who do not have brand allegiances with any large motorcycle suppliers should be identified and addressed. These niche market dealers can be bicycle, motorcycle, car or electric vehicle dealers. The goal is to provide the dealers with information on e-scooters and e-scooter development via neutral platforms (such as NewRide).

Recommendation 5: Provide information on battery recycling and disposal

Our research shows that there is still a great need for information on the correct handling of e-scooter batteries.

⇨ We recommend calling dealers’ attention to the regulations on storage, transport and disposal of batteries (safety precaution). As soon as there is a sufficient sales volume of e-scooters, this information provision will probably be taken over by the importers and manufacturers, since management of battery disposal is their duty. As an interim solution, however, other actors (such as NewRide, EnergieSchweiz, “Battery Disposal Interest Grouping” Inobat) should provide this information.

[1] The Federal Council intends to adopt the new EU regulations in Switzerland from 2016/2017: Along with an effective reduction in emission limit values, the new EU regulations also contain new, additional requirements pertaining to on-board diagnostic systems, durability of pollution control devices, and evaporative emissions. The new standards are planned to take effect in 2016 for the type-approval of new motorbikes for 2017.
(see http://www.parlament.ch/d/suche/seiten/geschaefte.aspx?gesch_id=20134006; retrieved 2 December 2013)

Recommendation 6: Provide information on correct charging process

Proper charging results in prolonged battery life and greater safety.

⇨ We recommend informing dealers and users about proper charging procedures for e-scooter batteries. Courses for interested specialist and similar dealers could be offered via a neutral platform such as NewRide.

Recommendation 7: Continue to offer financial incentives

Prior and existing promotional measures (financial incentives, information and communication measures, test drives) have not been sufficient to stimulate the market introduction of e-scooters to the desired extent. Considering the positive energy and environmental balance sheet of e-scooters as compared to all other motor vehicles, continued promotion on the part of policy makers and public administration makes sense. We advocate expanding the promotional mix through including additional measures, especially also push measures. Cities and also electricity suppliers could be included more. The creation of a separate fund should be considered.

⇨ We recommend continued support of the market introduction of e-scooters through financial incentives. We call for comparatively rather high subsidies (10%-20% of the purchase price), which, however, are temporary and also capped with regard to the number of subsidised vehicles. Since dealers play a key role in the distribution chain, it would also make sense to pay a part of the subsidy to dealers, according to an appropriate system.

Recommendation 8: Send targeted messages to commuters and operators of vehicle fleets

Especially in agglomerations and during times of the day with high traffic congestion (rush hour), there is a high potential for shifting from car to e-scooter transport.

⇨ We recommend the public authorities at the different government levels to focus on two target groups, car commuters and fleet operators. Car commuters in agglomerations should be addressed specifically. In addition, in the short and medium term we see a great unused potential in the area of business/commercial traffic in agglomerations. The promotional mix should therefore be tailored more to the needs of vehicle fleet operators.

Recommendation 9: Communicate comprehensive information on e-scooters

Our research shows that comprehensive communication on all aspects of e-scooters is important.

⇨ We recommend that policy makers and public administration in particular also communicate that:

- when purchasing an e-scooter, high-quality, durable products should be chosen;
- clean electricity should be used for operation of e-scooters;
- there is a difference between the energy drawn from the power outlet (important with regard to cost and environment) and the energy needs for travel (important for range);
- the use of e-scooters has a positive impact on mobility behaviour: Approximately two-thirds of kilometres travelled by e-scooters replace car and motorcycle kilometres, and e-scooters cause no appreciable additional traffic (outperforming e-bikes in this regard);
- the life cycle assessments show clearly that e-scooters are less polluting than traditional scooters;
- a number of cities and electricity companies offer financial incentives;
- for new buildings, pre-wiring for charging stations should be provided.

Recommendation 10: In an image campaign, emphasise the personal advantages of e-scooters

This study shows that for the individual, the personal relative advantage (added value) of e-scooters as compared to petrol scooters is small. Based on the high purchase price, potential buyers assume that e-scooter costs generally are high—and as our analyses show, this is not always justified. In addi-

tion, up to now e-scooters have not been seen as trendy lifestyle products. E-scooters are not seen as new scooters but rather as (expensive) replacements for traditional scooters, and they have to compete against their mainstream strengths.

⇨ We recommend that the federal government launch a nationwide e-scooter image campaign in Switzerland to publicise the e-scooter's new type of positive driving experience, reliability and economy, and suitability for commuter trips. The communication campaign should also highlight the success and good experience that companies have had with e-scooters (such as the Swiss Post or small and medium-sized enterprises).

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage

Seit zwei bis drei Jahren ist in Politik und Öffentlichkeit ein verstärktes Interesse zum einen an Energiefragen allgemein und zum andern an Elektromobilität als Hoffnungsträger für eine weniger umweltbelastende Mobilität feststellbar – Stichworte sind Fukushima, Energiewende, Energiestrategie 2050 des Bundes. Letztere nennt als grosse Herausforderungen der Energiewende insbesondere den Verzicht auf nuklear erzeugten Strom und die Reduktion klimarelevanter Emissionen. Dazu sind Technologien mit stark verbesserter Effizienz zu fördern, sowohl auf der Angebots- wie auf der Nachfrageseite.

Scooters mit elektrischem Antrieb (E-Scooters) weisen ein erhebliches Potential zur Verringerung des Energieverbrauchs, der Treibhausgase, der Luftverschmutzung und des Strassenlärms auf (Buwal, 2004). Aus ökologischer Sicht stellen E-Scooters daher eine Verbesserung gegenüber Benzin-Rollern dar. Obwohl E-Scooters in der Schweiz seit den 1990er-Jahren auf dem Markt sind und im Rahmen des Grossversuchs mit Leicht-Elektromobilen in Mendrisio und Partnergemeinden (1995-2001) gefördert worden sind, ist ein Durchbruch bisher ausgeblieben. E-Scooters werden noch immer wenig wahrgenommen und nur zögerlich gekauft.

Gemäss den subjektiven Einschätzungen verschiedener Akteure (z.B. Gemeindevertreter[1], Programm NewRide, E-Scooter-Händler) können mehrere Gründe für dieses Desinteresse vermutet werden: E-Scooters machen im Gegensatz zu den benzinbetriebenen Rollern keinen Lärm (und sind deshalb für gewisse Zielgruppen, etwa Jugendliche, möglicherweise nicht attraktiv), sie haben eine beschränkte Reichweite (ca. 50 km) und sind im Vergleich zu den Benzin-Rollern in der Anschaffung teurer. Auch dürfte das Vertriebsnetz für E-Scooters mangelhaft sein.

Das angewandte interdisziplinäre Forschungsprojekt ‚E-Scooter' soll neue Erkenntnisse über und für die Verbreitung von E-Scooters erzeugen, zusammenführen und für Wissenschaft, Politik/Verwaltung und Wirtschaft sowie eine breitere Öffentlichkeit zugänglich machen. Dabei sollen sowohl technische und infrastrukturelle als auch wirtschaftliche und gesellschaftliche Aspekte betrachtet werden. Entsprechend breit interdisziplinär ist das Forschungsteam aufgestellt, Verkehrsingenieure und Technikwissenschaftler gehören ebenso dazu wie Sozial- und Umweltwissenschaftlerinnen.

1.2 Zielsetzungen und Fragestellungen

Das interdisziplinäre Forschungsprojekt ‚E-Scooter' hat zum Ziel, einen Beitrag zur technischen Weiterentwicklung von Scooters mit elektrischem Antrieb zu leisten, die Markteinführung dieser neuen Fahrzeuge wissenschaftsseitig zu unterstützen und ihre Auswirkungen auf Energie, Umwelt und Mobilitätsverhalten zu analysieren.

Das Forschungsprojekt gliedert sich in sechs Arbeitspakete (AP; siehe Abbildung 2). Im Folgenden werden die Ziele und die Hauptfragen der sechs AP vorgestellt. Die detaillierten und zahlreichen Unterfragen werden in den jeweiligen Ergebnis-Kapiteln (Kapitel 3 bis 7) aufgeführt.

[1] Sowohl mit der männlichen als auch der weiblichen Form sind in diesem Bericht jeweils beide Geschlechter gemeint (wenn nichts anderes aus dem Sinnzusammenhang hervorgeht).

Abbildung 1: Die sechs Arbeitspakete des Forschungsprojekts.

Im *AP ‚Akteure und Marktentwicklung'* werden die globalen Marktentwicklungen sowie die Bedürfnisse und Möglichkeiten der einzelnen Marktakteure untersucht. Folgende Fragen stehen im Zentrum:

- Wer sind die Hersteller, Importeure und Händler von E-Scooters und welches sind ihre Bedürfnisse?
- Wie entwickelt sich der E-Scooter-Markt?
- Welche Faktoren beeinflussen die Marktentwicklung?

Im *AP ‚Technologie'* werden Untersuchungen zu den verschiedenen technischen Komponenten von E-Scooters (Batterie, Antrieb, Ladegeräte etc.), Ladeinfrastrukturen (Suche nach kurz- und langfristigen Lösungen) und Verkehrssicherheit (Verbesserungsmöglichkeiten, Förderung sicherer Fahrweise) durchgeführt. Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Wie zuverlässig sind E-Scooters?
- Wie lässt sich die Batterielebensdauer optimieren?
- Wie lässt sich in der Schweiz eine kostengünstige und verbraucherfreundliche Ladestation-Infrastruktur realisieren?
- Welche Sicherheitsaspekte gilt es im Zusammenhang mit E-Scooters besonders zu beachten?

Das *AP ‚Fördermassnahmen'* evaluiert bereits bestehende (z.B. im Rahmen des Programms NewRide) sowie geplante Massnahmen. Konkret geht es um folgende Fragen:

- Welches sind die Vor- und Nachteile verschiedener Fördermassnahmen (z.B. finanzielle Anreize oder Ausstellungen)? Welche eignen sich für E-Scooters besonders?
- Haben sich bereits bestehende Massnahmen bewährt? Machen geplante Massnahmen Sinn?
- Welcher Massnahmenmix ist optimal?

Im *AP ‚Energie und Umwelt'* sollen fehlende Grundlagen im Bereich der E-Scooter-Lebenszyklusinventare (LCI) und der Lebenszyklusanalysen (LCA) aufgearbeitet werden. Dabei stehen die Herstellung (z.B. Fragen zum Gesamtaufwand an Material und Energie), der Betrieb sowie Entsorgung/Recycling von E-Scooters im Fokus der Untersuchung. Folgende Fragen sollen beantwortet werden:

- Wie wirkt sich der Einsatz von E-Scooters auf Energieverbrauch und Umwelt aus?
- Welcher Energie- und Materialumsatz fällt im gesamten Lebenszyklus von der Herstellung über den Betrieb bis zur Entsorgung eines E-Scooters an?

Das *AP ‚Nutzungsverhalten'* untersucht den Energieverbrauch, die Fahrleistungen, die Ladegewohnheiten sowie das Mobilitätsverhalten der E-Scooter-Fahrenden. Dabei sollen folgende Fragen beantwortet werden:

- Wie werden E-Scooters im Alltag eingesetzt? Welche Erfahrungen machen Nutzer mit E-Scooters?
- Wie wirkt sich der E-Scooter-Kauf auf das individuelle Mobilitätsverhalten aus? Welche Verkehrsmittel werden ersetzt? Entsteht Mehrverkehr?

Das *AP ‚Projektleitung und Kommunikation'* schliesslich umfasst die inhaltliche und administrative Leitung des Gesamtprojektes, die Koordination aller APs sowie den gemeinsamen Auftritt gegenüber Dritten.

1.3 Arbeitsdefinition ‚E-Scooter'

Neue Fahrzeugarten erfordern neue Begriffe und Zulassungsbestimmungen. Unter dem Begriff ‚E-Scooter' verstehen wir in dieser Forschungsarbeit alle Fahrzeugkonzepte mit elektrischem Antrieb, die sich – im Gegensatz zu E-Bikes – nicht oder nur im Notfall mit Muskelkraft antreiben lassen, die aber nicht zu den Leichten Motorwagen (Personen- und Lieferwagen) zählen. Die Abgrenzung gegenüber dem Elektroauto befindet sich im Fluss, denn innovative Konzepte lassen sich nicht zwingend einer bestehenden Norm zuordnen.

Ein E-Scooter kann also vom langsamen Mofa ohne Zulassungsbeschränkung bis zum leichten 4-Rad-Fahrzeug vieles umfassen. Gemeinsam ist allen E-Scooters, dass sie ausschliesslich elektrisch angetrieben werden, relativ leicht sind und die Energie deshalb effizient nutzen. Die Fahrzeugkonzepte, die von dieser Definition erfasst werden, sind vielfältig – und die künftige Entwicklung ist offen. Tabelle 1 zeigt einen Ausschnitt aus einer aktuellen Klassifizierung der Fahrzeuge.

Fahrzeugklasse CH	Führerscheinkategorie CH	Fahrzeug-klasse EU	Alter	Maximale Geschwindig-keit v_max	Maximale Leistung P_max	Gesamt-gewicht m_tot	Kategorien-einteilungs-gewicht (o. Akku)	Nutzlast Personen oder Güter (o. Akku)
			[J]	[km/h]	[kW]	[kg]	[kg]	[kg]
Leicht-Motorfahrräder	M (14 - 16J), frei ab 16J		14-16	20(25)	0.5	200		
Motorfahrräder	M		>14	30(45)	1.0			
Motorfahrräder	M		>14	30	1.0	200		
Kleinmotorräder (2-rädrig)	A1	L1e	>16	45	4.0	unbeschränkt	unbeschränkt	
Kleinmotorräder (3-rädrig)	A1	L2e	>16	45	4.0		270	300
Motorräder	A1 (Hubraum ≤ 50cm³)	L3e	>16	unbeschränkt	4.0	unbeschränkt	unbeschränkt	
	A1 (Hubraum ≤125cm³)		>18		11.0			
	A beschränkt (≤25kW; ≤0.16kW/kg)		>18		25.0			
	A		>20-25		unbeschränkt			
Motorräder mit Seitenwagen	A	L4e	>20-25					
Motorfahrzeuge (3-rädrig)	A, B1 (m_{leer} ≤550kg)	L5e	>20-25				1000	300 Personen 1500 Güter
Leichtmotorfahrzeuge (4-rädrig)	A1 beschränkt, F	L6e	>16	45	4		350	200
Kleinmotorfahrzeuge (4-rädrig)	A, B1 (mleer ≤550kg)	L7e	>18	unbeschränkt	15		400 Personen 550 Güter	200 Personen 1000 Güter
Leichte Motorwagen	B	M1/N1	>18		unbeschränkt	3500		

Tabelle 1: Ausschnitt aus den strassenzugelassenen Fahrzeugklassen in der Schweiz und ihre Entsprechung in der EU, sowie die zugehörigen Führerausweiskategorien und verschiedene spezifische Erfordernisse.

In der vorliegenden Untersuchung fokussieren wir auf Fahrzeuge, die mit den Führerausweiskategorien M, A1, ‚A beschränkt' und/oder A gefahren werden dürfen (vgl. Tabelle 2: roter Rahmen). Das

heisst, es wurden alle Fahrzeuge der EU-Klassen L1e (Kleinmotorräder) bis und mit L7e (Motordreiräder) sowie Motorfahrräder einbezogen.

Wird im vorliegenden Text von einem Benzin-Roller, Benzin-Motorrad oder Benzin-Auto gesprochen, dann ist ein Fahrzeug mit einem Verbrennungsmotor gemeint; wird von einem E-Roller, E-Moto oder E-Auto gesprochen, ist ein Fahrzeug mit Elektroantrieb gemeint. Im Anhang zu Kap. 1.3 finden sich ausführliche Tabellen zu den existierenden Fahrzeugklassen und Führerscheinen[1].

Fahrzeugklasse CH	Führerscheinkategorie CH	Fahrzeug-klasse EU	Bezeichnung Fahrzeug im Text	Bezeichnung Fahrzeug Ökoinventar & LCA
Leicht-Motorfahrräder	M (14 - 16J), frei ab 16J		E-Bike 25	eBike25
Motorfahrräder	M		E-Bike 45	eBike45
Motorfahrräder	M		E-Mofa	
Kleinmotorräder (2-rädrig)	A1	L1e	E-Roller / E-Moto Benzin-Roller / Benzin-Motorrad	eScooter45
Kleinmotorräder (3-rädrig)	A1	L2e	E-Dreirad	
Motorräder	A1 (Hubraum $\leq$50cm^3)	L3e	E-Roller / E-Moto Benzin-Roller, Benzin-Motorrad	eScooter80 Benzin-Scooter
	A1 (Hubraum $\leq$125cm^3)			eScooter100
	A beschränkt ($\leq$25kW; $\leq$0.16kW/kg)			
	A			
Motorräder mit Seitenwagen	A	L4e		
Motorfahrzeuge (3-rädrig)	A, B1 (m_{leer} $\leq$550kg)	L5e	E-Dreirad	
Leichtmotorfahrzeuge (4-rädrig)	A1 beschränkt, F	L6e	E-Quad	
Kleinmotorfahrzeuge (4-rädrig)	A, B1 (mleer $\leq$550kg)	L7e		eQuad
Leichte Motorwagen	B	M1/N1	E-Auto, Benzin-Auto	Elektro-, Hybrid-, Benzin-Auto

Tabelle 2: Ausschnitt aus Tabelle 1 zur Darstellung des Definitionsumfangs von E-Scooters (roter Rahmen) sowie der im Fliesstext verwendeten Begriffe und der Bezeichnungen der entsprechenden Ökobilanzdatensätze.

Entsprechend Tabelle 2 werden in diesem Bericht folgende Begriffe für die untersuchten Fahrzeuge benutzt:

E-Scooter	Überbegriff für alle Fahrzeuge mit Elektroantrieb, die von den am Projekt beteiligten Gemeinden eine Kaufunterstützung erhielten (roter Rahmen).
E-Bike	Überbegriff für alle elektrisch angetriebenen Fahrzeuge mit Trethilfe.
E-Bike 25	Elektrisch angetriebene Leichtmotorfahrräder mit Trethilfe bis zu einer Höchstgeschwindigkeit von 25km/h (20km/h ohne Tretunterstützung).
E-Bike 45	Elektrisch angetriebene Motorfahrräder mit Trethilfe bis zu einer Höchstgeschwindigkeit von 45km/h (30km/h ohne Tretunterstützung).
E-Mofa	Elektrisch angetriebene Motorfahrräder mit Notfall-Trethilfe bis zu einer Höchstgeschwindigkeit von 30km/h.
E-Roller	Elektromotorroller, elektrisch angetriebene Kleinmotorräder und Motorräder mit Durchstieg.
E-Moto	Elektromotorräder, elektrisch angetriebene Kleinmotorräder und Motorräder.
E-Dreirad	Elektrisch angetriebene Kleinmotorräder mit drei Rädern.

[1] Der Anhang zu diesem Bericht ist in elektronischer Form unter folgender Adresse verfügbar: http://www.ikaoe.unibe.ch/forschung/e-scooter/

E-Quad	Überbegriff für alle 4-rädrigen, elektrisch angetriebenen Leicht- bzw. Kleinmotorfahrzeuge
E-Auto	Überbegriff für alle leichten Motorwagen mit Elektroantrieb, der auch als 'plug-in hybrid' ausgeführt sein kann
Benzin-Roller	Roller mit einem Verbrennungsmotor
Benzin-Motorrad	Motorrad mit einem Verbrennungsmotor
Benzin-Auto	Auto mit einem Verbrennungsmotor

1.4 Aufbau des Berichts

Der Bericht gliedert sich in die folgenden Teile: Im Kapitel 2 werden Vorgehen und Methoden detailliert dargelegt, in den Kapiteln 3 bis 7 stellen wir die Resultate der einzelnen Arbeitspakete vor. Anschliessend werden im Kapitel 8 die Ergebnisse diskutiert, und das Kapitel 9 formuliert Empfehlungen.

Der Anhang ist elektronisch verfügbar und enthält ergänzende Daten und Unterlagen (verfügbar unter www.ikaoe.unibe.ch/forschung/e-scooter/).

2. Vorgehen und Methode

Um die Forschungsfragen in den Arbeitspaketen beantworten zu können, wurden verschiedene Methoden und unterschiedliche Vorgehensweisen angewendet. Diese werden im folgenden Kapitel nach Arbeitspaketen gegliedert vorgestellt.

2.1 Arbeitspaket ‚Akteure und Marktentwicklung'

Für die Beobachtung der weltweiten und der nationalen Marktentwicklung und für die Analyse der Akteure wurden drei verschiedene Vorgehen und Methoden eingesetzt.

2.1.1 Beobachtung der Marktentwicklung

Die globale Marktentwicklung wurde mit verschiedenen aufeinander abgestimmten Ansätzen verfolgt:

- Hinweise der Schweizer Importeure auf die Entwicklungen ‚ihrer' Hersteller.
- Diverse elektronische Newsletter wie newsletter@electrive.net, motornews@gmail.com, leva@multibriefs.com oder news-service@autosprint.ch berichten zwar hauptsächlich über Entwicklungen bezüglich Elektroautos. Zwischendurch erscheinen aber auch Berichte zu Elektro-Zweirädern.
- Internationale Organisationen wie die Internationale Energie Agentur IEA, die Light Electric Vehicle Association (USA) oder ExtraEnergy berichten regelmässig über das Thema E-Scooters.
- An internationalen Motorradausstellungen wie der EICMA in Mailand oder der Intermot in Köln steigt der Stellenwert des Elektroantriebs kontinuierlich.
- Internationale Kongresse wie das Electric Vehicle Symposium (EVS) oder der European Electric Vehicle Congress (EEVC) widmen dem Thema ‚Light Electric Vehicles' gebührend Raum.
- Durch die jahrelange Verfolgung der internationalen Entwicklungstendenzen entstanden schliesslich wertvolle persönliche Kontakte, aus denen sich zuverlässige zusätzliche Hintergrundinformationen ergeben.

2.1.2 Analyse der nationalen Rahmenbedingungen

Um die nationalen Rahmenbedingungen für die E-Scooter-Förderung zu analysieren, wurde eine vergleichende Nischen-Analyse basierend auf dem Technologischen Innovationssystem Ansatz (TIS, vgl. Walter 2012) durchgeführt. Neben den Strukturen (z.B. Stärken und Schwächen der institutionellen Voraussetzungen) wurden dabei insbesondere auch kausale Wirkungsbeziehungen wichtiger Determinanten (sog. key activities/functions) des technologischen Wandels untersucht. Diesen dynamischen Prozessen wird in der aktuellen Forschungsliteratur eine grosse Bedeutung zugemessen. Untersucht wurden die Entwicklungen von E-Bikes und E-Scooters in der Schweiz von ihren Anfängen bis heute.

2.1.3 Händler-Befragungen

Die Händler resp. Fahrzeug-Verkäufer sind im Diffusionsprozess von E-Scooters zentrale Marktakteure. Um ihre Einschätzung zu E-Scooters kennen zu lernen, wurden Interviews mit E-Scooter- und Motorrad-Händlern durchgeführt.

Befragung der E-Scooter-Händler

Aufgrund verschiedener Expertengespräche wurden drei Auswahlkriterien für die Befragung von E-Scooter-Händlern in der Deutschschweiz festgelegt: 1) Die Händler müssen ein Verkaufsgeschäft besitzen, in dem E-Scooters angeboten und verkauft werden. 2) Die Händler müssen sowohl E-Scooters als auch Benzin-Roller im Sortiment führen. 3) Die Händler sollen ihr Geschäft in einer Schweizer Stadt oder zumindest in der näheren Umgebung einer Stadt haben. Anhand dieser Kriterien wurden anschliessend aus der NewRide-Händler-Liste[1] aus dem Jahr 2010 20 Händler ausgewählt. Diese Händler wurden mündlich mittels standardisierter Interviews zu den Kommunikations-Instrumenten Werbung, Verkaufsförderung und persönlicher Verkauf sowie zu ihren Einstellungen und ihrer Motivation im E-Scooter-Verkauf befragt (vgl. Anhang zu Kap. 3.4). Das Sample bestand aus 19 Männern und einer Frau aus fünf Deutschschweizer Grossräumen: drei Händler aus dem Grossraum Basel, fünf aus Bern, je vier aus Luzern, St. Gallen und Zürich. Die 20 befragten Händler verkaufen mehrheitlich E-Scooters der Marke PGO (13), die übrigen Händler bieten Modelle wie E-Max, Vectrix und Vespino an. Die Daten aus den Interviews wurden quantitativ ausgewertet und den vier Kategorien ‚schlechte', ‚mittelmässige', ‚gute' und ‚optimale Anwendung' der Kommunikations-Instrumente (Werbung, Verkaufsförderung und persönlicher Verkauf) zugeordnet.

Befragung der Motorrad-Händler

2011 wurden Händler, die benzinbetriebene Motorräder und/oder Roller verkaufen, in Telefon-Interviews zu ihrer Einschätzung von E-Scooters befragt. Es wurden ausschliesslich Händler befragt, die *keine* E-Scooters im Sortiment führen.

Das Ziel war, 100 Händler zu ihrer Einschätzung und Beurteilung von E-Scooters zu befragen. Vom Verband 2-Rad Schweiz[2] wurden 470 Adressen von Deutschschweizer Motorrad-Händlern zur Verfügung gestellt. Aus der vorliegenden Liste wurde jeder zweite Händler angerufen und für die Interview-Teilnahme angefragt. Von den ausgewählten Händlern wollten 133 Personen bei der Befragung nicht mitmachen: Als häufigster Grund für die Absage wurde Zeitmangel aufgeführt. Oftmals musste ein zweites oder drittes Mal angerufen werden, da das Interview mit dem Firmenbesitzer/Chef und nicht mit einem Mitarbeiter oder einer Mitarbeiterin durchgeführt werden sollte. Der Firmenbesitzer/Chef fällt die Entscheidungen zum Verkaufsangebot in seiner Firma. Für die Auswertung liegen insgesamt 102 vollständige Interviews vor. Das Interview dauerte im Durchschnitt 20 bis 25 Minuten.

Die telefonischen Interviews wurden im Juli 2011 durchgeführt. Für die Befragung wurde ein halbstandardisierter Fragebogen (vgl. Anhang zu Kap. 3.4) gewählt, um den Händlern Gelegenheit zu geben, in einem relativ offenen Gespräch über ihre Einschätzung von E-Scooters sprechen zu können. Alle standardisierten Teile wurden quantitativ ausgewertet und mit Hilfe von SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) dargestellt; die anderen Teile des Interviews wurden nach der qualitativen Inhaltsanalyse nach Mayring (2007) ausgewertet.

2.2 Arbeitspaket ‚Technologie'

Hier werden die Aspekte Zuverlässigkeit, Ladeinfrastruktur und Verkehrssicherheit untersucht.

2.2.1 Zuverlässigkeit

Die Zuverlässigkeit der E-Scooters wurde anhand der protokollierten Angaben der E-Scooter-Nutzer erfasst. Diese Probanden führten u.a. ein Tagebuch, in dem sie während der Erhebungsdauer alle Ereignisse (Ausfälle, Defekte, etc.) in einer Excel-Tabelle notierten. Die Daten wurden qualitativ aus-

[1] NewRide-Händler sind Händler, die u.a. E-Scooters in ihrem Sortiment führen.

[2] Siehe: http://www.2radschweiz.ch/2rad/index.php?id=290 (abgerufen am 12.12.2013).

gewertet, um die häufigsten aufgetretenen Störungen resp. Defekte zu eruieren. Dabei waren Details gefragt, die spezifisch mit dem neuen Antriebsstrang (Ladegerät, Batterie, Elektronik, Motor) zusammenhängen. Wenn Kosten anfielen bzw. sich Ausfallzeiten aus Reparaturen ergaben, konnten diese ebenfalls eintragen werden.

Ein spezieller Fokus wurde auf die aufgetretenen Batteriedefekte gelegt, zumal Brände von E-Scooters in jüngster Zeit häufiger in den Tagesmedien zu finden waren. Die elektrotechnische Sicherheit wurde zudem von Elektrosuisse, dem Schweizerischen Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik untersucht. Ein Experte von Elektrosuisse prüfte an der Swiss-Moto 2011 sieben ausgestellte E-Scooters.

2.2.2 Ladeinfrastruktur

Zu Projektbeginn wurde ein Leitfaden für Regionen, die den Einsatz von E-Scooters unterstützen, erstellt. Dieser Leitfaden sollte die Erarbeitung eines Ladestationen-Konzeptes erleichtern. Die von den Städten gemeldeten Lademöglichkeiten wurden anschliessend im Schweizerischen Verzeichnis LEMnet (www.lemnet.org) publiziert. Die Erfahrungen mit Ladestationen in der Schweiz aber auch im Ausland wurden fortlaufend analysiert und dokumentiert (so wurde beispielsweise ein Merkblatt für Bauherren verfasst, vgl. Kap. 4.2.4).

2.2.3 Verkehrssicherheit

In diesem Arbeitspaket wurden zum einen die Fahrzeugsicherheit und zum anderen die Sicherheit des E-Scooter-Fahrers im Verkehr untersucht.

Zur Fahrzeugsicherheit: In Zusammenarbeit mit Electrosuisse wurde 2011 eine elektrotechnische Untersuchung der im Programm NewRide aufgeführten E-Scooters vorgenommen. Electrosuisse erstellte zu jeder Marke einen Bericht und ein Gesamtfazit ihrer Arbeit (vgl. Kap. 4.3).

Zur Sicherheit im Verkehr: In Zusammenarbeit mit der Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu und mit der Stadtpolizei Zürich wurde an der Swiss-Moto 2011 die oft schlechte Sichtbarkeit von Motorradlenkenden demonstriert. Weiter hat ein Vertreter der Projektteams am 25. August 2011 an einem Atelier der bfu zu deren Präventionsprogramm ‚Motorrad' teilgenommen und dabei die E-Scooter-spezifischen Aspekte – niedriger Geräuschpegel, ungeübte ältere Neulenker – eingebracht. In einer anschliessenden Nutzerbefragung der bfu wurden diese Anliegen aufgenommen.

2.3 Arbeitspaket ‚Fördermassnahmen'

In diesem Arbeitspaket werden die verschiedenen Fördermassnahmen, die die Entwicklung, Markteinführung und Marktdurchdringung von E-Scooters gezielt unterstützen, analysiert. Bereits bestehende Fördermassnahmen (z. B. im Rahmen des Programms NewRide) sowie geplante Massnahmen wurden mittels Desk Research gesammelt, evaluiert, bewertet und in verschiedenen Berichten festgehalten (vgl. Kap. 5).

2.3.1 E-Scooter-Testtag

Auf nationaler Ebene stellen Fahrzeug-Ausstellungen mit der Möglichkeit zu Probefahrten im Rahmen des Programm NewRide eine zentrale Aktivität der E-Scooter-Förderung dar. Diese Ausstellungen wurden anhand verschiedener Dokumente vom Programm NewRide (z. B. Probefahrblätter, Evaluationsberichte, etc.) evaluiert.

2.3.2 Swiss-Moto 2009 – 2013, Ausstellung ALL ELECTRIC

Seit 2009 hat NewRide an der Swiss-Moto fünf Sonderausstellungen ALL ELECTRIC durchgeführt, und diese wurden vertieft evaluiert. Das methodische Vorgehen ist in sechs Berichten detailliert dargestellt (vgl. Kap. 5.3). Die Tabelle 3 gibt eine Übersicht über das methodische Vorgehen. In jedem Jahr, d.h. von 2009 bis 2013, wurden zudem eine Situationsbeschreibung (Beobachtung), eine Schätzung der Besucherzahl und eine Auswertung der Anzahl Probefahrenden vorgenommen.

Jahr	Zielgruppe	Methodisches Vorgehen
2009	E-Scooter-Aussteller	Die sechs E-Scooter-Aussteller wurden sowohl vor als auch nach der Swiss-Moto mit einem standardisierten Fragebogen befragt. Vor der Ausstellung wurden sie gebeten, eine Anzahl Fragen schriftlich per E-Mail zu beantworten. Nach der Ausstellung wurde mit allen Ausstellern ein persönliches Gespräch per Telefon geführt.
	Fahrrad- und Motorrad-Händler	Mit Hilfe des Schweizerischen Fahrrad- und Motorrad-Gewerbe-Verbandes (SFMGV, heute 2rad Schweiz) konnten im Nachgang zur Swiss-Moto die Händler angegangen werden. Der SFMGV hat in der Aprilausgabe seiner Verbandszeitung ‚2Rad Schweiz' allen seinen Mitgliedern (ca. 800) einen Fragebogen zukommen lassen.
	Weitere Besucher	Während der Swiss-Moto wurden Befragungen mit 222 Besuchenden durchgeführt
	Medien	Die Analyse der Medienarbeit wurde mittels Auszügen aus dem ‚Argus' analysiert. Der Argus erlaubt eine systematische Auswertung der Printmedien inklusive gedruckte Auflage, nicht aber die Erfassung der Reichweite der elektronischen Medien. Die Zahl der erreichten Leserinnen und Leser lässt sich aus der Auflage hochrechnen, hinzu kommen dann die Nutzerinnen und Nutzer der elektronischen Medien.
2010	E-Scooter-Aussteller	Die zehn Aussteller wurden sowohl an der Ausstellung (persönliches Gespräch) als auch im Nachgang zur Ausstellung (per E-Mail) befragt.
	Besucher	20 Gespräche mit Besuchenden wurden geführt.
	Medien	Die Medienarbeit wurde mittels der Auszüge ‚Argus' analysiert.
	Besucher mit Probefahrt	Im April 2010 wurden Besuchende, die eine Probefahrt an der Swiss-Moto 2009 absolvierten, schriftlich befragt.
2011	E-Scooter-Aussteller	Die zwölf Aussteller der Halle 7 wurden sowohl an der Ausstellung (persönliches Gespräch) als auch im Nachgang zur Ausstellung (per E-Mail) befragt.
	Besucher	20 Gespräche mit Besuchenden wurden geführt.
	Medien	Die Medienarbeit wurde mittels der Auszüge ‚Argus' analysiert.
2012	E-Scooter-Aussteller	Die 19 Aussteller der Halle 7 wurden sowohl an der Ausstellung (persönliches Gespräch) als auch im Nachgang zur Ausstellung (per E-Mail) befragt.
	Besucher	20 Gespräche mit Besuchenden wurden geführt.
	Medien	Die Medienarbeit wurde mittels der Auszüge ‚Argus' analysiert.
2013	E-Scooter-Aussteller	Acht Aussteller wurden sowohl an der Ausstellung (persönliches Gespräch) als auch im Nachgang zur Ausstellung (per E-Mail) befragt.
	Besucher	30 Gespräche mit Besuchenden wurden geführt.

Tabelle 3: Methodische Vorgehen zur Datenerhebung an der Swiss-Moto 2009 – 2013.

Dieses Vorgehen hat erlaubt, sowohl einen quantitativen Überblick als auch qualitative Informationen zur Sonderschau ‚E-Scooter' an der Swiss-Moto 2009 bis 2013 zu erhalten.

2.4 Arbeitspaket ‚Energie und Umwelt'

Im Arbeitspaket ‚Energie und Umwelt' wurden einerseits fehlende Grundlagen für die Messung des Energiebedarfs von E-Scooters und andererseits Lebenszyklusinventare (LCI) und Lebenszyklusanalysen (LCA) der E-Scooter geschaffen. Die meisten Inventardaten wurden in die weltweit grösste

Ökoinventar-Datenbank ecoinvent v2.2 integriert. Somit stehen diese Informationen einem breiten Publikum zur Verfügung.

2.4.1 Energiebedarf und Reichweite

2.4.1.1 Energiebedarfserhebungen durch reale Fahrdaten

Der Energiebedarf wurde konsequent und an einer grösseren Anzahl Fahrzeugen erhoben. Dies waren Messungen des Netzenergiebezugs (ab Steckdose), die in den E-Scooter-Tagebüchern (vgl. Kap. 7.4) von den beteiligten Nutzern festgehalten wurden. Um den Energiebedarf eines E-Scooters richtig einzuordnen ist der Wirkungsgrad der gesamten Wirkkette einzubeziehen (vgl. Kap. 6.1). Es zeigte sich rasch, dass günstige Stromkostenmessgeräte z.T. grosse Fehler bei der Messung der Netzströme von Ladegeräten machen. Eine Untersuchung der Genauigkeit und der Verluste von Ladegeräten sowie eine kostenlose Abgabe des geeignetsten Gerätes an alle Testteilnehmer waren für vergleichbare Resultate notwendig.

2.4.1.2 Energiebedarfserhebungen durch Simulation

Da E-Scooters im Betrieb praktisch emissionsfrei sind, eignen sich herkömmliche Verfahren zur Verbrauchsmessung, sogenannte Rollenprüfungen (s. Abbildung 2), für E-Scooters nicht uneingeschränkt. Denn diese sind auf die aufwändige und teure Messung der Emission von Luftschadstoffen im Fahrbetrieb ausgerichtet. Die Messung des Treibstoff- bzw. Energieverbrauchs ist dabei ein beinahe unwesentlicher Teil.

Abbildung 2: Rollenprüfstand (chassis dynamometer) im Motorenhaus der Empa Dübendorf.

Für E-Scooter-Verbrauchsmessungen wurde darum eine einfache, kostengünstige und allgemein anwendbare Messmethode entwickelt, die auf die Verwendung von Rollenprüfständen verzichtet und mit einer minimalen, temporären Nachrüstung mit einer mobilen Messeinrichtung in kurzer Zeit durchführbar ist. Die Einrichtung übermittelt die erhobenen Daten per Funk an einen zentralen Rechner, der die Daten auswertet. Anhand der ermittelten Daten werden zuerst die Fahrzeugparameter wie Masse oder Rollwiderstand und daraus eine beliebige Fahrt dieses Fahrzeugs, z.B. ein Normfahrzyklus wie NEFZ, berechnet (s. das Ablaufschema in Abbildung 3). Die Methode ermöglicht somit, E-Scooters bezüglich ihrer Fahrleistung und Reichweite zu vergleichen, ohne dass sie je die gleiche Fahrt gemacht haben.

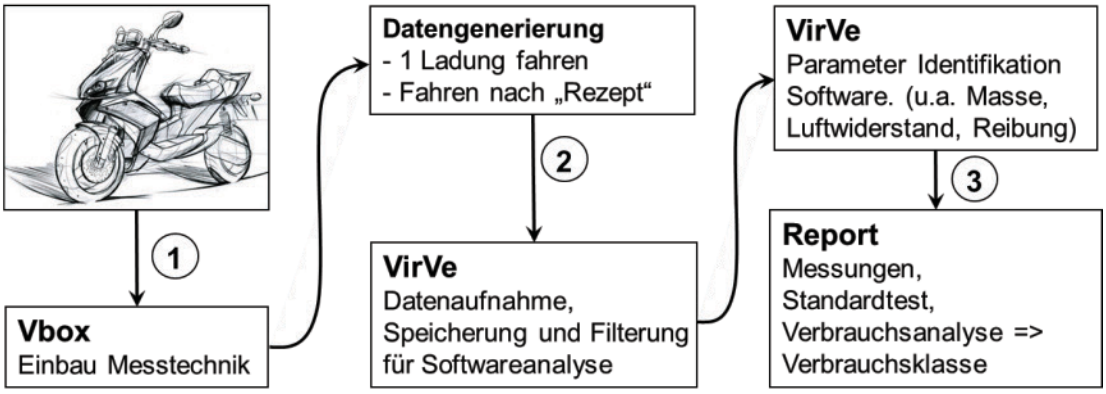


Abbildung 3: Schematischer Ablauf der Verbrauchsmessung: (1) Einbau der Messeinrichtung, d.h. Strom- und Spannungssensor und/oder Anschluss an einen evtl. vorhandenen Onboard Diagnostic Bus (OBD), (2) Testfahrten mit Datenaufnahme, (3) Berechnungen durch VirVe (der für diese Arbeiten am Projekt beteiligten Firma).

2.4.2 Spezifische Lebenszyklusinventare (LCI)

Für alle relevanten Komponenten des Antriebsstrangs und des Chassis wurden Ökoinventare erstellt:

1. Eine moderne Li-Ionen-Transaktionsbatterie, welche typischerweise in Elektrofahrzeugen eingesetzt wird, wurde bezüglich Materialien und Herstellungsprozessen detailliert analysiert und inventarisiert. Es handelt sich um ein Produkt von Dow Kokam, das eine $LiMnO_2$ Chemie verwendet. Dieses Inventar wird nun auch auf weitere Elektrodenmaterialien erweitert.
2. Typische E-Scooter-Elektromotoren (Nabenmotoren und Innenläufermotoren mit – wegen der Seltenerdmagnete – besonderem Augenmerk auf permanent erregte Synchronmaschinen). Beim Aufbau des Öko-Inventars wurden die Nennleistungen der Elektromotoren entsprechend den schweizerischen und den EU-Vorschriften mit 0.25, 0.5, 1, 4, 11, 25 und >25 kW abgebildet. Gängige Elektromotoren wurden dazu ausgewählt und inventarisiert.
3. Zur Inventarisierung der Leistungselektronik von Wechselrichtern für Synchron- und Asynchronmotoren sowie für Batterieladegeräte und Batteriemanagementsysteme (BMS) wurden verschiedene Schlüsselkomponenten zerlegt und analysiert, um genaue Angaben zu Materialzusammensetzung, Massen und Herstellungsprozessen zu erhalten.

2.4.3 Spezifische Lebenszyklusanalysen (LCA)

Die ursprünglich erwartete Nachfrage von Dritten (z.B. von Importeuren/Herstellern oder Gemeinden) nach spezifischen Lebenszyklusanalysen blieb aus. Aus diesem Grunde wurden LCAs für drei Anwendungen gerechnet:

- Tabellarische Auflistung der spezifischen Umweltauswirkungen verschiedener Fahrzeugklassen, gemessen mit unterschiedlichen Indikatoren (s. Kap. 6.3)
- Verwendung der Ökoinvetardaten zur Berechnung von Leistungsausweisen für spezifische E-Scooters (s. Kap. 6.1.1)
- Beispielhafte Berechnungen und Vergleiche der Umweltauswirkungen zur Illustration der Möglichkeiten dieser Methode und des grossen potenziellen Nutzens von E-Scooters an den verschiedenen Projektworkshops; in Luzern (2012) wurde z.B. die eindrückliche Reduktion der Umweltbelastungen durch die (teilweise) Verwendung eines E-Scooters für einen ausgewählten Arbeitsweg aufgezeigt.

2.5 Arbeitspaket ‚Nutzungsverhalten'

Im Arbeitspaket ‚Nutzungsverhalten' geht es einerseits um die Frage, wie der Kauf eines E-Scooters das Mobilitätsverhalten der Fahrer beeinflusst (Auf welchen Wegen und für welche Zwecke werden E-Scooters eingesetzt? Welche Verkehrsmittel werden ersetzt? Werden zusätzliche Wege zurückgelegt?) und andererseits um die Frage, wie hoch der spezifische Energieverbrauch der E-Scooters im Praxiseinsatz ist und ob dieser durch das Ladeverhalten der E-Scooter-Fahrer beeinflusst werden kann. Für die Beantwortung dieser Fragen wurde eine Befragung bei 75 E-Scooter-Fahrern in der Deutsch- und Westschweiz durchgeführt. Im Rahmen dieser Befragung wurden ausserdem Daten erhoben, die für die Beantwortung von Fragestellungen aus anderen Arbeitspaketen benötigt wurden (zur Zuverlässigkeit der E-Scooters siehe Kapitel 2.2.1 resp. 4.1.1, zur Verkehrssicherheit siehe Kapitel 4.3.4, zum Energieverbrauch siehe auch Kapitel 2.4.1.1 resp. 6.1.4).

Die Daten zu Mobilitätsverhalten und Verkehrssicherheit wurden mittels eines schriftlich auszufüllenden Fragebogens erhoben (‚Fragebogen zum Mobilitätsverhalten'). Für die Beantwortung der Fragen zum Energieverbrauch, zum Ladeverhalten und zur Zuverlässigkeit der E-Scooters wurde ein ‚E-Scooter-Tagebuch' an die Fahrer versandt, in welchem die Fahrer zwei Monate lang Daten zu Energieverbrauch, Fahrstrecke und allen Schäden resp. Auffälligkeiten an ihrem E-Scooter eintragen mussten. Um den Gründen für den Umstieg vom Benzin-Roller auf den E-Scooter nachzugehen, wurde ausserdem eine qualitative Zweitbefragung ausgewählter Probanden durchgeführt (‚Zweitbefragung ehemalige Motorradfahrer – heutige E-Scooter-Fahrer'). Im Folgenden werden das methodische Vorgehen und die Erhebungsinstrumente vorgestellt.

2.5.1 Datenerhebung und Studienkollektiv

2.5.1.1 Probanden und Vorgehen

Die IKAÖ der Universität Bern erhielt von den Förderstädten[1] die Angaben der Käufer, welche einen E-Scooter mit finanzieller Unterstützung gekauft hatten. Drei Monate nach Kauf schickte die IKAÖ den E-Scooter-Nutzern die Befragungs-Unterlagen (1 x Fragebogen und 1 x Tagebuch) per E-Mail zu und fixierte gemeinsam mit ihnen die Erhebungsmonate (1 x warmer Monat und 1 x kalter Monat).

Nach einem Pre-Test mit drei Probanden startete die Untersuchung im Sommer 2010. Bis Ende November 2013 sind insgesamt 76 Fördergesuche eingereicht worden, darunter 21 in St. Gallen, 15 in Zürich, 14 in Luzern und 11 in Bern.

Unter den gekauften Modellen finden sich vor allem Vespino, Vectrix, Govecs und der vRone. Insgesamt konnten 55 Fragebogen und Tagebücher ausgewertet werden (Rücklaufquote 73%).

2.5.1.2 Fragebogen zum Mobilitätsverhalten

Mit dem Fragebogen zum Mobilitätsverhalten sollten in erster Linie Daten erhoben werden, die für die Beantwortung der Fragestellungen zum Mobilitätsverhalten benötigt werden. Anhand der Fragebogen-Daten sollte ausserdem eine Beschreibung der E-Scooter-Fahrer hinsichtlich demographischer Merkmale ermöglicht werden. Weiter flossen Fragen zur Zufriedenheit mit dem E-Scooter, zur Zahlungsbereitschaft und zu den Kaufgründen in den Fragebogen ein. Einige Fragen aus dem Bogen dienten ausserdem der Beantwortung von Fragen aus dem Bereich Verkehrssicherheit. Der komplette Fragebogen ist im Anhang zu Kap. 7.2 abgedruckt.

[1] Folgende Städte gewährten Förderbeiträge für E-Scooters: Basel, Bern, Neuchâtel, St. Gallen, Lausanne, Lancy, Luzern und Zürich. Alle Städte ausser Luzern unterstützen den E-Scooter-Kauf mit 10% des Anschaffungspreises, maximal 1'000 CHF, Luzern max. 2'000 CHF.

Während die reine Beschreibung des E-Scooter-Einsatzes und der Probanden methodisch einfach ist, sind die folgenden vier zentralen Forschungsgegenstände resp. Fragestellungen in der methodischen Handhabung komplexer:

1) Verkehrsmittel-Substitution wegbezogen: Welche Verkehrsmittel werden bezogen auf die einzelnen Wege ersetzt?

2) Mehrverkehr: Werden mit dem E-Scooter Wege zurückgelegt, die ohne E-Scooter nicht zurückgelegt worden wären?

3) Verkehrsmittel-Substitution bezogen auf den Fahrzeugpark: Welche Verkehrsmittel werden bezogen auf den Fahrzeugpark des Haushaltes ersetzt?

4) Vergrösserung des Fahrzeugparks: Wird der E-Scooter als zusätzliches Fahrzeug gekauft?

Die Schwierigkeit bei diesen Fragen liegt darin, dass die aktuelle Situation mit einer hypothetischen Situation verglichen werden muss: Wie wäre ein bestimmter Weg zurückgelegt worden, wenn kein E-Scooter zur Verfügung gestanden hätte? Hat der E-Scooter ein anderes Fahrzeug des Fahrzeugparks ersetzt? Analog zu den Befragungen im Rahmen des LEM-Grossversuchs in Mendrisio wurde diese Problematik durch eine ‚stated preferences'-Befragung gelöst (siehe dazu Buwal 2004: 52). Die aktuelle Situation (revealed situation) in Bezug auf die einzelnen Wege wurde durch die Erhebung von tatsächlichen Wegen erfasst (Datum, Streckenlänge, Dauer, Zweck der letzten sechs E-Scooter-Fahrten; siehe Frage 2 im Fragebogen im Anhang zu Kap. 7.2). Die hypothetische Situation (stated situation) in Bezug auf die einzelnen Wege wurde erfasst, indem die Probanden zu jeder der erfassten Fahrten angeben mussten, ob und wie sie diese Fahrt zurückgelegt hätten, wenn kein E-Scooter zur Verfügung gestanden wäre (mit welchem Verkehrsmittel, längere oder kürzere Fahrt; siehe Frage 3 im Fragebogen). Dies ermöglicht die Beantwortung der Fragen 1 und 2. Um Fragen 3 und 4 zu beantworten, muss in Betracht gezogen werden, dass ein neu gekaufter E-Scooter sowohl ein bereits vorhandenes Fahrzeug ersetzen kann, als auch an Stelle eines anderen zusätzlichen Fahrzeugs gekauft werden kann (siehe dazu Fragen 9 und 12 im Fragebogen). Nur wenn weder das eine noch das andere der Fall ist, führt der Kauf eines E-Scooters zur Vergrösserung des Fahrzeugparks eines Haushaltes.

Interessant wäre auch die Frage, ob der Kauf eines E-Scooters unter Umständen dazu führt, dass bestimmte Wege nicht mehr zurückgelegt werden (zu denken wäre hier bspw. an Freizeitfahrten mit Benzin-Motorrädern oder Autos, die mit dem E-Scooter aufgrund der beschränkten Reichweite nicht möglich sind). Die Bearbeitung dieser Frage hätte den Fragebogen noch komplexer gemacht und ist im Rahmen dieses Forschungsprojekt deshalb nicht untersucht worden. Dieser Aspekt, der die Bewertung der E-Scooter aus ökologischer Perspektive positiv beeinflussen würde, kann deshalb nicht berücksichtigt werden.

2.5.1.3 E-Scooter-Tagebuch

Für die Erfassung des Energiebedarfs ab Steckdose, der gefahrenen Strecken und von speziellen Ereignissen (z.B. Reparaturen, Schäden, etc.) wurde ein Tagebuch in Form von Excel-Tabellen erstellt (s. Anhang zu Kap. 7.4), welche die Teilnehmer dieser Erhebung zusammen mit einem Stromkostenmessgerät erhielten. Alle Teilnehmer waren aufgefordert ein Tagebuch zu führen. Die Regeln der Datenerhebung waren einfach:

- Zwei Erhebungsperioden mit je mindestens 20 Ladungszyklen
- Je eine Periode in der kalten (Oktober bis April) und der warmen (Mai bis September) Jahreszeit
- Festhalten von Kilometerstand, Netzenergiebezug und besonderen Vorkommnissen
- Weitere Daten/Informationen sind erwünscht, aber fakultativ.

Anfänglich wurde lediglich das Tagebuch in Form eines MS-Excel-Formulars abgegeben und die Teilnehmer konnten ein beliebiges Energiemessgerät einsetzen, um den Energiebezug ab Steckdose für die Batterieladung zu ermitteln. Die ersten Erfahrungen zeigten aber, dass die Messfehler der eingesetzten Geräte zu gross waren. Daher wurde fortan allen Teilnehmern ein ausgewähltes Energiemessgerät kostenlos abgegeben (siehe Kap. 6.1.4). Mittlerweile haben sich die Strommessgeräte weiterentwickelt und eine Studie (HTW Chur 2013[1]) zeigt zwar eine allgemeine Verbesserung der Messgenauigkeit, aber immer noch grosse Unterschiede bei speziellen Lasten, beispielsweise leistungsstarken Ladegeräten. Daher ist es wohl weiterhin gerechtfertigt, ein ausgewähltes Messgerät für solche Messkampagnen abzugeben.

Das E-Scooter-Tagebuch besteht im Wesentlichen aus zwei Listen, ‚Energie' und ‚Ereignisse', in die die Nutzer in den dafür vorgesehenen Feldern fortlaufend die abgelesenen Netzenergiebezüge und die entsprechenden Kilometerstände eintragen und kommentieren. In einem Deckblatt ‚Übersicht' werden einerseits Fahrzeugspezifikationen eingegeben, andererseits auch Resultate wie z.B. der mittlere Gesamtenergieverbrauch ausgegeben. Eine detailliertere Beschreibung des Tagebuchs findet sich im Anhang zu Kap. 7.4.

Das MS-Excel-Formular wurde nach dem ersten Jahr zur Steigerung der Benutzerfreundlichkeit völlig überarbeitet. Es hatte sich gezeigt, dass viele Teilnehmer das Tagebuch nicht nur als Ladejournal, sondern als Fahrtenbuch nutzten; d.h. sie trugen alle Fahrten ein, auch wenn nicht jedes Mal dazwischen geladen wurde; Version 2 trägt u.a. diesem Wunsch Rechnung. Die Änderungen der Formulare betrafen die 'obligatorisch' erhobenen Daten nicht, sodass die Zeitreihen durchgehend blieben und statistische Auswertungen über den gesamten Projektzeitraum gemacht werden können. Die verbesserte Benutzerfreundlichkeit der Formulare, insbesondere die Einschränkung der unmittelbaren Sichtbarkeit aller Eingabemöglichkeiten, führte jedoch zu einer geringeren Menge 'freiwilliger' Daten. Da diese jedoch nicht systematisch ausgewertet wurden, waren die Auswirkungen gering. Nach weiteren zwei Jahren in Gebrauch wurde eine weitere Version vorbereitet, welche jedoch noch nicht abgegeben wurde. Diese Version 3 vereinfacht vor allem die Datenauswertung und gibt dem Nutzer mehr Feedback, z.B. eine tabellarische Zusammenfassung der Schlüsselresultate aller bereits absolvierten Messperioden. Tabelle 4 zeigt konkrete Resultate eines Teilnehmers, wie sie in der Tagebuch-Übersicht erscheinen würden.

Zusammenfassung			Gesamt	Gesamt-zahl	Gesamt-zahl	Gesamt	Fahrzeugenergiebedarf [kWh/100km]			
			Distanz	Fahrten	Ladungen	Energie	ø Einzelfahrt	Abwei-chung	ø Gesamt	Benzin-äquiv.
Periode 1	Okt 10	Apr 11	1'394.0	38	38	143.0	11.00	4.88	10.26	1.13
Periode 2	Mai 11	Sep 11	2'153.0	56	56	201.1	9.58	2.73	9.34	1.03
Periode 3	Okt 11	Apr 12	1'791.0	52	52	185.9	10.36	3.17	10.38	1.14
Periode 4	Mai 12	Sep 12	67.0	2	2	7.9	11.70	0.94	11.79	1.30
Gesamt	24.11.10	4.05.12	5'405.0	148	148	537.9	10.25	3.55	9.95	1.09

Tabelle 4: Zusammenfassung der Schlüsseldaten im Tagebuch Version 3 (Entwurf). Die Gesamt-Distanz [km], Anzahl-Fahrten [-],Anzahl-Ladungen [-] und Gesamt-Energiebezug [kWh] geben einen raschen Überblick über die Fahrleistungen jeder Erhebungsperiode. Der durchschnittliche Fahrzeugenergiebedarf 'ø Einzelfahrt' und dessen 'Abweichung' [kWh/100km] entsprechen den durchschnittlichen Energiebezügen für die zwischen den Ladungen zurückgelegten Fahrstrecken. Der Fahrzeugenergiebedarf 'ø Gesamt' [kWh/100km] entspricht dem Gesamtenergiebezug dieser Periode für die damit zurückgelegte Gesamtdistanz. 'Benzin äquiv.' [l/100km] ist die Umrechnung der elektrischen Energie in Benzin-Äquivalente.

[1] http://anm.topten.ch/uploads/File/Testbericht-Energiemessgeraete-HTW-Chur-2013.pdf (abgerufen am 12.12.2013).

2.5.2 Datenauswertung

Alle Daten wurden elektronisch erfasst und mittels SPSS und Excel im Hinblick auf die Fragestellung analysiert.

Zur Auswertung der E-Scooter-Tagebücher wurde eine weitere MS-Excel-Lösung gewählt – anfänglich, um auf die rücklaufenden Daten flexibel reagieren zu können. Später, als klar wurde, dass nicht Hunderte sondern lediglich ein paar Dutzende Tagebücher zu bearbeiten waren, wurde diese Lösung verbessert anstatt eine aufwändigere Datenbanklösung zu entwickeln (mehr darüber im Anhang zu Kap 7.4).

2.5.3 Zweitbefragung ‚ehemalige Motorradfahrer – heutige E-Scooter-Fahrer'

Im Rahmen einer studentischen Projektarbeit (Kälin et al. 2012) wurde aus dem oben skizzierten Studienkollektiv (s. Kap. 2.5.1) eine Gruppe E-Scooter-Käufer, die vormals Motorradfahrer waren, ein zweites Mal befragt. Um die relevanten Faktoren für den Umstieg vom Motorrad auf den E-Scooter zu eruieren, wurden im August und September 2012 in verschiedenen Regionen der Deutschschweiz 13 qualitative Interviews durchgeführt (s. Interviewleitfaden im Anhang zu Kap. 7.3). Folgende Themenfelder wurden in den Interviews angesprochen: allgemeine Mobilität, Wissen über das Motorrad und den E-Scooter, gesamthafter Vergleich und Bewertung von Motorrad und E-Scooter, persönliche Bedürfnisse, Erfahrungen, Reaktionen im Umfeld, Infrastruktur und Kosten. Für die Analyse der 13 Interviews wurde die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring (2007) gewählt. Das Sample bestand ausschliesslich aus Männern zwischen 35 und 63 Jahren, die in der Deutschschweiz wohnhaft sind.

3. Akteure und Marktentwicklung

3.1 Globale Marktentwicklung

In diesem Kapitel wird die jüngste Geschichte des E-Scooters-Marktes beschrieben. Zu ausgewählten Themen, welche die heutige Situation in der Schweiz massgebend beeinflussten, werden Details beschrieben. Es besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit.

3.1.1 Scoot'Elec und E-Vivacity von Peugeot

Bereits 1995 hatte der französische Rollerhersteller Peugeot mit dem Scoot'Elec einen E-Roller auf den Markt gebracht und einige Tausend Einheiten produziert (s. Abbildung 4). Er war mit Nickel-Cadmium-Batterien ausgestattet, welche robust waren und eine Lebensdauer von bis zu 10 Jahren oder 50'000 km ermöglichten. Die im Vergleich zu heutigen Lithium-Batterien geringe Energiedichte schlug sich auf das Fahrzeuggewicht (115 kg) nieder, was den Einsatz aber nicht stark beeinträchtigte. Für den Vertrieb konnte Peugeot auf ein etabliertes Händlernetz zurückgreifen. Viele Händler stiegen mit grossem Enthusiasmus ein, verloren aber das Engagement zunehmend, als sich der Markt nach einem verheissungsvollen Anfangserfolg (auch in der Schweiz wurden mehrere hundert Scoot'Elecs verkauft) nicht weiterentwickelte. So stellte Peugeot die Produktion 2005 ein. Als Haupthindernisse galten aus Sicht der Händler der hohe Anschaffungspreis von rund CHF 5'000 und die Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h. Über die Reichweite von 30 - 50 km hingegen beklagten sich nur wenige Nutzer.

Abbildung 4: Der Peugeot Scoot'Elec. (Foto InfoVEL Mendrisio)

An diesem Beispiel zeigt sich einmal mehr, wie eine gute Technologie scheitert, wenn sie zu einem Zeitpunkt auf den Markt kommt, da dieser noch nicht reif resp. nicht ausreichend vorbereitet ist.

Peugeot entwickelte die Technologie weiter und brachte Ende 2011 eine Elektroversion des Modells Vivacity als ‚E-Vivacity' auf den Markt (s. Abbildung 5). Im Gegensatz zum Scoot'Elec ist dieser mit Li-Ion-Batterie ausgerüstet, die Höchstgeschwindigkeit beträgt jedoch immer noch 45 km/h. Da zudem weder der Hersteller noch der Schweizer Importeur das Produkt aktiv bewarben, blieben die Absatzzahlen in der Schweiz bislang unter 100 Stück p.a.

Abbildung 5: Der E-Vivacity als Neuheit auf dem Peugeot-Stand an der EICMA Mailand 2011. (Foto Urs Schwegler)

3.1.2 E-Scooters weiterer grosser Roller-Hersteller

Der japanische Motorradhersteller Yamaha produziert seit 2008 den ECO 3 (s. Abbildung 6). Seit 2011 ist er auch auf dem Schweizer Markt verfügbar. Aufgrund der technischen Daten (Höchstgeschwindigkeit 45 km/h) und wegen fehlender Pedale ist er als Kat. A1 zugelassen, auch wenn das Fahrzeugkonzept eher einem Mofa gleicht. Das Fahrzeuggewicht von 56 kg und die Motorleistung von 1'300 W machen klar, dass dieses Fahrzeug weder für schwergewichtige Fahrer noch für grössere Steigungen geeignet ist.

Abbildung 6: Der Yamaha ECO3 an der Intermot Köln 2012. (Foto Urs Schwegler)

Der taiwanesische Hersteller PGO ist seit 2010 mit seinem E-Scooter e-wave auf dem Schweizer Markt. Er verfügt über eine Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h und kostet CHF 4'600. Als Energiespeicher hat PGO ein duales System mit einer fest installierten Blei- und zwei abnehmbaren Li-Ion-Batterien gewählt, um das in Taiwan besonders schwerwiegende Problem der fehlenden Ladeinfrastruktur zu entschärfen (s. Kap. 4.2.1). Der Vertrieb erfolgt wie für die Benzin-Roller von PGO über den Schweizer Importeur von Kawasaki. Nach einem mässigen Anfangserfolg stellten die Anbieter die Marketingaktivitäten wieder ein, womit auch der Absatz zurückging.

2013 hat Piaggio eine Elektroversion des Liberty vorgestellt, vorerst allerdings nur für die Schweizer Post (als Ersatz für den Oxygen, s. Kap. 3.2)

Mit Spannung wird der E-Roller von BMW (s. Abbildung 7) erwartet, dessen Markteinführung für 2014 angekündigt ist. Mit einer Nennleistung des Motors von 11 kW erreicht er eine Höchstgeschwindigkeit von 120 km/h. Die 8 kWh-Li-Ion-Batterie, welche auch im i3, dem Elektroauto von BMW, eingesetzt wird, soll Reichweiten von bis zu 100 km ermöglichen.

Abbildung 7: Ein Prototyp des BMW C Evolution auf dem Testparcours an der Intermot Köln 2012. (Foto Urs Schwegler)

An dieser Stelle bemerkenswert ist auch eine Medienmitteilung von Ende November 2012, dass smart (zwar kein grosser Rollerhersteller) im Jahr 2014 einen E-Scooter auf den Markt bringen wird – in Zusammenarbeit mit Vectrix (siehe Kap. 3.1.4). Allerdings wird es sich um ein Kleinmotorrad der 50-ccm-Klasse handeln.

3.1.3 Elektro-Zweiräder in China

eCycleElectric, ein amerikanisch-chinesisches Beratungsunternehmen, verfolgt die Entwicklung von Elektro-Zwerädern in China seit 16 Jahren (Benjamin 2012). Dort ist die Grenze zwischen E-Bike und E-Roller fliessend, was durch einen Auszug aus der Modellpalette der Firma Luyuan illustriert wird (s. Abbildung 8).

Abbildung 8: Der fliessende Übergang zwischen Fahrrad und Roller in China. (Quelle: www.luyuan-ebike.com)

Eine genaue Absatzstatistik gibt es nicht, weil zahlreiche Fahrzeuge ohne Zulassung gefahren werden. eCycleElectric schätzt, dass der Absatz zwischen 2002 und 2012 von 1.6 auf 30 Millionen Einheiten pro Jahr angestiegen ist. Ein Vergleich der Absatzzahlen 2012 der verschiedenen Fahrzeugkategorien in China zeigt die Vormachtstellung der E-Bikes (s. Tabelle 5).

Fahrzeugkategorie	Absatz 2012 (Mio)	in %
Autos	18	21
(Benzin-)Motorräder	26	31
E-Bikes	30	36
Fahrräder	8	10
Andere	2	2

Tabelle 5: Fahrzeugabsatzzahlen in China 2012. (Benjamin 2012)

Die grosse Bedeutung der E-Bikes schlägt sich bereits im Fahrzeugbestand nieder. Tabelle 6 zeigt den Motorisierungsgrad in China (nur Fahrzeuge im Privatbesitz). Fast jede zehnte Person in China besitzt ein E-Bike (Bevölkerung: 1'350 Mio).

Fahrzeugkategorie	Anz. (Mio)	Anz./1'000 Einw.
Fahrräder	400	296
E-Bikes	120	89
(Benzin-)Motorräder	102	76
Personenwagen	79	59

Tabelle 6: Motorisierungsgrad verschiedener Fahrzeugkategorien in China. (Benjamin 2012)

Abbildung 9 zeigt die Absatzentwicklung von E-Bikes (inkl. E-Roller, weil in China die Grenze zwischen E-Bikes und E-Scooters fliessend ist), Benzin-Motorrädern und Autos in China von 1992 - 2006.

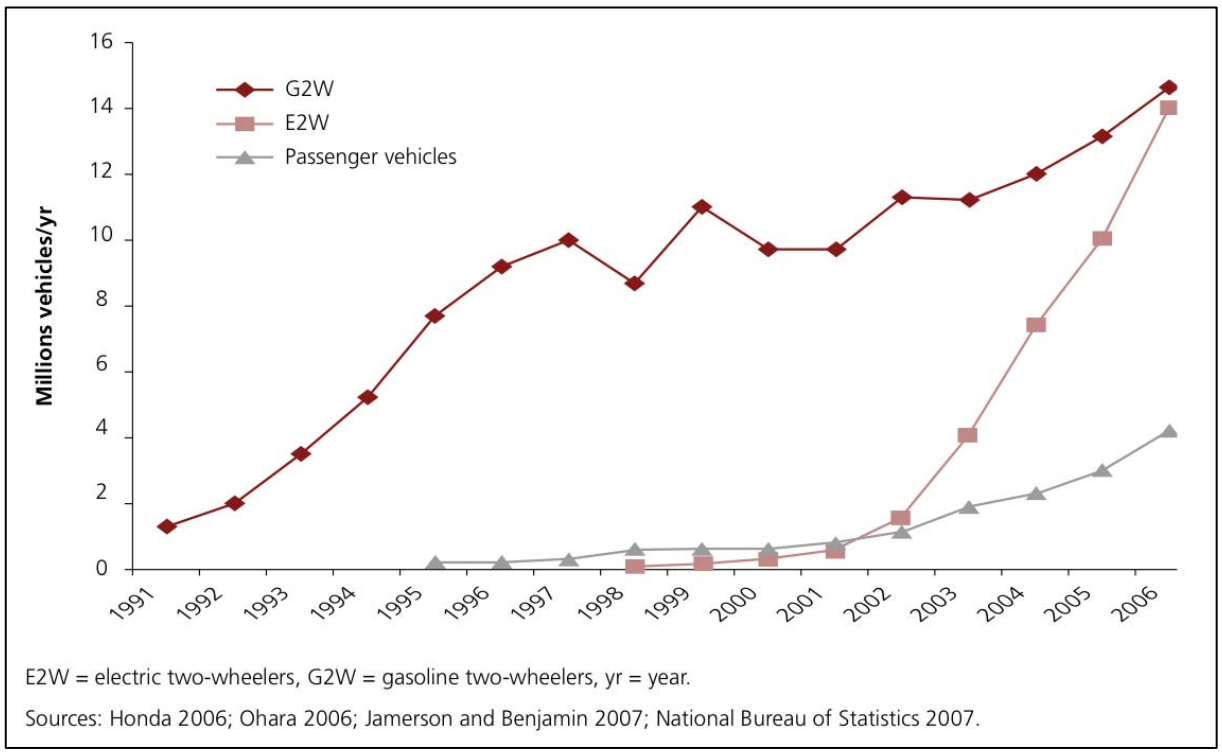


Abbildung 9: Absatzentwicklung von Motorfahrzeugen in China: Benzin-Motorräder (G2W), Elektro-Zweiräder (E2W) und Personenwagen (Passenger vehicles) in China. (Benjamin 2012)

Anfang 2011 führte das chinesische National Bicycle Industry Information Center eine Befragung bei 20‘000 E-Bike-Nutzern durch (Benjamin 2012).

Einige ausgewählte Ergebnisse:

- Mit 40% der Fahrzeuge wurden Reichweiten von über 40 km erzielt.
- 12% der Fahrzeuge weisen eine Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h und mehr auf.
- Die E-Bikes werden zu 68% für den Weg zur Arbeit benutzt. Die restlichen Fahrzwecke sind (zu etwa gleichen Teilen) Gütertransport, Freizeit, Kindertransport und ‚weitere’.
- 1/3 der Befragten benutzen das E-Bike höchstens 15 Minuten pro Tag, 3/4 höchstens 30 Minuten.

Angesichts des starken Wettbewerbes auf dem Heimmarkt versuchen diverse chinesische E-Scooter-Hersteller, im Export neue Märkte zu erschliessen. Bislang ist der Erfolg ausgeblieben. Offensichtlich sind die Unterschiede in den Anforderungen hinsichtlich Qualität, Leistung, aber auch Kosten zu gross.

Deshalb entstanden in den letzten Jahren viele chinesisch-europäische Partnerschaften zur Produktion von E-Scooters für den europäischen Markt. Die Zusammenarbeitsformen reichen dabei von Hinweisen des europäischen Vertriebspartners auf Mängel bis zur Produktionsverlagerung eines in Europa entwickelten Fahrzeuges nach China. Als kritischer Punkt hat sich dabei die Überwachung der Produktionsqualität erwiesen.

3.1.4 Spezialisierte Hersteller von E-Scooters ausserhalb Chinas

Neben den grossen Roller-Herstellern und den E-Scooter-Herstellern ausserhalb des chinesischen Markts entwickelten in den letzten Jahren auch spezialisierte Unternehmen E-Scooters. Ihnen allen gemeinsam ist die Überzeugung, dass ein Zweirad für den urbanen Verkehr sinnvollerweise mit einem Elektro- statt mit einem Benzinantrieb ausgestattet sein sollte.

Einer der bekanntesten Hersteller ist wohl Vectrix (USA), der schon vor rund 10 Jahren an grossen Ausstellungen Prototypen zeigte. 2009 erfolgte die Markteinführung mit einem immensen Werbeaufwand, zuerst in europäischen Grossstädten, dann auch in der Schweiz. Die Fahrleistungen des Vectrix VX1 sind mit denjenigen eines 400 ccm-Rollers vergleichbar, verleihen aber dank der Geräuscharmut und dem starken Beschleunigungsvermögen einen aussergewöhnlichen Fahrspass. Der Hersteller hatte aber mehrmals mit finanziellen Schwierigkeiten zu kämpfen. Der damit verbundene Vertrauensschwund schlug sich nicht nur auf Endkunden, sondern auch auf die Händler nieder. Zusammen mit dem Anschaffungspreis von deutlich über CHF 10'000 konnten auch die Vectrix-Modelle den Marktdurchbruch bislang noch nicht erreichen (s. Abbildung 10).

Abbildung 10: Vectrix VX1. (Foto NewRide)

Für 2014 hat Vectrix einen neuen, kleineren E-Scooter mit der Modellbezeichnung VT1 angekündigt. Er soll ähnliche Fahreigenschaften aufweisen wie der VX1. Die Batterie ist auf zwei Module à ca. 10 kg aufgeteilt, welche unter dem Fussboden untergebracht sind und bei Bedarf herausgenommen werden können (s. Abb. 11). Zusammen sollen sie eine Reichweite von ca. 60 km ermöglichen. Als Option kann eine dritte Batterie (und ein externes Ladegerät) im Helmfach unter dem Sitz untergebracht werden. Der VT1 ist vorne und hinten mit einem ABS-Bremssystem ausgestattet. Die Entriegelung und zahlreiche Steuerungen sind über ein Smartphone möglich. Der Verkaufspreis für die USA wird mit ca. 7'500 US$ angegeben. Der Preis für die Schweiz ist noch nicht bekannt.

Abbildung 11: Der für 2014 angekündigte Vectrix VT1 mit den herausnehmbaren Batteriemodulen. (Foto Urs Schwegler)

Zero Motorcycles (USA) bieten seit 2011 elektrisch betriebene Motorräder für Motocross und die Strasse an. Erwähnenswert ist die Option einer Schnellladevorrichtung, mit der auch japanische Elektroautos ausgestattet sind (Chademo) und die eine Ladung (bis 80% Ladezustand) in 30 Minuten erlaubt. Damit und mit den geringen Betriebskosten könnte der Zero trotz des hohen Anschaffungspreises von CHF 10‘000 – 18‘000 wettbewerbsfähig gegenüber Benzin-Motorrädern werden.

Die italienische Firma Oxygen erkannte bereits vor 15 Jahre ein grosses Potenzial im gewerblichen Einsatz von E-Scooters und entwickelte einen Cargo-Scooter. Besonderes Merkmal war die leistungsfähige, robuste und langlebige Lithium-Polymer-Batterie, welche in drei Grössen (1, 2 oder 3 Module) erhältlich ist. 2008 begann die Schweizer Post, den Oxygen (und den Kyburz DXP, s. unten) sukzessive in ihre Rollerflotte einzubauen. Im Sommer 2012 beschloss die Post, ihre Rollerflotte (7'500 Stück) sukzessive durch E-Scooters zu ersetzen, wobei der Grossteil auf den Kyburz DXP entfällt (s. unten). Leider blieb die Schweizer Post der einzige grössere Kunde, so dass Oxygen, allein auf das E-Scooter-Geschäft angewiesen, 2012 zahlungsunfähig wurde und die Produktion einstellte.

3.1.5 Die E-Scooter-Industrie in der Schweiz

Wie in der Elektrofahrzeugbranche allgemein spielen Akteure aus der Schweiz auch in der E-Scooter-Industrie eine gewichtige Rolle. Besonders wichtig für die Marktentwicklung ist das Ingenieurbüro Kyburz, welches seit 20 Jahren erfolgreich Behindertenfahrzeuge produziert und verkauft. Vor ca. 10 Jahren begann die Firma, das Modell Classic zu einem so genannten Cargo-Scooter (DXP) für die Post weiter zu entwickeln. Nach mehrjährigen Tests bestellte die Schweizer Post 2009 eine erste Serie (s. Abbildung 12).

Abbildung 12: Der Kyburz DXP mit den zulässigen Nutzlasten. (Foto Kyburz)

Als weitere Kunden des DXP nennt Kyburz die Postdienste von Lichtenstein, Luxemburg, Deutschland, Frankreich und Norwegen. Basierend auf dem Erfolg mit dem DXP hat Kyburz weitere Modelle entwickelt: den E-Trolley für die Postzustellung zu Fuss und den DXS für Gemeinden, Industrie und Private (s. Abbildung 13).

Abbildung 13: Der E-Trolley und der DXS von Kyburz. (Fotos Kyburz)

Ein weiterer Schweizer Anbieter von E-Scooters ist vR, eine Tochterfirma von vonRoll. VonRoll will seine Marktführung im Infrastrukturbereich, den sie auf dem Gebiet von Hydranten besitzt, in Richtung Elektromobilität ausbauen. Kernstück ist dabei die Ladestation Elektrant, welche durch die Entwicklung eines eigenen E-Rollers (s. Abbildung 14) gestärkt werden soll. Für die Entwicklung arbeitete vonRoll mit der Tessiner Firma Quantya zusammen, welche seit 2006 zuerst eine Motocross-Maschine mit Elektroantrieb, später darauf basierend einen Roller entwickelte.

Abbildung 14: vRone, der E-Scooter von vonRoll mit dem Elektrant. (Foto vonRoll)

3.1.6 Elektro-Kleinmotorfahrzeuge

Gemäss Kap. 1.3 zählen in diesem Bericht auch elektrische Kleinmotorfahrzeuge zu ‚E-Scooters'. Vereinzelte Vertreter dieser Klassen (L5e, L6e, L7e) sind schon seit über 10 Jahren auf dem Markt (Twike, SAM), konnten sich aber noch nicht durchsetzen.

Im Frühling 2013 brachte Renault den Twizy auf den Markt, ein vierrädriges Fahrzeug der Klasse L7e mit 2 Sitzplätzen. Mit seinem attraktiven Preis von unter CHF 10'000 (exkl. Batteriemiete), seinen guten Fahrleistungen (Höchstgeschwindigkeit 80 km/h, Reichweite 80 km) und dem renommierten Herstellernamen besitzt er gute Marktchancen (s. auch 3.2).

3.1.7 E-Scooter-Bestand in ausgewählten europäischen Ländern

Die Arbeitsgruppe ‚Hybrid and Electric Vehicles' der Internationalen Energieagentur IEA, der 17 Länder angehören, erstellt jährlich eine Statistik der in den Teilnehmerstaaten verkauften Elektrofahrzeuge nach Kategorie (IEA 2011). Die Übersicht ist nicht einheitlich, einige Länder führen in der Statistik auch Mofas auf, andere nicht. Immerhin geht daraus hervor, dass noch kein europäisches Land einen Absatz von über 3% Elektro-Motorräder aufweist.

Zusammenfassung Kapitel 3.1

Erste globale Roller-Hersteller haben E-Roller auf den Markt gebracht (Peugeot, Yamaha, PGO, Piaggio). Andere haben solche angekündigt (BMW).

Daneben sind diverse spezialisierte Hersteller von E-Scooters seit Jahren auf dem Markt präsent, allerdings bislang mit wenig Erfolg, abgesehen von der Schweizer Firma Kyburz mit ihrem DXP.

Die in China und anderen asiatischen Ländern in grossen Stückzahlen produzierten E-Scooters genügen den qualitativen Anforderungen des europäischen Marktes noch nicht. An internationalen Ausstellungen präsentieren jedoch die chinesischen Hersteller immer mehr Produkte, welche spezifisch für den europäischen Markt entwickelt werden. So wird es eine Frage der Zeit sein, bis auch in der Schweiz qualitativ hochstehende E-Scooters aus China angeboten werden.

3.2 CH-Marktentwicklung

Die Schweizer Absatzzahlen von E-Scooters sind geprägt durch die Beschaffungen der Schweizer Post (s. Abbildung 15).

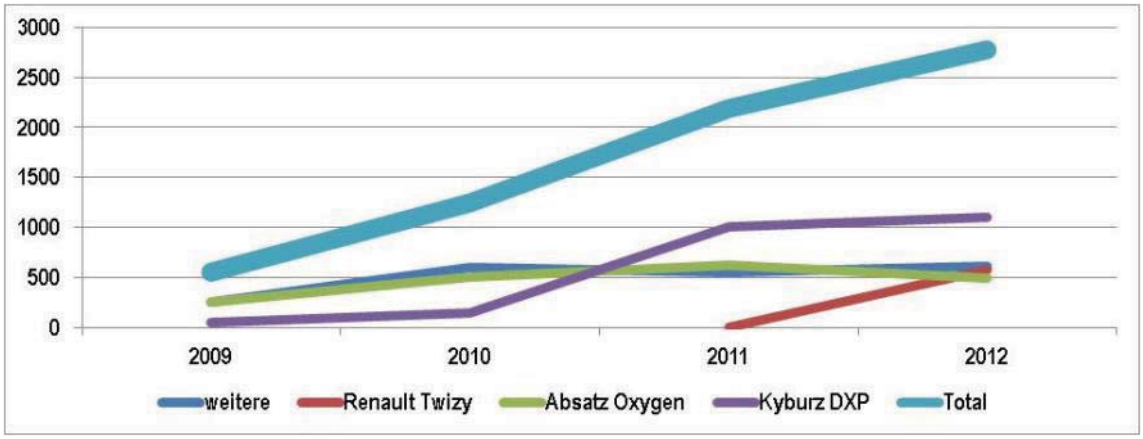


Abbildung 15: Anzahl verkaufte E-Scooters an Schweizer Endkunden 2009 – 2012. (Eigene Darstellung, basierend auf der Motorfahrzeugstatistik des Bundesamtes für Strassen)

Bis Juni 2013 hat die Post rund 4'600 E-Scooters gekauft (3'000 Kyburz DXP und 1'600 Oxygen). Im Sommer 2012 stellte der italienische Hersteller die Produktion ein. Weil der Kyburz DXP sich nicht für alle Einsatzgebiete der Post eignet, hat die Post 2013 100 Stück der Elektroversion des Piaggio Liberty angeschafft.

Ebenfalls erfolgreich war die Markteinführung des Renault Twizy. Im ersten Jahr der Markteinführung (2012) wurde er in der Schweiz 570-mal verkauft.

Klassische Roller mit Elektroantrieb wurden in der Schweiz in den letzten drei Jahren lediglich 500 - 600 abgesetzt. Sie enthalten nur die Zulassungskategorien A und A1. Das Angebot hing bis vor kurzem vorwiegend von Importeuren mit wenig Erfahrung im Zweiradmarkt ab. Ihnen ist es nicht gelun-

gen, das für einen Marktdurchbruch notwendige Vertrauen der Kunden und insbesondere der Zweiradbranche zu schaffen. So haben sich die meisten von ihnen wieder vom Markt zurückgezogen. Neue sind, abgeschreckt von diesem Misserfolg, kaum mehr hinzugekommen.

Der Marktanteil der E-Roller (1'100) am Schweizer Rollermarkt (23'000 Stück p.a., Quelle Motosuisse) liegt damit bei 5 %. Unter Berücksichtigung der Kleinmotorfahrzeuge von Kyburz und Renault steigt neben der Anzahl E-Scooters (2'800) auch die Grundgesamtheit von 23'000 auf 24'700 an (der Absatz von benzinbetriebenen Kleinmotorfahrzeugen wird dabei vernachlässigt). Damit ergibt sich ein E-Scooter-Anteil von 11.3%. Dieser Wert ist beträchtlich, was u. a. ein Vergleich mit dem E-Bike-Markt zeigt: Als 2010 der Schweizer Marktanteil von E-Bikes (gemessen am Fahrradmarkt) die 10 %-Grenze überschritt, sprach die Branche von einem endgültigen Marktdurchbruch. Diese Zahlen täuschen allerdings darüber hinweg, dass die Anbieter von eigentlichen Rollern mit Elektroantrieb einen schweren Stand auf dem Markt haben.

Zusammenfassung Kapitel 3.2

Die Schweizer Post ist seit 2008 daran, ihre gesamte Flotte an Benzin-Rollern auf E-Scooters umzustellen, dies mit einer jährlichen Bestellung von ca. 1'600 Einheiten. Die bisherigen Erfahrungen bestätigen die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit dieser Fahrzeuge und der Technologie.

Davon abgesehen wurden in den letzten Jahren lediglich ca. 600 Einheiten p.a. abgesetzt, Es gibt jedoch gute Gründe für die Erwartung, dass sich E-Scooters in den nächsten Jahren auf dem Schweizer Markt durchsetzen werden:

- Die heutigen E-Scooter-Nutzer, namentlich die Schweizer Post, bestätigen Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit.
- Die unerfahrenen Importeure von E-Scooters aus China sind weitgehend vom Markt verschwunden.
- Globale Roller-Hersteller bringen E-Roller auf den Markt und verbessern das Image.
- Abnehmbare Batterien entschärfen die Problematik der Ladeinfrastruktur.
- Innovative Fahrzeugkonzepte, vor allem in der Klasse Kleinmotorfahrzeuge, erschliessen neue Kundensegmente.
- Asiatische E-Scooter-Hersteller werden sich dem europäischen Markt anpassen.

3.3 Verbreitungsprozesse von E-Bikes und E-Scooters in der Schweiz

Die Diffusion von E-Bikes in der Schweiz ist wesentlich weiter vorangeschritten als die der E-Scooters, obschon sie ähnlich lange auf dem Markt sind. Anhand einer vergleichenden Analyse mittels TIS (Technologisches Innovationssystem)-Ansatz und einer diffusionstheoretischen Betrachtung werden mögliche Erklärungen für diesen unterschiedlichen Diffusionsverlauf aufgezeigt.

3.3.1 TIS-Analyse

Radikale Innovationen wie batteriebetriebene Elektrofahrzeuge entwickeln sich häufig in Nischen, weil sie innerhalb eines etablierten Umfeldes anfänglich nicht im Wettbewerb bestehen können. Nischen bieten während einer gewissen Zeit einen geschützten Raum, der die neu entstehenden Innovationen gegen hemmende Umfeldeinflüsse wie zum Beispiel etabliertes Nutzerverhalten, verfestigte Präferenzen oder infrastrukturelle Erfordernisse abschirmt. Innerhalb des geschützten Raumes können Innovationen durch Nischenprozesse an Dynamik gewinnen und werden dadurch eventuell fähig, mit etablierten Technologien (z.B. des vorherrschenden Transportsystems) zu konkurrieren. Obschon die Bedeutung von solchen Nischen für die Entwicklung von Innovationen unbestritten ist, gibt es noch grosse Forschungslücken und einen Bedarf an theoretischer Weiterentwicklung des Nischenkonzepts

und der Prozesse des Abschirmens, Pflegens und Stärkens von Nischen. Gesichertes Wissen fehlt insbesondere über das ‚niche up-scaling', das heisst darüber, was genau geschieht, wenn eine Nischeninnovation über den geschützten Raum ‚hinauswächst' und in Interaktion mit dem weiteren Umfeld tritt.

In Verbindung mit dem Forschungsprojekt ‚E-Scooter' entstand eine Doktorarbeit (Walter 2012), die ebendiese Up-Scaling-Prozesse genauer untersuchte und u.a. als historische Fallstudie eine vergleichende Nischenanalyse der erfolgreichen Verbreitung von E-Bikes und der stagnierenden Verbreitung von E-Scooters in der Schweiz durchführte. Die beiden Nischeninnovationen wurden als zwei Innovationen im Rahmen desselben ‚Technologischen Innovations-System' (TIS) betrachtet. Der TIS-Ansatz hat sich in den letzten Jahren als geeignet für die Analyse von sozio-technischen Innovationsprozessen etabliert. Er geht davon aus, dass es für die erfolgreiche Entwicklung und Verbreitung technologischer Innovationen eines ‚TIS' bedarf, d.h. eines Netzes privater und öffentlicher Akteure, die mit ihren Aktivitäten und Interaktionen in einem bestimmten technologischen Feld zur Entwicklung und Verbreitung von Innovationen beitragen. Zur Analyse einer Nischeninnovation nach dem TIS-Ansatz gehört die Identifikation der relevanten Akteure und die Zuordnung ihrer Aktivitäten zur Ausprägung der verschiedenen Funktionen, die ein TIS erfüllen muss, damit es zur erfolgreichen Verbreitung einer Innovation kommt. Zu diesen Funktionen gehören unternehmerische Aktivitäten (z.B. Markteintritt eines Unternehmens), Aufbau von Wissen (z.B. Pilotprojekte), Austausch von Wissen (z.B. Konferenzen, Ausstellungen), strategische Lenkung und Orientierung (z.B. Produkt-Ankündigungen, Politikziele), Marktentwicklung (z.B. finanzielle und regulatorische Anreize), Mobilisierung von Ressourcen (z.B. Kapital, Infrastruktur) und Schaffung von Legitimität (z.B. Medien-Interesse, Lobby-Gruppen).

Für den Vergleich E-Bikes vs. E-Scooters wurden mit Hilfe u.a. von Projektdatenbanken, Berichten und Medien-Recherchen ungefähr 350 für E-Bikes und E-Scooters relevante Ereignisse zwischen 1985 und 2010 (z.B. Veröffentlichungen aus Forschungs- und Entwicklungsprojekten, Medienberichte, parlamentarische Vorstösse) gesammelt und für die Beschreibung des TIS codiert. Ergänzend wurde bezüglich E-Bikes und E-Scooters eine multi-kriterielle Beurteilung von Produkteigenschaften, Nischenmerkmalen und Merkmalen des herrschenden Umfeldes vorgenommen.

Die Ergebnisse zeigen, dass in den eineinhalb Jahrzehnten vor der Jahrtausendwende durchaus ein geschützter Raum existierte (insbesondere durch den LEM-Grossversuch), der beide Nischeninnovationen gegen hemmenden Umfeld-Druck abschirmte und im TIS zunächst v.a. die Funktionen Aufbau und Austausch von Wissen, strategische Lenkung und Orientierung sowie Mobilisierung von Ressourcen ermöglichte, später auch erste unternehmerische Aktivitäten und eine frühe Marktentwicklung. Der unterschiedliche Verlauf seit 2000 (Boom bei den E-Bikes, Stagnation bei den E-Scooters) ist gemäss dieser Analyse weniger durch die Entwicklung des TIS als durch unterschiedliche Produkt-, Nischen- und Umfeldeigenschaften erklärbar. Da das E-Bike einen klaren individuellen Mehrwert gegenüber Fahrrädern ohne Tretunterstützung aufweist, konnte es erfolgreich als *neues* Fahrzeug mit differenzierter Ansprache entsprechender Zielgruppen (z.B. Personen mit geringerer körperlicher Leistungsfähigkeit) platziert werden, wodurch eine eigenständige Marktnische entstand, die innerhalb eines relativ unveränderten Umfeldes wettbewerbsfähig wurde. Bei E-Scooters hingegen dominiert der gesellschaftliche Nutzen (weniger Schadstoff- und Lärm-Emissionen), bis heute werden kaum individuelle Vorteile kommuniziert und wahrgenommen. Dadurch werden E-Scooters nicht als neue Fahrzeuge, sondern als Ersatz für Benzin-Roller gesehen und müssen sich gegen deren Mainstream-Stärke behaupten, und es ist schwieriger, eine konsequente Nischenstrategie zu verfolgen. Dass im TIS die Funktionen ‚strategische Lenkung und Orientierung' sowie ‚Schaffung von Legitimität' schwach ausgebildet sind, hemmt deshalb die Verbreitung der E-Scooters ungleich stärker als die der E-Bikes, und es bedarf gezielter Stärkung dieser beiden Funktionen.

3.3.2 Diffusionstheoretische Betrachtung

Die theoretischen Grundlagen der Analyse bilden Everett M. Rogers' Werk ‚Diffusion of Innovations' (2003) und die Zusammenführung dieses klassischen Ansatzes mit neueren Konzepten der Diffusionsforschung durch Fichter et al. (2013). Fichter et al. (2013) führen sechs Einflusssphären auf, die die Diffusion von Innovationen wesentlich beeinflussen. Diese sind produktbezogene, adopterbezogene, anbieterbezogene, branchenbezogene, politikbezogene und pfadbezogene Einflüsse.

Produktbezogene Faktoren

Hier kann auf die von Rogers (2003) herausgearbeiteten fünf zentralen Charakteristika des Innovationsgegenstandes zurückgegriffen werden. Die fünf Variablen haben offensichtlich einen bedeutsamen Einfluss auf den Diffusionsverlauf, d.h. Innovationen werden schneller adoptiert, wenn sie für potentielle Anwender fünf Charakteristika aufweisen: 1) Sie haben einen hohen persönlichen Vorteil gegenüber anderen Produkten (*relativer Vorteil*), 2) sie sind kompatibel mit bestehenden Werten, Erfahrungen aus der Vergangenheit und Bedürfnissen (*Kompatibilität*), 3) man kann sie vor dem Kauf ausprobieren (*Erprobbarkeit*), 4) die Effekte der Innovation sind für andere sichtbar (*Wahrnehmbarkeit*) und 5) ihr Funktionsprinzip sowie ihr Gebrauch sind einfach (*Komplexität*).

Betrachtet man die Innovationen E-Bike und E-Scooter im Lichte dieser fünf Charakteristika, so scheint ein unterschiedliches Verbreitungspotential vorzuliegen: Die Charakteristika Wahrnehmbarkeit, Erprobbarkeit und relativer Vorteil sind bei E-Bikes ausgeprägter als bei E-Scooters. Auf den Schweizer Strassen sieht man heute viele E-Bikes, und man kann sie in fast jedem Fahrradgeschäft kaufen und kostenlos testen. Gemäss Aussagen von Nutzern liegt der relative Vorteil von E-Bikes gegenüber Fahrrädern vor allem in der Tretunterstützung, welche grössere Geschwindigkeiten ermöglicht (Bader et al., 2005). Das Fahren eines E-Bikes ist vergleichbar und braucht dieselben Fähigkeiten wie das Fahrradfahren.

E-Scooters hingegen werden in der Schweiz zurzeit von sehr wenigen (Motorrad- oder Velo-)Händlern angeboten, und sie werden auf den Strassen kaum wahrgenommen (mit Ausnahme der Post-E-Scooter). Für Nutzer von E-Scooters ist die Umweltfreundlichkeit (z.B. der reduzierte CO_2-Ausstoss) der wichtigste Vorteil gegenüber dem Motorrad (Hofmann 2012b). Grundsätzlich ist das E-Scooter-Fahren kompatibel mit dem Motorradfahren.

Adopterbezogene Faktoren (Fokus auf Händler, Nutzer)

Diese Faktoren behandeln die Frage, welche personenbezogenen Einflussfaktoren die individuelle Adoption beeinflussen. Für Fichter et al. (2013) scheinen vier Zusammenhänge von grosser Bedeutung: 1) Die Adoptergruppe der ‚Innovatoren' spielt in der ersten Phase der Diffusion eine zentrale Rolle. Bei Umweltinnovationen gehören vorwiegend Personen mit einem hohen Umweltbewusstsein zu dieser Gruppe. 2) Die Notwendigkeit von Verhaltensänderung hemmt die Diffusion von Innovationen. 3) Unsicherheiten bezüglich Funktion und Produktqualität können den Adoptionsprozess verzögern. 4) Ein hoher Preis ist oft ein Hemmnis.

Betrachtet man die Innovationen E-Bike und E-Scooter anhand dieser adopterbezogenen Faktoren, so finden sich auch hier Erklärungen für das unterschiedliche Verbreitungspotential:

- Ein wichtiges Diffusionshemmnis ist sicher der hohe Anschaffungspreis eines E-Scooters: Ein E-Scooter ist gut zweimal so teuer wie ein herkömmlicher Roller.
- Die Unsicherheiten der Händler gegenüber der E-Scooter-Technologie: Verschiedene Studien (z.B. Leissing et al. 2010) zeigen, dass Händler gegenüber E-Scooters kritisch eingestellt und von der Produkt-Technologie nicht überzeugt sind.
- Die Handhabung und das Fahren eines E-Scooters sind vergleichbar mit einem Motorrad – wer also bisher einen Roller nutzte, muss sich grundsätzlich kaum umstellen. Hingegen muss bei der Nutzung eines E-Scooters in Bezug auf das Laden eine Verhaltensänderung

eingeübt werden, dies infolge der beschränkten Reichweite (40-100 km) von E-Scooters und der noch geringen Dichte von Ladestationen.

Untersuchungen zeigen, dass in Bezug auf die Charakterisierung der Nutzerinnovatoren sowohl die E-Bike- als auch die E-Scooter-Innovatoren Personen mit einem hohen Umweltbewusstsein, überdurchschnittlicher Bildung und überdurchschnittlichem Einkommen sind (vgl. Bader et al. 2005, Hofmann 2012b). Die Verkaufszahlen von E-Bikes in der Schweiz deuten jedoch darauf hin, dass die heutigen E-Bike-Käufer bereits der Adoptergruppe ‚Frühe Mehrheit' (gemäss Rogers 2003) zuzuordnen sind, d.h. dass die Diffusion von E-Bikes wesentlich weiter vorangeschritten ist als von E-Scooters.

Zusammenfassung Kapitel 3.3

Um die nationalen Rahmenbedingungen in der Schweiz zu analysieren, wurde eine vergleichende historische Nischenanalyse der beiden Innovationen E-Bikes und E-Scooters durchgeführt. Dabei wurde das begriffliche Instrumentarium des ‚Technologischen Innovationssystem'-Ansatzes verwendet. Es konnte gezeigt werden, dass jenseits des geschützten Raumes (v.a. LEM-Grossversuch), welcher beide Nischeninnovationen anfänglich vor hemmendem Umfeld-Druck abschirmte, das Wechselspiel zwischen Produkt-, Nischen- und Umfeldeigenschaften entscheidend war für die unterschiedlichen Pfade der beiden Innovationen. Für die weitere Diffusion von E-Scooters ist es wichtig, die beiden TIS-Funktionen ‚Schaffung von Legitimität' und ‚strategische Lenkung und Orientierung' gezielt zu stärken.

Auch die diffusionstheoretische Betrachtung nach Rogers (2003) kann die unterschiedlichen Verbreitungspotenziale von E-Bikes und E-Scooters begründen: Die Charakteristika Wahrnehmbarkeit, Erprobbarkeit und relativer Vorteil sind bei E-Bikes ausgeprägter als bei E-Scooters. Auf den Schweizer Strassen sieht man heute viele E-Bikes, und man kann sie in fast jedem Fahrradgeschäft kaufen und kostenlos testen. Gemäss Aussagen von Nutzern liegt der persönliche (relative) Vorteil von E-Bikes gegenüber Fahrrädern vor allem in der Tretunterstützung, welche grössere Geschwindigkeiten ermöglicht. E-Scooters hingegen werden in der Schweiz zurzeit von sehr wenigen (Motorrad- oder Velo-) Händlern angeboten, und sie werden auf den Strassen kaum wahrgenommen (mit Ausnahme der Post-E-Scooter). Für Nutzer von E-Scooters ist die Umweltfreundlichkeit (z.B. der reduzierte CO_2-Ausstoss) der wichtigste Vorteil gegenüber dem Motorrad (Hofmann 2012b). Grundsätzlich ist das E-Scooter-Fahren kompatibel mit dem Motorradfahren.

3.4 Händler als wichtigste Akteure

In diesem Kapitel werden die Händler als wichtige Akteure im Diffusionsprozess von E-Scooters beschrieben. Die Händler stehen im direkten Kontakt mit den Kunden, und es kann angenommen werden, dass sie einen Einfluss auf das Kaufverhalten ihrer Kunden haben. Das vorliegende Kapitel befasst sich daher mit dieser Akteursgruppe und untersucht die Gründe, weshalb Händler E-Scooters im Sortiment führen oder nicht. Im ersten Teil des Kapitels (3.4.1) werden die Ergebnisse der Befragung von Händlern vorgestellt, die E-Scooters anbieten, und im zweiten Teil (3.4.2) präsentieren wir die Resultate der Befragung von Motorrad-Händlern, die keine E-Scooters verkaufen. Ziel der beiden Untersuchungen ist, die Bedürfnisse dieser Akteure zu analysieren, um Hindernisse und Chancen für die Diffusion von E-Scooters aufzuzeigen.

3.4.1 Ergebnisse der E-Scooter-Händler-Befragung

2010 wurde eine Befragung von 20 Händlern aus der Deutschschweiz durchgeführt, die E-Scooter verkaufen (vgl. Leissing et al. 2010). Der Fokus dieser Untersuchung lag auf den drei absatzfördern-

den Kommunikationsinstrumenten Werbung[1], Verkaufsförderung[2] und persönlicher Verkauf[3] (vgl. Kotler et al. 1999: 926). Konkret ging es um die Beantwortung der Frage, wie sich die absatzfördernde Kommunikation, welche von den Händlern für den Verkauf von E-Scooters angewendet wird, gestaltet.

3.4.1.1 Werbung

In etwa zwei Drittel der Geschäfte sind E-Scooters ausgestellt und gut bis mittelmässig gut sichtbar, in drei Fällen sind E-Scooters zwar vorhanden, aber versteckt platziert. Dies bedeutet, dass ein potentieller Kunde nicht unbedingt von sich aus auf den ausgestellten E-Scooter aufmerksam wird, da dieser bspw. im hinteren Teil des Geschäfts steht und von anderen Modellen verdeckt wird. In fünf Fällen sind keine E-Scooters im Laden ausgestellt (s. Abbildung 16).

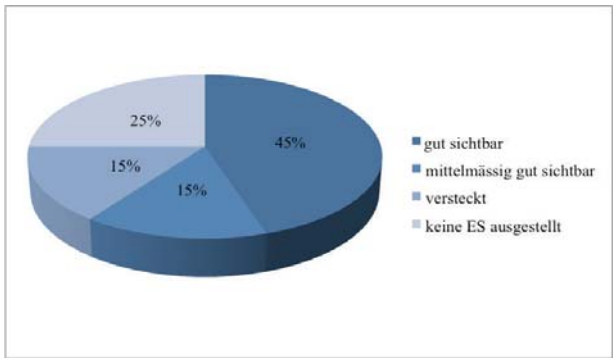


Abbildung 16: Standort des E-Scooters im Geschäft (vgl. Leissing et al. 2010).

Das Werbematerial zu E-Scooters (wie Plakate oder Broschüren) ist mehrheitlich schlecht bis nicht sichtbar aufgelegt. Nur in sechs Geschäften ist das Material gut bis sehr gut sichtbar (s. Abbildung 17).

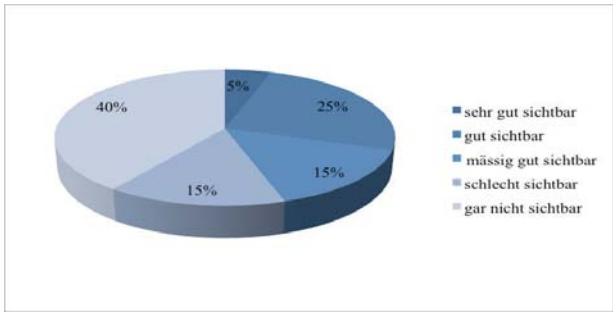


Abbildung 17: Sichtbarkeit des Werbematerials im Laden (vgl. Leissing et al. 2010).

17 von 20 Geschäften verfügen über einen Internetauftritt. Die Mehrheit dieser Geschäfte nutzt den Internetauftritt nicht oder nur schlecht, um auf das Angebot von E-Scooters aufmerksam zu machen (9 von 17, s. Abbildung 18). Auf sechs Internetauftritten ist das E-Scooter-Angebot gut bis sehr gut ersichtlich.

[1] Kottler et al. (1999:709) definieren Werbung „als jede bezahlte Form nichtpersönlicher Präsentation und Förderung von Ideen, Gütern oder Dienstleistungen in Massenmedien wie Zeitungen, Zeitschriften, Fernsehen oder Hörfunk durch einen identifizierbaren Werbetreibenden“.

[2] „Während die Werbung die Basis für positive Kaufentscheide gelegt hat, nutzt die Verkaufsförderung diese Basis, um durch spezifische Anreize den Kauf zu veranlassen (Kühn et al. 2006: 247). Die Möglichkeiten der Verkaufsförderung bestehen hauptsächlich in Zusatzangeboten, Rabatten und Gewinnspielen.

[3] Der persönliche Verkauf wird als „die Gesamtheit direkter oder indirekter persönlicher Kontakte“ definiert (Kühn et al. 2006: 287).

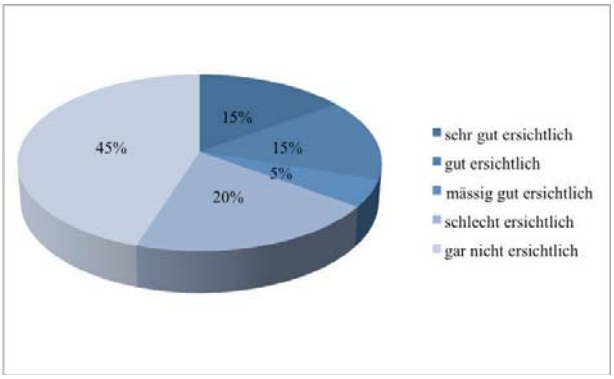


Abbildung 18: Sichtbarkeit des E-Scooter-Angebots im Internetauftritt (vgl. Leissing et al. 2010).

Fazit: Gemäss der Theorie (vgl. Kottler et al. 1999) sollte die Werbung Aufmerksamkeit erregen, Interesse wecken und Bedürfnisse erzeugen. Dies bedeutet für die E-Scooter-Händler, dass sie ihre Produkte anschaulich im Geschäft platzieren und durch zusätzliche Massnahmen darauf aufmerksam machen sollten. Die Ergebnisse der Befragung deuten jedoch darauf hin, dass die Händler die Anforderungen an die Werbung als wichtiges Instrument für die absatzfördernde Kommunikation nur teilweise erfüllen. Das Verbesserungspotential ist beim Instrument ‚Werbung' hoch und kann mit wenig Aufwand verbessert werden.

3.4.1.2 Verkaufsförderung

Eine knappe Mehrheit der Händler (N=11) geben Kunden keine Rabatte auf den Kauf eines E-Scooters. Als Hauptgrund wird die tiefe Gewinnmarge angegeben. Von den neun Händlern, die Rabatte gewähren, bieten einige Preisnachlässe auf Zubehör an; zwei Händler geben Gratis-Testfahrten als Rabatt an und einer würde den Kaufpreis reduzieren, wenn mehrere Fahrzeuge bestellt würden. Nur drei Händler geben an, einen Rabatt auf den E-Scooter-Listenpreis zu gewähren.

18 Händler bieten gratis Probefahrten an. Bei einem Händler ist die Probefahrt kostenpflichtig, die Kosten werden aber bei einem allfälligen Kauf angerechnet. Von den beiden Händlern, welche keine Probefahrten anbieten, kann einer bei Bedarf eine Probefahrt durch den Importeur organisieren.

Nur gerade ein Händler hat Kenntnis der Art und Höhe der Subventionen, die verschiedene Schweizer Städte beim E-Scooter-Kauf gewähren (s. Kap. 5.1.1) . Allen anderen Händlern sind die finanziellen Anreize unbekannt.

Fazit: Fast alle Händler (18 von 20) bieten Probefahrten mit E-Scooters an, aber nur eine Minderheit gibt Rabatte oder weiss über Subventionen/finanzielle Anreize Bescheid. Das Potenzial für weitere aktive Verkaufsförderungsmassnahmen ist daher gross und noch nicht ausgeschöpft.

3.4.1.3 Persönlicher Verkauf

Die meisten Händler verfügen über ein klares Bild, welches aus ihrer Sicht potentielle Kunden für E-Scooters sind. Am häufigsten wurden Personen mit kurzem Arbeitsweg und umweltbewusste Menschen genannt (s. Tabelle 7).

	Anzahl Nennungen
Personen mit kurzem Arbeitsweg	9
Umweltbewusste Personen	8
Ältere, reiche Leute	2
Hausfrauen	2
Weitere Nennungen (z.B. Technikfreaks, gut ausgebildete Personen, Stadtbewohner, Pendler)	6

Tabelle 7: Potentielle E-Scooter-Käufer aus Sicht der Händler (Mehrfachnennungen, freie Nennungen).

8 von 20 Händlern bereiten sich aktiv auf ein E-Scooter-bezogenes Verkaufsgespräch vor. Diese Händler tun dies mehrheitlich, indem sie sich über das Produkt informieren, sich Wissen aneignen und sich Argumente zurechtlegen.

Auf die Frage nach den Vor- und Nachteilen von E-Scooters wurden folgende Argumente aufgeführt: Als Vorteile werden an erster Stelle die Einsparung von Energiekosten und die Umweltfreundlichkeit, gefolgt von der Geräuschlosigkeit genannt (s. Tabelle 8).

	Anzahl Nennungen
Tiefe Energiekosten	11
Umweltfreundlich	11
Geräuschlos	10
Tiefe Unterhaltskosten	8
Wartungsfreundlich	7
Weiteres	11

Tabelle 8: Vorteile der E-Scooter aus Sicht der Händler (Mehrfachnennungen).

Mehr Argumente wurden auf der Seite der Nachteile genannt (s. Tabelle 9). An prominentester Stelle stehen die hohen Anschaffungskosten (14 Nennungen) und die geringe Reichweite (13 Nennungen). Viele Nachteile werden in Zusammenhang mit der Batterie gesehen (beispielsweise Gewicht, Lebensdauer, Preis, Entsorgung, häufige Ladezyklen), sowie in Bezug auf den Ladevorgang (Dauer, Mangel an Stationen).

	Anzahl Nennungen
Hohe Anschaffungskosten	14
Geringe Reichweite	13
Batterie (Gewicht, Preis, Entsorgung, etc.)	6
Ladevorgang (Dauer, Mangel an Stationen)	6
Fahrzeuggewicht	4
Eingeschränkte Nutzung (wegen Reichweite)	3
Unfallgefahr wegen Geräuschlosigkeit	2
Geschwindigkeit	2
Weitere	2

Tabelle 9: Nachteile der E-Scooter aus Sicht der Händler (Mehrfachnennungen).

Die Motivation der Händler, E-Scooter zu verkaufen, ist sehr unterschiedlich (s. Abbildung 19). Auf einer Skala von 1-10 stufen die Händler ihre Motivation im Durchschnitt bei 5.35 ein.

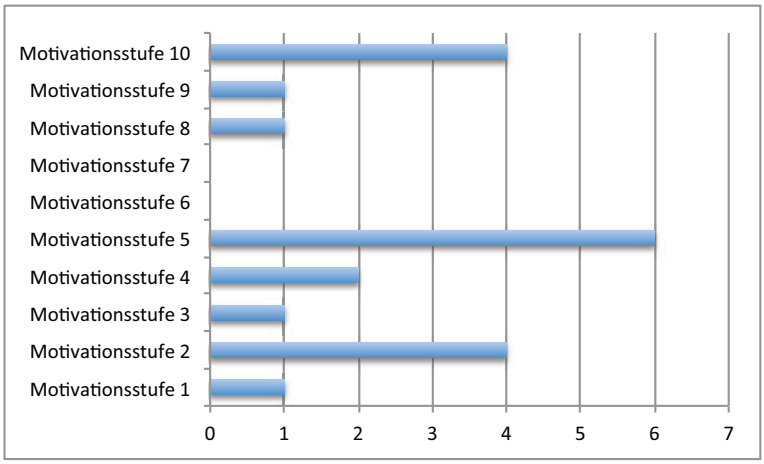


Abbildung 19: Motivationsstufen für den Verkauf von E-Scooters.

Die Händler lassen sich in Bezug auf ihre Motivation in zwei Gruppen einteilen: zum einen in die Gruppe der ‚Hochmotivierten' (N=6) mit einer Motivation zwischen acht und zehn Punkten, und zum anderen in die Gruppe der ‚mittelmässig bis schwach Motivierten' (N=14) mit Werten zwischen eins und fünf. Die mittelmässig und schwach Motivierten sehen den Grund für ihre tiefe Motivation hauptsächlich in Problemen in Bezug auf das Produkt. Sie sind von den E-Scooters nicht überzeugt und wollen keine schlechte Ware verkaufen. Dazu kommen Gründe wie die zu tiefe Gewinnmarge oder die emotionale Bindung an Benzin-Roller. Für die Gruppe der Hochmotivierten steht der Zukunftsgedanke im Vordergrund. Sie sind überzeugt davon, dass E-Scooters in Zukunft ein wichtiges Verkehrsmittel werden. Auch der Umweltschutz motiviert diese Händler. Je länger die Händler im E-Scooter-Geschäft tätig sind, desto höher schätzen diese ihre Motivation für den E-Scooter-Verkauf ein: Händler, die seit 1995 E-Scooter im Angebot führen, stufen ihre Motivation höher ein (Durchschnittswert: 6.6) als Händler, die erst seit 2008 E-Scooters verkaufen (Durchschnittswert: 5.0).

Fazit: Beim persönlichen Verkauf spielt die Kommunikation eine zentrale Rolle (Göldi 2005:74). Die Untersuchung hat gezeigt, dass die Händler die Anforderungen an den persönlichen Verkauf nur zum Teil erfüllen. Auch hier liegt ein grosses Verbesserungspotential. Vor allem bei der Bestimmung der Kriterien für potentielle Käufer sowie in der Präsentation und Vorführung weist das Verhalten der Händler gewisse Differenzen zum idealen Verhalten in der Theorie auf. Die Händler haben ein relativ klares Bild vom potentiellen Käufer: Personen mit kurzen Arbeitswegen und umweltbewusste Menschen. Auch hat die Hälfte der Händler bereits aktiv nach potentiellen E-Scooter-Kunden gesucht, indem sie beispielweise an Messen, Ausstellungen oder Events von Gemeinden teilgenommen haben. Um Kunden den Nutzen des Produkts aufzeigen zu können, müssen die Händler auf Fragen kompetent eingehen können. Durchschnittlich stufen die Händler ihr Wissen über E-Scooters auf einer Skala von 1-10 bei 5.7 ein. Dieser Wert zeigt, dass eine Wissens-Lücke existiert und diese von verschiedenen Akteuren (Herstellern, Importeuren oder NewRide) geschlossen werden muss, um die Diffusion von E-Scooters zu beschleunigen

3.4.2 Ergebnisse der Motorrad-Händler-Befragung

2011 wurden Händler, die benzinbetriebene Motorräder und/oder Roller verkaufen, zu ihrer Einschätzung von E-Scooters befragt. Es wurden ausschliesslich Händler befragt, die *keine* E-Scooters im Sortiment führen. Insgesamt wurden 102 Motorrad-Händler (vgl. auch Kap. 2; Hofmann 2012b) zu folgenden Themen befragt: Markenbindung, Gründe für/gegen den E-Scooter-Verkauf, Produkteinschätzung, Weiterbildung, Interesse und Wissen über E-Scooters, mögliche Marken für Sortimentsaufnahme.

3.4.2.1 Markenbindung

Drei Viertel der Händler geben an, dass sie mit ihren Importeuren in einer Markenbindung stehen. D.h. diese Fachhändler verpflichten sich, im eigenen Namen und auf eigene Rechnung Motorräder und/oder Motorroller eines oder mehrerer Hersteller bzw. Lieferanten zu vertreiben. Ein Viertel der Händler ist in keiner Markenbindung; dies sind meist Händler, die sich vor allem auf den Occasions-Markt spezialisiert haben.

85 der 102 befragten Händler (83%) geben an, dass sie grundsätzlich E-Scooters im Sortiment aufnehmen könnten. Die anderen Händler (N=17) bestätigen, dass sie grundsätzlich *keine* E-Scooters im Sortiment aufnehmen können, da sie mit ihrem/ihren Importeur/en in einer Markenbindung stehen.

3.4.2.2 Gründe gegen den E-Scooter-Verkauf

Diejenigen Händler, die E-Scooters verkaufen könnten, dies aber nicht tun (N=85), geben vor allem folgende Gründe an:

- ungenügende Qualität der Fahrzeuge (27 Nennungen)

- mangelnde Nachfrage (21 Nennungen)
- die Überzeugung und Hoffnung, dass ihr Motorradanbieter (Importeur von Hausmarke) einen E-Scooter lanciert und sie diesen sodann im Sortiment aufnehmen können (16 Nennungen)
- ungünstige Topografie für E-Scooters, da die Region gebirgig und/oder ländlich ist (15 Nennungen).

3.4.2.3 Produkteinschätzung (Vor- und Nachteile)

Die Zweiradhändler wurden weiter gefragt, welche Vorteile aus ihrer Sicht die E-Scooters haben. Folgende Faktoren wurden genannt (s. Abbildung 20):

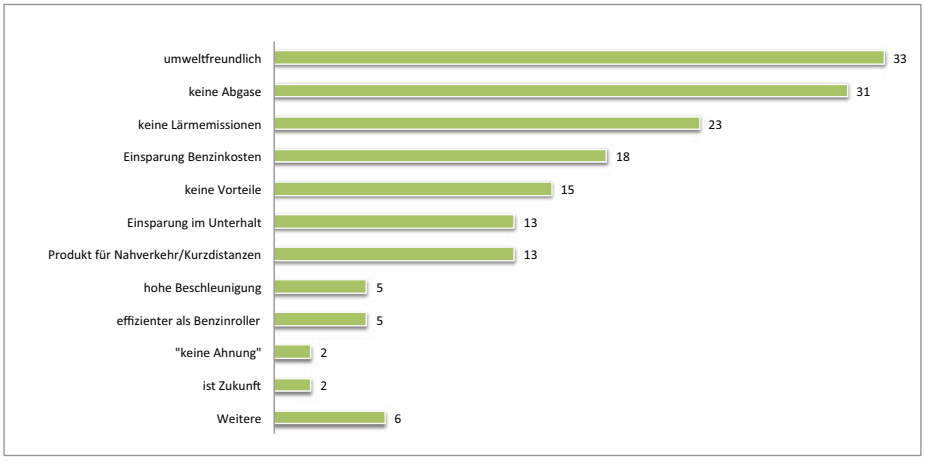


Abbildung 20: Vorteile eines E-Scooters aus Sicht der Motorradhändler (N=166, offene Frage, Mehrfachnennungen).

Als wichtigste Vorteile von E-Scooters wurden die Umweltfreundlichkeit (33 Nennungen), keine Abgase (31 Nennungen), keine Lärmemissionen (23 Nennungen) und Einsparungen bei den Benzinkosten (18 Nennungen) angeben. Viele Händler sind der Meinung, dass der Unterhalt bei einem E-Scooter günstiger ist als beim Benzin-Roller und daher Kosteneinsparungen möglich sind (13 Nennungen). Der E-Scooter wird von den Händlern auch als geeignetes städtisches Fahrzeug für Kurzdistanzen im Nahverkehr bezeichnet (je 13 Nennungen). Unter den weiteren Nennungen (N=6) sind folgende Aussagen zusammengefasst: einfache Abstellmöglichkeiten, praktisch keine Startschwierigkeiten, niedriges Gewicht, Benzin/Öl wird von Kunden negativer bewertet als Strom, sicherer, positives Reibungsverhalten.

Als Nachteile wurden an erster Stelle Probleme rund um die Batterie aufgeführt (67 Nennungen), gefolgt von den hohen Kosten (48 Nennungen) und der Reichweite (47 Nennungen).

Zur Frage, was es brauche, damit die Motorrad- und/oder Roller-Händler E-Scooters im Sortiment aufnehmen würden, nannten die 102 Fachpersonen vor allem folgende zwei Gründe (Abbildung 21):

- verbesserte Reichweite (28 Nennungen)
- tiefere Fahrzeugs- und/oder Batterie-Preise (28 Nennungen)

Auffallend ist, dass die Motorrad-Händler eine starke Bindung zu ihren heutigen Importeuren haben und auf die Lancierung eines E-Scooters durch ihre Anbietern warten (s. Abbildung 21: Hausmarke bringt E-Scooter auf den Markt; 14 Nennungen).

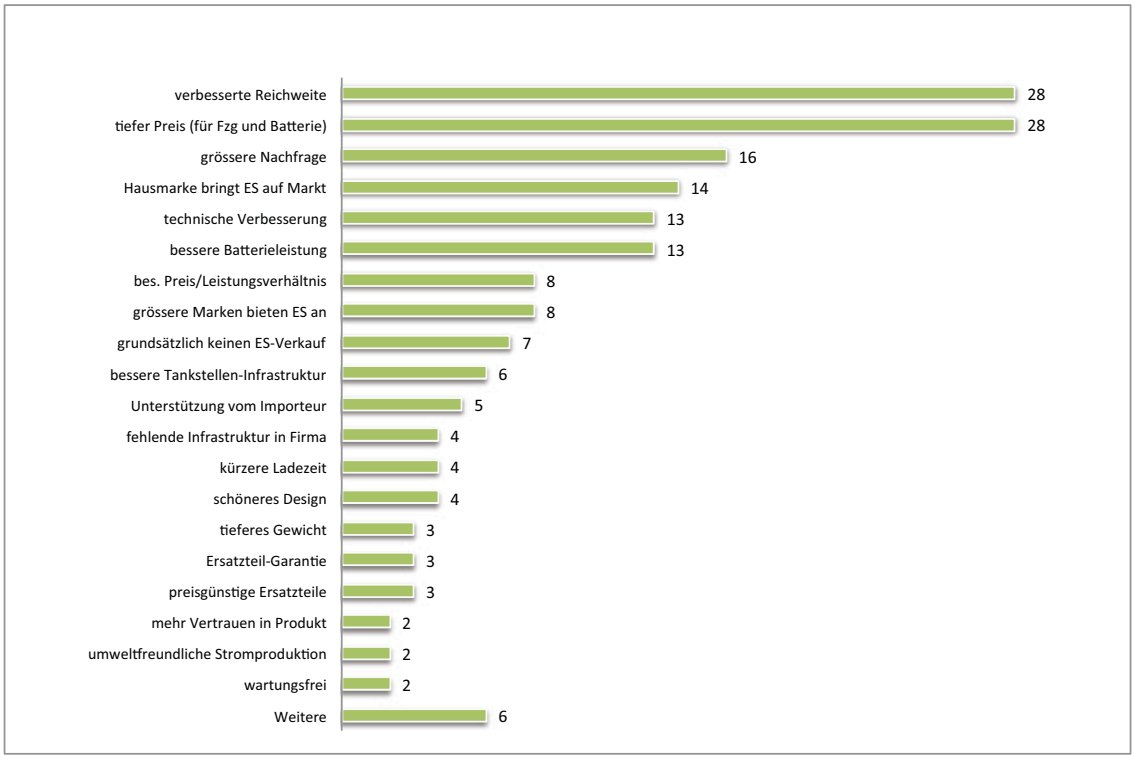


Abbildung 21: Bedingungen, um E-Scooters im Sortiment aufzunehmen (N=179).

3.4.2.4 Weiterbildung

Die Motorrad-Händler wurden gefragt, ob sie einen Weiterbildungskurs / eine Schulung / einen eintägigen Kurs für den Verkauf von E-Scooters besuchen würden. Die Hälfte der Befragten bejaht die Frage und würde an einem Kurs teilnehmen. Die andere Hälfte ist momentan nicht an Weiterbildungskursen interessiert.

3.4.2.5 Interesse an und Wissen über E-Scooters

Im letzten Teil der Befragung wurde das Interesse und das Know-how der Händler zum Thema E-Scooter erforscht: Interessieren sich die Motorradhändler für E-Scooters? Ist es ein Thema in ihrem Fachkreis? Beobachten sie diesen Markt und seine Entwicklung? Auf die Frage: ‚Welche Elektro-Scooter Marken kennen Sie?' wurde wie folgt geantwortet: 43 Händler (42%) geben an, dass sie keine E-Scooter-Marke kennen und 59 Händler (58%) nennen mindestens eine Marke. Am häufigsten wurden die Marken PGO, Peugeot und Oxygen/Postroller genannt.

Die Händler wurden zudem gefragt, über welche E-Scooter-Marken sie gute und fundierte Kenntnisse haben. 74% der Probanden gaben an, keine fundierten und sicheren Kenntnisse einer E-Scooter Marke zu haben. 22 Personen (26%) sind der Ansicht, gute Kenntnisse über folgende Marken zu haben:

- IO-Scooter, Oxygen (je 4 Nennungen)
- Kyburz, Vespino, Vetrix (je 3 Nennungen)
- PGO, Peugeot (je 2 Nennungen).

Weiter wurden folgende Marken aufgeführt (je eine Nennung): Scootie, Yamaha Funy, Tisong, e-rider, Post-Roller.

3.4.2.6 Mögliche Marken für eine Sortimentsaufnahme

35% der Interviewten sind überzeugt, dass sie zum heutigen Zeitpunkt keine E-Scooters in ihrem Sortiment aufnehmen werden. 32% der Händler würden jedoch E-Scooters ihrer Hausmarke verkaufen,

und 18% gaben konkrete E-Scooter-Marken an, die sie verkaufen würden: Peugeot (4 Nennungen), Piaggo (3 Nennungen), IO-Scooter, Yamaha-Eco, Oxygen (je 2 Nennungen). 15% der Händler haben ‚keine Ahnung', welche Elektroroller-Marken sie ihrer Kundschaft anbieten würden.

Fazit:

- Obwohl drei Viertel der Händler in einer Markenbindung stehen, könnten über 80% der Befragten grundsätzlich E-Scooters im Sortiment aufnehmen und verkaufen. Dies zeigt, dass eine eingegangene Markenbindung nicht gleichzusetzen ist mit einem Verkaufsverbot von weiteren Marken (sog. Exklusivverträge).
- Gute und langjährige Erfahrungen in der Zusammenarbeit mit den Importeuren sind für die befragten Motorradhändler eine wichtige Voraussetzungen für die Aufnahme neuer Marken. Beim Verkauf von langfristigen Gütern – wie Motorrädern – sind die Händler auf den guten und zuverlässigen Service ihrer Importeure angewiesen, wie z.B. die Garantie für Ersatzteillieferungen. Der Grossteil der heutigen E-Scooter-Anbieter verfügt über keine langjährigen Erfahrungen in der Motorradbranche. Die Skepsis der Händler gegenüber E-Scooters kann unter anderem auch mit diesen fehlenden Erfahrungen erklärt werden.
- E-Scooters werden zurzeit von den befragten Händlern aus zwei Gründen nicht im Sortiment aufgenommen: 1) die Händler sind von den Fahrzeugen und ihrem Entwicklungsstand nicht überzeugt. Sie werden als ‚noch-nicht-fertig-entwickelte' Produkte mit zahlreichen Mängeln – wie beispielsweise ungenügender Reichweite oder zu hohen Anschaffungskosten – eingestuft. 2) Die Händler vertrauen vor allem dem Motorrad-Know-how ihrer Importeure und warten auf die Lancierung eines E-Scooters durch diese Anbieter. Die Motorrad-Händler haben in die heutigen E-Scooter-Firmen kein Vertrauen und bieten dementsprechend auch die Produkte nicht an. Aus Sicht dieser Händler sind die E-Scooters zurzeit noch nicht marktfähig. Vor allem die Händler von Yamaha, Aprilia und BMW warten auf Produkte ihrer Lieferanten.
- Das Interesse und Know-how zu E-Scooters ist bei den befragten Motorradhändlern klein: 42% der Händler kennen keine E-Scooter-Marke, und 74% der Interviewten geben an, über keine fundierten E-Scooter-Kenntnisse zu verfügen. Die Händler sind nur ungenügend informiert und haben zu wenig Fachwissen. Nur die Hälfte der Befragten ist bereit, ihr Wissen und ihre Kompetenzen im Rahmen von Weiterbildungskursen zu erhöhen. Es kann angenommen werden, dass viele Händler ihr Wissen zu E-Scooters vertiefen, sobald a) ihre Hausmarke ein E-Scooter-Modell auf dem Markt lanciert und b) diese Lieferanten eigene Weiterbildungskurse anbieten.
- Die Hälfte der Motorradhändler wird in naher Zukunft keine E-Scooter im Sortiment aufnehmen oder hat keine Ahnung, welche Marken sie vertreten würde. Die andere Hälfte würde E-Scooter der Hausmarke oder einer selbst gewählten Marke verkaufen.

Zusammenfassung Kapitel 3.4

Die heutigen E-Scooter-Händler erfüllen die Anforderungen an die absatzfördernde Kommunikation wie Werbung, Verkaufsförderung und persönlichen Verkauf nur teilweise. Hier liegt ein hohes Verbesserungspotential vor: Die prominente Platzierung eines E-Scooters im Verkaufslokal inklusiv das Auflegen von Werbematerial und Informationsbroschüren könnten die Kommunikationsaktivitäten bereits verstärken. Sowohl die befragten E-Scooter-Händler (N=20) als auch die untersuchten Motorradhändler (N=102) stufen als wichtigste Nachteile bzw. Problemfelder der E-Scooters die hohen Anschaffungskosten, die Batterie und die geringe Reichweite ein. Das Interesse, Know-how und die Bereitschaft für den Besuch von Weiterbildungskursen zu E-Scooters ist insgesamt bei allen Akteuren sehr klein. Das Vertrauen in die Technik sowie in die Importeure von E-Scooters ist zurzeit nicht vorhanden und alle befragten Händler fordern eine technologische Weiterentwicklung des Produkts.

4. Technologie

4.1 Zuverlässigkeit

4.1.1 Auswertung der E-Scooter Tagebücher

Die vom Projekt erfasste E-Scooter-Flotte wuchs langsam und erbrachte daher (noch) keine statistisch belastbaren Zahlen bezüglich Zuverlässigkeit, Lebensdauer und Kosten. Trotzdem konnte eine qualitative Übersicht der am häufigsten aufgetretenen Störungen/Defekte aus den Rückmeldungen in den E-Scooter Tagebüchern erstellt werden.

25 der 56 Teilnehmer machten insgesamt 94 Einträge zu Ereignissen, davon schränkten 68 nach ihrem Empfinden die Betriebsfähigkeit des E-Scooters ein. Die anderen bezogen sich auf Mehrfachnennungen derselben Ursache (14 Einträge, z.B. Testreihen bei Ladeproblemen), Ausbauten des Fahrzeugs (5 Einträge, z. B. Montage einer Windschutzscheibe) oder Unfälle (3 Einträge, wovon einer mit einer Verletzung), die restlichen sind Bussen o.ä. (4 Einträge).

Von allen berichteten Ereignisse waren 17 mit Kosten verbunden (insgesamt 4'999 CHF), wobei die Hälfte dieser Kosten zwei Ereignissen zuzuordnen ist: 1'765 CHF für den Ersatz eines Ladegeräts/Reglers und 800 CHF für die Reparatur einer Sachbeschädigung durch Vandalen in einer Tiefgarage. 21 Ereignisse führten zu Ausfallstagen (insgesamt 192.2, 9.2 Tage/Ereignis), und für zwei weitere Ereignisse wurden 195 resp. 92 Ausfallstage angegeben, wobei sich herausstellte, dass die Ausfälle deshalb so lange dauerten, weil sie zeitgleich mit der Wintereinstellzeit waren. Abbildung 22 zeigt, wie häufig verschiedene Ausfallsdauern infolge von Reparaturen vorkamen. Die meisten Ausfälle dauerten weniger als einen Tag, fast ebenso häufig jedoch eine Arbeitswoche. Einige Ausfälle dauerten einen halben oder gar einen ganzen Monat. Diejenigen, welche noch länger dauerten, waren unfall- oder saison-/witterungsbedingt.

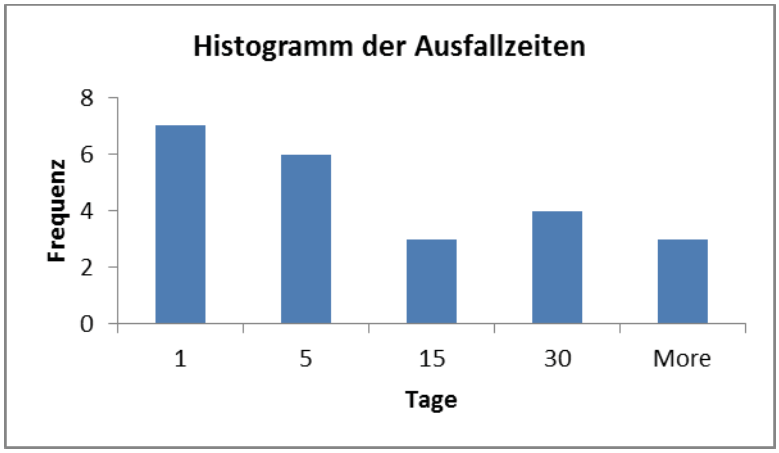


Abbildung 22: Häufigkeit verschieden langer Ausfallzeiten durch Reparaturen.

Aus allen 94 Ereignissen wurden insgesamt 57 Schäden identifiziert, welche eine Reparatur benötigten. Diese stellen sich wie folgt dar:

- Elektrische Probleme wurden am häufigsten genannt (23 Fälle). Sie sind ähnlich geartet wie bei Benzin-Rollern/Motorrädern. Dabei handelt es sich um Kabelbrüche, lose Steckverbindungen (z.B. Rücklicht), fehlerhafte Instrumentenanzeigen (z.B. Akku-Ladezustandsanzeige, Tachoanzeige/km-Zähler) oder defekte Bedienelemente (z.B. Anlasser-Schlüsselschalter).
- Batterie-Probleme wurden in 19 Fällen genannt, wobei für den Nutzer meist nicht feststellbar ist, welche Komponente tatsächlich am Ausfall schuld war. Bei der Feststellung ‚Batterie seit kurzem rasch leer/zu geringe Reichweite' war die Ursache tatsächlich auf eine defekte Bat-

teriezelle zurückzuführen; bei ‚Batterie lädt nicht' war der Grund ein defektes Ladegerät, und die Ursache für ‚Batterie entlädt sich selbst' war bedingt durch ein defektes Batteriemanagementsystem.
- Mechanische Probleme wurden in 14 Fällen genannt und sind ähnlich geartet wie bei Benzin-Rollern/Motorrädern, z.B. übliche Ausfälle von Komponenten (defekte Bremszylinder, gerissene Keilriemen, platte Reifen). Aber es gab auch Fälle, die auf falsche Auslegung/ungenügende Tests hindeuten, z.B. eine für das Fahrzeuggewicht ungenügende Festigkeit und dadurch verbogene Ständer.
- In einem Fall wurde der Motorregler ausgetauscht, wobei sich nachträglich das Ladegerät als fehlerhaft erwies.

Interessant ist auch, welche Vorkommnisse nicht erwähnt wurden, d.h. welche Komponenten zuverlässig arbeiten:

- Die Elektromotoren scheinen nie Ursache eines Ausfalls gewesen zu sein und arbeiteten zuverlässig – offensichtlich eine ausgereifte und robuste Technologie für diese Anwendung.
- Die Motorenregler, d.h. die Wechselrichter mit der Leistungselektronik werden nie explizit als Fehlerquelle erwähnt. Hier ist allerdings etwas Vorsicht am Platz, da im Falle eines Antriebsausfalls die ursächlich defekte Komponente vom Nutzer kaum identifiziert werden kann.
- Niemand meldete Schwierigkeiten, Beschädigungen oder gar Unfälle im Umgang mit elektrischen Komponenten (Stromschläge, Kurzschlüsse, Durchschläge z.B. wegen Wasser, Abnützung oder daraus entstehende Überhitzungen/Brände).

4.1.2 Exkurs: Anschaffungs- und Betriebskosten

Die Daten aus den E-Scooter-Tagebüchern haben es nicht erlaubt, systematische Aussagen zu den Anschaffungs- und Betriebskosten von E-Scooters zu machen. Aus einem NewRide-Projekt liegen jedoch erste aktuelle Daten vor, die den Vergleich der Gesamtkosten von Benzin- und E-Rollern ermöglichen. Die Daten sind bei einem NewRide Händler (Pfiffner AG, St. Gallen) erhoben worden, je für vier E-Roller und für vier Benzin-Roller. Die Gesamtkosten setzen sich zusammen aus:

- alle laufenden Betriebskosten: v.a. bestimmt vom Energiebedarf und vom Verschleiss
- Abschreibungskosten: v.a. bestimmt vom Anschaffungspreis und von der Lebensdauer

Eine erste Datensichtung (Tschopp 2013) zeigt, dass bereits heute E-Roller auf unseren Strassen fahren, die in der Gesamtkostenrechnung so gut wie Benzin-Roller oder gar besser abschneiden. Die Gesamtkosten der vier von der Velo Pfiffner AG untersuchten konkreten E-Roller-Praxisfälle betragen im Schnitt 40 Rp./km, jene der vier zum Vergleich untersuchten Benzin-Roller 46 Rp./km. Den höheren Kaufpreis machen die E-Roller vor allem durch tiefere Treibstoff- und Servicekosten wett (s. Abbildung 23). Abschliessende Aussagen sind aufgrund dieses Vergleichs allerdings nur bedingt möglich, da die Fahrzeuge nicht über ihre ganze Lebensdauer betrachtet werden konnten und die untersuchten E-Roller deutlich tiefere Tachostände aufweisen als die Benzin-Roller.

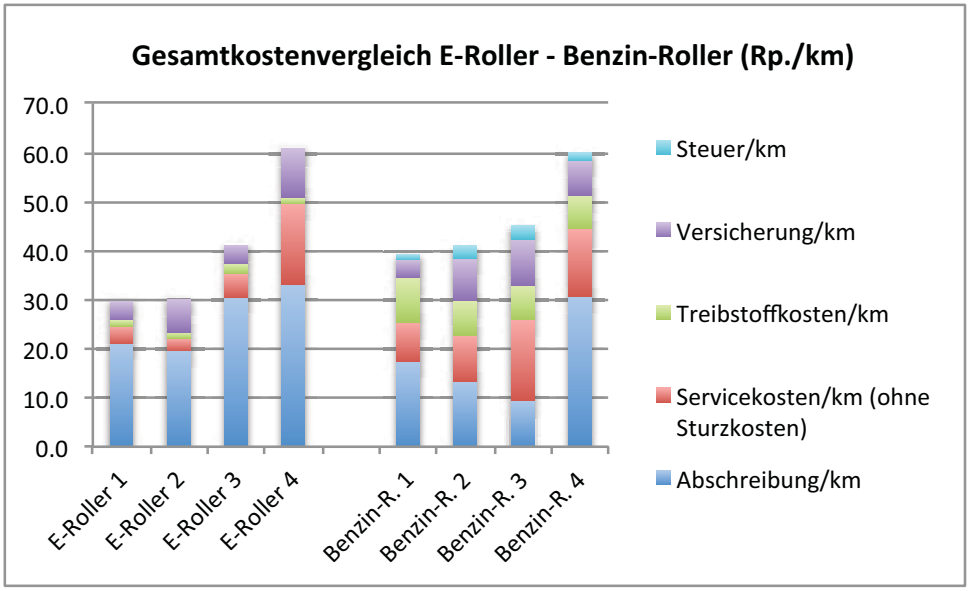


Abbildung 23: Kostenvergleich der TCO (Total Cost of Ownership) aus einer Untersuchung beim Benzin- und E-Roller-Händler Pfiffner AG.

Um diese Mängel zu berücksichtigen, wurden für verschiedene Einsatzzwecke, differenziert nach Kilometerleistung und Maximalgeschwindigkeit, am Markt erhältliche E-Roller ausgewählt und in Beispielrechnungen über die gesamte Lebensdauer miteinander verglichen. Diese Modellberechnungen ermöglichen etwas differenziertere Schlussfolgerungen. Es zeigt sich, dass auch über die gesamte Lebensdauer und bei sehr hohen Kaufpreis-Unterschieden die E-Roller unter Umständen kostengünstiger sind als Benzin-Roller. Werden die von der Velo Pfiffner AG ermittelten Servicekosten verwendet (E-Roller 7 Rp./km, Benzin-Roller 12 Rp./km), dann schneiden in der Berechnung für die Stadt Bern (unter Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten: Subventionen, Motorfahrzeugsteuern, Stromtarife) die E-Roller in den berechneten Beispielen im Schnitt um 13% günstiger ab als die Benzin-Roller (E-Roller 33 Rp./km, Benzin-Roller 37 Rp./km).

Auch wenn angenommen wird, dass sich E-Roller und Benzin-Roller hinsichtlich Servicekosten nicht unterscheiden, kosten die E-Roller im Schnitt lediglich 2% mehr als die Benzin-Roller (E-Roller 38 Rp./km, Benzin-Roller 37 Rp./km).

Diese Angaben sind als Hinweise und Tendenzen zu verstehen und noch nicht als abschliessende Aussagen. Sie beruhen auf kleinen Stichproben und teilweise unsicheren Annahmen. Insbesondere die Servicekosten bedürfen einer näheren Untersuchung, sowohl bei den E-Rollern als auch bei den Benzin-Rollern. Auch die Annahmen zur Lebensdauer sind aufgrund der Unsicherheiten der tatsächlichen Akku-Alterung noch mit Vorsicht zu geniessen. Für schlüssigere Aussagen sind weitere Datenerhebungen und Analysen notwendig.

4.1.3 Lithiumbatterien

Die Auswertung der E-Scooter Tagebücher zeigt, dass Batterieprobleme im Vergleich zu anderen Defekten häufig sind, immerhin wurden 17 Ereignisse über eine Gesamtfahrdistanz von ca. 53'000 km gemeldet. Keiner der Teilnehmer berichtet jedoch von einem dramatischen Ereignis, z.B. von einem Fahrzeugbrand; alle gemeldeten Batteriedefekte beziehen sich auf defekte Schutzgeräte (BMS und Ladegerät) bzw. den Ausfall einzelner Zellen (was wiederum durch Fehlfunktionen dieser Schutzgeräte bewirkt sein kann).

Demgegenüber berichten Medien zunehmend über Batteriebrände: Handys und Notebooks würden sich selbst entzünden, worauf es grosse Rückrufaktionen gibt, Batterien in E-Bikes und E-Scooters würden explodieren und seien für abgebrannte Garagen verantwortlich. Zu den spektakulärsten Fällen

Anfang 2013 gehörten Batteriebrände in zwei Dreamliner Boeing 787, welche zum monatelangen Grounding dieses neuen Flugzeugtyps führten[1].

In allen diesen Fällen wird Lithium (Li), ein sehr leichtes und äusserst brennbares Metall, als Energieträger in den Batterien genutzt. Heute wird in allen wieder aufladbaren Li-Batterien die sogenannte Li-Ionen-Technologie eingesetzt, d.h. Lithium kommt darin nie als Metall vor, wodurch die Brandgefahr durch sich entzündendes Lithium praktisch ausgeschlossen ist. Trotzdem können sich solche Batterien entzünden, indem z.B. elektrische Kurzschlüsse hohe Temperaturen erzeugen und die brennbaren Teile der Batterie (Elektrolyt, Separator und Gehäuse) in Brand setzen.

4.1.3.1 Fehlerraten von Li-Ionen Batterien

Das Versagen von Li-Ionen Zellen ist sehr selten - Jacoby (2013) nennt eine Fehlerrate von 10^{-7} (eine von 10 Millionen Zellen) und bezeichnet damit diese Technologie als statistisch gesehen sehr zuverlässig.

Die Prüf- und Sicherheitsfirma Underwriter Laboratories (UL) hat sich mit Batterie- bzw. Fahrzeugbränden befasst. Gemäss ihren Publikationen von 2013[2,3] wurden im Verlaufe eines Jahres (2012-13) von der US Consumer Product Safety Commission weltweit 467 Vorfälle mit Li-Ionen Batterien dokumentiert, wovon 353 Brände waren (zum Vergleich: die weltweite Produktionsmenge dieses Batterietyps betrug im Jahr 2012 mehr als 4 Milliarden Zellen).

Für Elektrofahrzeuge gibt es, bedingt durch die immer noch geringen Stückzahlen, erst wenige Erfahrungsberichte und Studien zu Batteriealterung und -versagen. Keine der in der Schweiz für Brände im weitesten Sinne zuständigen oder interessierten Institutionen erfasst gegenwärtig systematisch Brandfälle, die durch Lithium- oder andere Batterien ausgelöst werden. Am weitesten sensibilisiert ist die Batterieentsorgungs-Organisation INOBAT (vgl. http://www.inobat.ch), die in der Sammlung und im Transport von Altbatterien zunehmend Brandschäden feststellt, die mit grosser Wahrscheinlichkeit auf defekte oder verletzte Li-Batterien zurückzuführen sind. Alle anderen angefragten Organisationen und deren Verbände (z.B. Automobilverbände, Versicherungsverband, einzelne Versicherungen, Feuerwehrverband, Berufsfeuerwehren, Beratungsstelle für Brandverhütung usw.) führen zurzeit keine Aufzeichnungen oder gar Statistiken zu Batteriebränden bzw. Elektrofahrzeugbränden.

Gemäss einem TCS-Merkblatt zu generellen Fahrzeugbränden (2008) brennen in der Schweiz jährlich ungefähr 2'000 Fahrzeuge aus, d.h. etwa 0.5‰ des Gesamtbestandes, wobei es sich bislang wohl ausschliesslich um Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren handelte. Es gibt (noch) keine belastbaren Zahlen, welcher Anteil der Elektrofahrzeugflotte Feuer fängt und welches die Ursachen sind.

Die grösste E-Scooter-Flotte der Schweiz betreibt zurzeit die Post – Mitte 2013 erreichte der Bestand über 4'500 Fahrzeuge, und bis 2015 werden es rund 7'500 Fahrzeugen sein. Die Firma Kyburz AG ist mit dem Post-E-Scooter einer der Hauptlieferanten der Post. In den vergangenen Jahren verzeichnete Kyburz bei mehreren Tausend ausgelieferten Fahrzeugen zwei Batteriebrände, was nicht auf eine höhere Brandgefahr als mit Verbrennungsmotoren hindeutet. Zudem konnte in diesen beiden Fällen die Brandursache festgestellt werden und durch konstruktive Massnahmen Abhilfe geschaffen werden (vgl. Kap. 4.1.3.2).

Eine neue Studie (2013) von Plug In America, eine US NGO zur Förderung von Elektrofahrzeugen[4], untersuchte die Batteriealterung von 122 Tesla Roadster des Herstellers Tesla Motors, einem der

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Boeing_787_Dreamliner_battery_problems, abgerufen am 2.12.2013.

[2] http://www.ul.com/global/documents/newscience/article/sustainableenergy/NS_SE_Article_Forensic_Analysis_For_LIB.pdf (abgerufen am 20.08.13)

[3] http://www.designnews.com/author.asp?section_id=1395&doc_id=265934&itc=dn_analysis_element&dfpPParams=ind_184,industry_auto,industry_consumer,industry_medical,bid_22,aid_265934&dfpLayout=blog&dfpPParams=ind_184,industry_auto,industry_consumer,industry_medical,bid_22,aid_265934&dfpLayout=blog (abgerufen am 12.12.2013).

[4] Saxton; Plug In America's Tesla Roadster Battery Study; 2013; http://www.pluginamerica.org/surveys/batteries/tesla-roadster/PIA-Roadster-Battery-Study.pdf (abgerufen am 12.12.2013). Kommentare dazu hier:

ersten Anbieter von elektrischen Personenwagen. Gemäss dieser Studie über eine Fahrdistanz von immerhin insgesamt fünf Mio. Kilometern verbleiben nach 160'000 km Batteriefahrleistung noch 80 bis 85% der nominalen Batteriekapazität – 20% über dem Erwartungswert des Herstellers. Jede dieser Batterien besteht aus mehreren tausend Zellen ($LiFePO_4$ Chemie, 18650 Format), welche in einem automatisierten Prozess zusammengefügt werden. Tesla Motors hat 2'500 Stück des Modells Roadster und etwa 13'000 Stück des Modells S verkauft, bisher ohne einen Brandfall (Stand August 2013).

In Crashtests von z.B. Plug-In Hybrid Serienfahrzeugen konnten Brände ausgelöst werden[1].

Dass verheerende Unfälle aus dem Versagen von Batterien resultieren könnten, beispielsweise wenn sie in Flugzeugen eingesetzt werden, zeigen die beiden Vorfälle Anfang 2013 in den Boeing 787 Dreamlinern. Sie sind glimpflich ausgegangen, haben aber grosse Verunsicherung ausgelöst und zu intensiven Untersuchungen und sicherheitstechnischen Verbesserungen geführt.

4.1.3.2 Untersuchungen von Brandfällen

Als häufigste Ursache für Batterieversagen wird interner Kurzschluss genannt, dem mit besserer Qualitätskontrolle der Separatoren zwischen Anode und Kathode entgegengewirkt werden kann. Underwriter Laboratories entwickelt zusammen mit der NASA und den Oak Bridge National Laboratories verbesserte Batterietestverfahren, welche interne Kurzschlüsse besonders berücksichtigen. Bei den gebräuchlichen Testverfahren, beispielsweise mit dem sogenannten Nagel-Durchdringungstest, kann die Gefahr eines lokalen Kurzschlusses wegen kleinräumigen Defekten des Separators, gefolgt von rasch ansteigender Temperatur bis zum möglichen Brand, zu wenig berücksichtigt werden.

Ein Brandfall wurde an der Empa[2] untersucht, wo am Zentrum für Zuverlässigkeit seit Kurzem auch Batterien getestet werden können. Durch einen internen Kurzschluss hat sich der Elektrolyt in einer Li-Ionen Zelle (LiFePO4) so weit aufgeheizt, dass er verdampfte und der entstehende Überdruck über das dafür vorgesehene Ventil abgeblasen wurde. Der austretende heisse Dampf beschädigte in der Folge die elektrische Isolation der darüber liegenden Batterie-Überwachungselektronik. Der dabei entstandene Kurzschluss entzündete den Dampf, welcher nun wie ein Flammenwerfer das Kunststoffchassis des Fahrzeugs zum Brennen brachte - die fehlerhafte Batteriezelle selbst brannte nicht. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse haben zu einfachen Empfehlungen und Konstruktionsänderungen geführt, z.B. wird die Batterie-Überwachungselektronik nun in temperaturfeste Silikonmasse eingegossen, um dadurch Kurzschlüsse zu vermeiden. Auch werden nun mögliche Heissgase über unbrennbare Austrittswege abgeleitet (s. Abbildung 24).

---

http://green.autoblog.com/2013/07/15/roadster-batteries-likely-to-perform-better-than-tesla-predicts/ und hier: http://www.greencarcongress.com/2013/07/pia-20130714.html (abgerufen am 12.12.2013).

[1] z.B. web-Artikel: http://www.welt.de/motor/article106178053/Elektroautos-tragen-ein-Brandrisiko-in-sich.html (abgerufen am 12.12.2013).

[2] Empa-News Nummer 40, Mai 2013; web: http://www.empa.ch/plugin/template/empa/*/135407 (abgerufen am 12.12.2013).

Abbildung 24: Brandversuche von Li-Bat an der Empa. (links) Batteriezelle (LiFePO4) nach einem Nagel-Durchdringungstest. Der innere Kurzschluss führt zu starker Erhitzung und dem Entweichen von Gasen, die sich hier jedoch nicht entzündeten. (rechts oben) Batteriepaket mit gut sichtbaren (blaue Zapfen zwischen den Kontakten) und freien Überdruckventilen. (rechts unten) Brandversuch durch Batteriekurzschluss in einem Kyburz E-Scooter. Deutlich ist die starke weisse Dampfentwicklung durch den überhitzten Elektrolyten zu sehen. Der Dampf hat sich jedoch nicht entzündet, mit einem elektrischen Funken wäre dies jedoch leicht möglich. (Bilder: Empa)

4.1.3.3 Gesundheitsgefahren bei Li-Ionen Batteriebränden

Nebst dem Beschädigungs- und Verletzungspotenzial durch die hohen Brenntemperaturen gibt es durch die entstehenden Abgase weitere Gesundheits- und Umweltgefahren. Da die verwendeten Elektrolyte immer fluorhaltige Substanzen enthalten, könnte bei einem Li-Batteriebrand nebst anderen toxischen Verbindungen Flusssäure (HF) freigesetzt werden. In aufwändigen Versuchen der Fire Protection Research Foundation wurden die Prozesse bei Li-Batteriebränden untersucht (Mikolajczak et. al. 2011) und bei Versuchen von Ditch und De Vries (2013) wurden unter anderem toxische Gasemissionen bestimmt – so auch die Konzentration freigesetzter Flusssäure (HF). Die Resultate zeigten durchwegs unkritische Werte: “It is important to note that in both tests minimal emissions of hydrogen fluoride gas (HF) were detected, which was primary personnel safety concern.” (ebd.: 53).

Die Untersuchungen von Ribiere et. al. (2011), wo unter Laborbedingungen in Kalorimetern Li-Ionen Zellen verbrannt wurden, wiesen HF-Konzentrationen im gesundheitsgefährdenden Bereich nach.

Inwieweit sich diese unterschiedlichen Versuche mit gegensätzlichen Resultaten auf einen Batterie- bzw. Fahrzeugbrand unter Praxisbedingungen übertragen lassen und ob das Risiko einer Gesundheitsgefährdung hoch sein könnte, kann zurzeit nicht abschliessend beantwortet werden.

4.1.3.4 Mögliche Sicherheitsmassnahmen

Nebst einer rigorosen Qualitätskontrolle bei der Zellenfertigung sind verschiedene zusätzliche Massnahmen möglich und nötig, um eine hohe Zuverlässigkeit und kleine Risiken zu erreichen. Schon im elektrochemischen Design der Batterien sollten Komponenten mit geringer Reaktivität, hoher Qualität und Reinheit gewählt werden. Beispielsweise gelten Kathoden, welche Kobalt enthalten, als reaktiver

als solche mit Mangan oder Eisenphosphat. Die Verwendung von einwandfreien Separatoren, dem heute am häufigsten versagenden Element, ist essenziell. Beim Zusammenstellen der einzelnen Batteriezellen zu einem Batteriepaket muss lokale Überhitzung durch hohe elektrische Übergangswiderstände ausgeschlossen sowie jede Art von möglichem Kurzschluss (z.B. durch Kontakt mit dem Gehäuse, Scheuern von Kabeln) verhindert werden. Äusserst wichtig ist eine sorgfältige elektronische Überwachung jeder einzelnen Zelle durch ein Batteriemanagementsystem (BMS), um sie immer im zulässigen Spannungs-, Strom- und Temperaturbereich zu halten.

Auch ausserhalb des Fahrzeugs sind Regeln zu beachten. Beispielsweise müssen Anschlusskabel starker Ladegeräte und insbesondere Verlängerungskabel immer ganz ausgerollt werden, da sich das Kabel sonst so stark aufheizen kann, dass der Kabelmantel schmilzt und durch Kurzschluss einen Brand auslösen kann. Dies war die Ursache eines E-Scooter Brandes 2012 im Kanton Luzern.

Abbildung 25 zeigt schematisch ein umfassendes Sicherheitskonzept als konzentrische Sicherheitskreise:

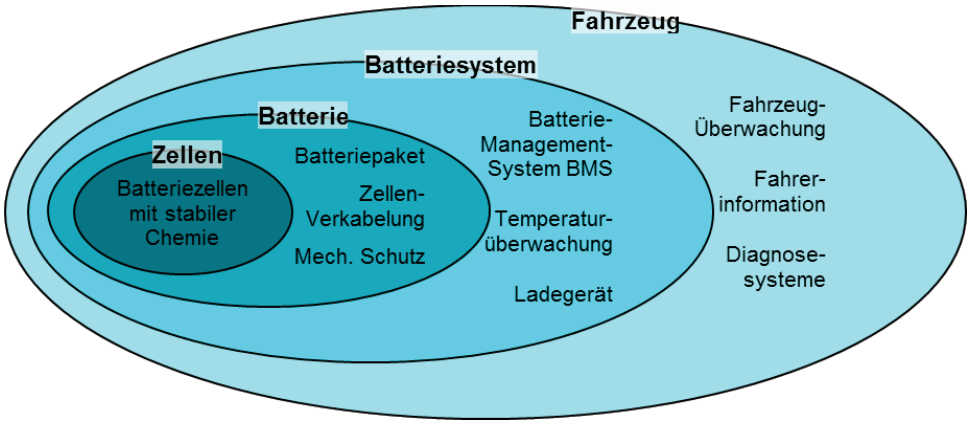


Abbildung 25: Mehrstufiges Sicherheitskonzept. (Grafik: Empa)

Der Ladevorgang einer Batterie wird häufig als risikoreicher als z.B. die Lagerung eingestuft. Daher sollten Batterien immer mit den passenden Ladegeräten und eher nicht unüberwacht in Wohnbereichen oder sonst brandgefährdeten Umgebungen geladen werden. Der Nutzer sollte sich dazu vom Händler instruieren lassen, auch kann er sich vorher bei der Feuerwehr oder bei INOBAT zum richtigen Schutz und zum Verhalten im Brandfall erkundigen.

Auch bei der Ausserbetriebnahme und dem Recycling bzw. der Entsorgung von Elektrofahrzeugen ist Vorsicht angebracht. Die Batterien müssen aus dem Fahrzeug ausgebaut und dem Recycling zugeführt werden (siehe auch Kap 4.1.3.6). Gemäss den Erfahrungen des schweizerischen Systembetreibers für das Batterierecycling INOBAT, ist die Brandgefahr bei beschädigten Li-Ionen Batterien hoch, weshalb Empfehlungen für die Handhabung von Altfahrzeugbatterien herausgegeben wurden (Werren 2013).

Für die Risikominderung beim Transport und der Lagerung von Li-Ionen Batterien werden von INOBAT zurzeit sogenannte PyroBubbles® getestet. Dies ist ein neuartiges Produkt bestehend aus sehr leichten, geschäumten Glaskügelchen (SiO_2) mit sehr gutem Rieselverhalten. Damit kann ein offener (Elektro-)Brand zuverlässig eingeschränkt bzw. verhindert werden, indem die schmelzenden Kügelchen den Brandherd luftdicht einschliessen und das Feuer ersticken sowie durch die gute thermische Isolation benachbarte Teile, z.B. Kabel oder Batteriezellen, vor Überhitzung schützen (s. Abbildung 26 und Abbildung 27).

Abbildung 26: Batteriezelle (LMC) nach einem Brand. Die Zelle ist komplett ausgebrannt (alle organischen Komponenten wie Hülle, PE Separator Folie und Elektrolyt und auch die Graphit Elektrode). Während einer Reparatur am E-Scooter wurde die Zellenhülle mit einer Schraube durchstossen. Der innere Kurzschluss entzündete nach einigen Minuten die freigesetzten Gase. Weder Wasser noch Schaum- und Staublöscher vermochten den Brand vollständig zu löschen – erst als die Zellen vollständig entladen waren, stoppte der Schwelbrand; deutlich sieht man das blaue Kupfersulfat, das sich durch die Löschmittel bildete. (Bild: Empa)

Abbildung 27: Brandschutzmassnahmen mit inertem Füllstoff. In Brand gesetzte Batteriepakete werden zum Ersticken und Abklingen der chemischen Reaktionen und zum Abkühlen in einem INOBAT-Fass, gefüllt mit Py-

roBubbles®, sicher gelagert. Alle Komponenten werden dazu vollständig mit den Kügelchen bedeckt (die Batteriepakete wurden lediglich für das Foto ausgegraben). Im Vergleich zum Abbildung 25 zeigt sich deutlich eine viel geringere Zerstörung der Batterien, v.a. hat sich der Brand nicht auf Nachbarzellen ausgebreitet. (Bild: Empa)

4.1.3.5 Anforderungen an Transport und Lagerung

Gemäss den letzten 'Amendments UNECE Recommendations on the TRANSPORT OF DANGEROUS GOODS (in SECTION 38.3 ‚Lithium metal and lithium ion batteries'[1])', sind die legal transportierten Li-Batterien, die für den Einsatz in Elektrofahrzeugen bestimmt sind, u.a. auf folgende neun Anforderungskategorien zu testen:

- Überladung, Tiefentladung, externer Kurzschluss, mechanische Schläge, mechanische Integrität, Vibration, Übertemperatur, Feuerresistenz, thermische Belastung und thermischer Schock

Die Einhaltung der Anforderungen gemäss der UNECE Richtlinien gibt einen guten Hinweis auf die Eignung einer Batterie für den Einsatz in einem Elektrofahrzeug.

4.1.3.6 Batterieentsorgung, -recycling

Der rechtliche Rahmen zur Li-Batterie-Entsorgung ist in der EU durch die 'Battery Directive 2006/66/EC'[2] vorgegeben. Dazu gibt es eine eigene Website[3] und eine Zusammenfassung der Direktive[4]. Eine spezifische Regelung des Recyclings für Elektrofahrzeugbatterien gibt es (noch) nicht, daher gilt die Batterie-Direktive. Die Regelungsdichte ist hier relativ hoch und die Lobbygruppen sind entsprechend aktiv (z.B. http://www.eurobat.org). In aller Kürze sind die Regeln folgende:

- Sammelquoten min. 25% (bis 26.09.2012), min. 45% bis (26.09.2016).
- Batterien und Akkus (d.h. nicht- und wieder-ladbare Batterien bzw. Primär- und Sekundär-Batterien) müssen grundsätzlich auf einfache und risikolose Weise entnommen werden können.
- Batterien und Akkus müssen mit bester verfügbarer Technologie (kurz BAT – ‚best available technology') behandelt und rezykliert werden – eine energetische Verwertung (Verbrennung) gilt nicht als Recycling.
- Erforderliche Recycling-Quoten für die in den Batterien und Akkus enthaltenen Stoffe sind:
  - min. 65% des durchschnittlichen Gewichts von Pb Akkus,
  - min. 75% des durchschnittlichen Gewichts von NiCd Akkus,
  - min. 50% des durchschnittlichen Gewichts sonstiger Alt-Batterien und Akkus – also auch für Li- Batterien und Li-Ionen-Akkus.

In der Schweiz gilt die Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung (ChemRRV) und speziell der 'Batterie-Anhang'[5], der Folgendes regelt (*Zitat*):

- *Als Industriebatterien gelten Batterien, die ... für den Antrieb von Elektrofahrzeugen jeder Art bestimmt sind*
- *5.1 Rückgabepflicht: Verbraucherinnen müssen Batterien zur Entsorgung ... übergeben.*
- *5.2 Rücknahmepflicht: Händlerinnen, die ... Industriebatterien abgeben, müssen ... [solche] unentgeltlich zurücknehmen.*

---

[1] http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/danger/publi/manual/Rev5/English/03en_part3.pdf daraus Seite 394ff "38.3 LITHIUM METAL AND LITHIUM ION BATTERIES" (abgerufen 12.12.2013).

[2] http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2006L0066:20081205:DE:PDF (abgerufen am 12.12.2013).

[3] http://ec.europa.eu/environment/waste/batteries/index.htm (abgerufen am 12.12.2013).

[4] http://europa.eu/legislation_summaries/environment/waste_management/l21202_de.htm (abgerufen am 12.12.2013).

[5] 814.81 Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung, ChemRRV, Anhang 2.151, web: http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/20021520/index.html (abgerufen am 12.12.2013).

- *6.1 Gebührenpflicht: [betrifft] Herstellerinnen von Fahrzeugen ..., die Batterien enthalten. Die Gebühr beträgt mindestens 0,1 und höchstens 7 Franken je Kilogramm (2013 ist der Betrag 3.20 CHF/kg).*
- *6.3 Meldepflicht: Gebührenpflichtige müssen ... die [in Umlauf gebrachte] Menge ... [monatlich] melden. ... Entsorgungsunternehmen ... müssen ... jährlich bis zum 30. April ... [die] zurückgenommenen und von ihnen im Vorjahr verwerteten oder ... exportierten Batterien melden.*

Das für 'Haushaltbatterien' seit langem existierende Rücknahmesystem INOBAT sowie das ebenso etablierte System für Starterbatterien sind noch nicht auf die Rücknahme von Li-Ionen Batterien eingerichtet. Gemäss INOBAT ereignen sich in der Entsorgungskette zunehmend Brände, die durch teilgeladene Li-Ionen Batterien ausgelöst werden, welche in den für sie ungeeigneten Transport und Lagerketten Schaden nehmen. An Verbesserungen wird zurzeit gearbeitet.

Es ist absehbar, dass für grössere Li-Ionen Batterien (>1 kWh), also auch solche aus E-Scooter, die Entsorgungskette über die Zweirad-Händler gehen wird. Kleinere Li-Ionen Batterien (<1 kWh, z.B. aus E-Bikes) könnten auch über bestehende INOBAT Sammelstellen entsorgt werden – die nächste Zeit wird hier Klärung bringen.

E-Scooter-Händler bzw. ihre Verbände sollten sich mit INOBAT und/oder mit den Elektroschrottentsorgungssystemen SWICO und SENS über die Entsorgung von E-Scooters und deren elektrischen und elektronischen Komponenten vor allem der Batterien, absprechen und ihren Kunden einfache, sichere und vor allem auch gesetzeskonforme Entsorgungsmöglichkeiten anbieten.

4.1.4 Elektrotechnische Sicherheit

Anlässlich der Sonderschau ALL ELECTRIC an der Swiss-Moto 2011 in Zürich wurden in Zusammenarbeit mit Electrosuisse, dem Schweizerischen Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik, sieben E-Scooter-Modelle auf ihre elektrotechnische Sicherheit hin untersucht. Electrosuisse erstellte zu jeder Marke einen Bericht und ein Gesamtfazit ihrer Arbeit. Danach ist der Sicherheitsstand mehrheitlich zufriedenstellend. Folgende Punkte sollten jedoch beim Betrieb von E-Scooters beachtet werden:

- Ladegeräte, die nicht fest im Fahrzeug eingebaut sind, sollten vor Wasser und Staub geschützt werden.
- Es sollte verhindert werden, dass ein Fahrer mit eingestecktem Kabel losfahren kann.
- Haushaltübliche Steckverbindungen am Ladegerät können zu Verwechslungen und im Extremfall zu Kurzschlüssen führen.

Zusammenfassung Kapitel 4.1

Die Nutzerbefragung erbrachte noch zu wenige Zahlen, um diese als statistisch belastbar bezüglich Zuverlässigkeit und Lebensdauer bezeichnen zu können. Die am häufigsten genannte Fehlerquelle ist die Elektronik und die Fahrzeugbatterie. Gemäss Händleraussagen ist die Verarbeitungsqualität und die Zuverlässigkeit der Komponenten deutlich gestiegen und die Anzahl der Garantiefälle gesunken. Die Ursache von Batteriedefekten sind oft nicht die Zellen, sondern deren Schutzelektronik (das Batteriemanagementsystem (BMS)) und/oder das Ladegerät.

Eine erste Erhebung der Gesamtkosten von E-Rollern im Rahmen eines NewRide-Projekts zeigt, dass bereits heute E-Roller auf unseren Strassen fahren, die in der Gesamtkostenrechnung so gut wie Benzin-Roller oder gar besser abschneiden. Für allgemeingültige Aussagen ist die Datenmenge aber noch zu klein.

In einer stichprobenartigen Untersuchung durch Electrosuisse an der Swissmoto 2011 zeigen sich keine sicherheitstechnischen Mängel - Empfehlungen für Verbesserungen beziehen sich auf die Ladegeräte und deren Gebrauch.

Untersuchungen zur Zuverlässigkeit von Li-Ionenbatterien und ihrer Anwendung in E-Scooters zeigen bislang keine erhöhte Brandgefahr gegenüber Benzinfahrzeugen. Die Datengrundlagen für die nötigen Langzeitstudien werden jedoch gegenwärtig in der Schweiz nicht erhoben. Die im Brandfall entstehenden Belastungen, speziell durch die Freisetzung von giftigen Gasen wie z.B. Flusssäure, wurden untersucht und z.T. unterschiedlich beurteilt, wobei die Ergebnisse von realitätsnahen Versuchen keine Gefährdung zeigen. Obwohl die Entsorgung von Fahrzeugbatterien in der Schweiz rechtlich geregelt ist, scheint die Handhabung dieser Verordnungen noch nicht bekannt und eingespielt zu sein.

4.2 Ladeinfrastruktur

4.2.1 Abnehmbare Batterien

Bei kleineren E-Scooters kann die Batterie wie bei E-Bikes vom Fahrzeug getrennt und an einer Haushaltsteckdose aufgeladen werden. Grössere, schwerere E-Scooters verfügen tendenziell über eine höhere Höchstgeschwindigkeit, verbunden mit einer grösseren Motorleistung. Mit zunehmender Höchstgeschwindigkeit eignen sich E-Scooters für längere Distanzen. All diese Aspekte erhöhen die Anforderungen an den Energieinhalt und an das Gewicht der Batterien. So ist die Batterie bei grösseren (schnelleren) E-Scooters fest im Fahrzeug installiert. Der Nutzer ist auf eine Steckdose in der Nähe des Ortes, wo er die Batterie des E-Scooters üblicherweise lädt, angewiesen. Wie gross diese Einschränkung ist, zeigt folgende Auswahl an innovativen Ansätzen zur Erleichterung der Transportierbarkeit der Batterien:

- Diverse Anbieter verteilen die Batteriezellen auf mehrere Blöcke (s. Abbildung 28). PGO hat ein Batteriekonzept mit mehreren Batterietypen: Eine Basis-Batterie (Blei) ist fix unter dem Fussbrett montiert, zwei transportable Li-Ion-Batterien à je 3 kg befinden sich unter dem Sitz.
- e-max hat den Batterieblock mit einer Stange und Rollen ausgestattet, so dass er wie ein Rollenkoffer gezogen werden kann (siehe Abbildung 28). Den Ansatz von e-max weiterentwickelt hat XOR, ein französischer Hersteller. Er hat ein Konzept entwickelt, bei dem sich auch das Fahrzeug selber zusammenfalten lässt. Roller und Batterie lassen sich wie zwei Rollenkoffer ziehen (s. Abbildung 29; ein Video zum Faltvorgang ist auf Youtube zu finden[1]).

Abbildung 28: Zwei abnehmbare Li-Ion-Batteriepakete des PGO e-wave (links) und das als Rollenkoffer ausgebildete Batteriepaket des e-max 80L. (Foto Urs Schwegler)

[1] http://www.youtube.com/watch?v=elpQqsii_-g (abgerufen am 12.12.2013).

Abbildung 29: Gefaltetes Fahrzeug und Batterie von XOR als zwei Rollenkoffer, rechts das Fahrzeug im Fahrzustand. (Foto Urs Schwegler)

Als obere Gewichtsgrenze für einen tragbaren Batterieblock gelten 10 kg, für Batterien auf Rollen 20 kg. Mit der in den nächsten Jahren zu erwartenden Weiterentwicklung der Batterietechnologie werden der Energieinhalt – und damit die Reichweite – erweitert werden können.

4.2.2 Wechselstationen/Einheitsbatterie

Eine Alternative (resp. Erweiterung) zu abnehmbaren Batterien sind Batteriewechselstationen. Dies wird jedoch nur sinnvoll mit einer Einheitsbatterie, welche für verschiedene Marken verwendet werden kann. Sonst benötigt jede Marke ein eigenes Netz von Ladestationen.

In Taiwan, wo ein Grossteil der Roller auf der Strasse parkiert werden, ist die Problematik der Ladeinfrastruktur besonders schwerwiegend (s. Kap. 5.4.1). Deshalb hat die taiwanesische Regierung vom Industrial Technology Research Institute (ITRI) eine Einheitsbatterie entwickeln lassen, welche für alle E-Roller kompatibel sein soll (Suen 2012, s. Abbildung 30).

An die Batterie wurden folgende Anforderungen gestellt:

- Spannung 48V
- Kapazität 10 – 25 Ah
- Gewicht max. 10 kg
- Abmessungen L 270 mm, B 95 mm, H 160 mm
- Ladestrom 10A
- Dauer-Entladestrom 30A
- Spitzen-Entladestrom 40A (30 sec bei 50 SOC)

Abbildung 30: Drei mögliche Arten, die Einheitsbatterie im Fahrzeug unterzubringen. (Foto: ITRI)

Der Energieinhalt von ca. 1 kWh weist darauf hin, dass dieses Konzept nur für kleine Roller geeignet ist. Für grössere (schnellere und schwerere) Fahrzeuge ergeben sich damit keine akzeptablen Reichweiten. Die technische Weiterentwicklung könnte aber auch hier Verbesserungen bringen:

- Leistungsfähigere Batterien mit grösseren Batteriekapazitäten
- Leichtere Fahrzeugkonzepte mit geringerem spezifischem Verbrauch
- Fahrzeugkonzepte mit mehreren Batteriepaketen
- Eine zunehmende Dichte des Netzes an Wechselstationen kann die Anforderungen an die Reichweite reduzieren.

4.2.3 Welche Reichweite braucht ein E-Scooter?

An dieser Stelle drängt sich die Frage nach der erforderlichen Reichweite für einen E-Scooter auf. Wie Benzin-Roller werden E-Scooters in der Regel für Distanzen bis zu 20 km eingesetzt. Für Arbeitswege soll eine Batterieladung für den Hin- und Rückweg, also für 40 km, ausreichen. Mit einer Reserve ergibt sich somit eine Reichweite von 60 km als Dimensionierungsgrundlage. Ausnahmen lassen sich wie folgt umschreiben:

- Betrieblich genutzte E-Scooters, z. B. für die Postzustellung.
- Ferienfahrten (dabei können jedoch Zwischenladungen in die Reiseplanung eingebaut werden).

Im Gegensatz zu Elektroautos sind für E-Scooters also keine Reichweiten von mehreren hundert Kilometern erforderlich.

Allerdings wird die Ausschöpfung der Reichweite durch eine ungenaue Anzeige des Batterieladezustandes oft erschwert. Eine Auswertung an der Sonderschau ALL ELECTRIC an der Swiss-Moto 2012 zeigte, dass 11 von 22 Fahrzeugen nicht den tatsächlichen Energieinhalt (in Ah) anzeigten, sondern die Spannung, welche nur indirekt und im Stillstand einen Aufschluss über den Batterieladezustand anzeigt. Zudem sind die Unterteilungen der Anzeigen teilweise so grob, dass sie keine genauen Informationen zulassen (s. Abbildung 31).

Abbildung 31: Anzeige des Batterieladezustandes. Wie soll sich ein Fahrer verhalten, wenn fünf km vor Fahrtende das rote Licht ‚empty' aufleuchtet? (Foto Urs Schwegler)

4.2.4 Zu Hause laden

Üblicherweise werden die Batterien eines E-Scooters am Wohnort aufgeladen. In einem Einfamilienhaus ist normalerweise eine Steckdose in der Nähe eines möglichen Standortes des E-Scooters vorhanden oder kann mit geringem Aufwand installiert werden.

Schwieriger ist die Lademöglichkeit in Mehrfamilienhäusern mit Tiefgaragen: Dort ist zwar üblicherweise ein Stromanschluss vorhanden. Für den regelmässigen Strombezug zum Laden der Batterien wird jedoch eine Bezahlung erwartet. Private Hauseigentümer, welche eine Lademöglichkeit nur ihren Mietern zur Verfügung stellen wollen, können diesen einen jährlichen Pauschalbeitrag belasten, welcher aufgrund des Normverbrauchs, der jährlichen Kilometerleistung und des Stromtarifs festgelegt werden kann. Dieser liegt in der Grössenordnung von CHF 50 (Annahmen: Jahreskilometerleistung 5‘000 km, Verbrauch 5 kWh/100 km, CHF 0.20 Fr./kWh). Die Kosten für die Installation eines Stromzählers betragen über CHF 500. Dies ist im Vergleich zum Strombezug unverhältnismässig teuer.

In Mehrfamilienhäusern ohne Tiefgarage gibt es gelegentlich eine Aussensteckdose an der Gebäudefassade. Falls in deren Nähe ein E-Scooter abgestellt werden kann, kann dies eine Lösung sein. Der Strombezug kann wie in der Tiefgarage (s. oben) pauschal verrechnet werden.

Besteht am Wohnort keine Möglichkeit zum Laden der Batterien, bietet sich als Nächstes der Arbeitsort an. Die Verhältnisse sind ähnlich wie jene am Wohnort. Zahlreiche Arbeitgeber können ihren Mitarbeitenden vorhandene oder leicht zu installierende Steckdosen zur Verfügung stellen. In einer Anfangsphase wird es sich um Einzelfälle handeln, für die eine einfache, pragmatische Lösung gefunden werden kann. Angesichts der geringen Strommenge und der vergleichsweise aufwändigen Installation eines Zählers und eines Abrechnungssystems kann der Strom kostenlos oder gegen eine Jahrespauschale zur Verfügung gestellt werden. Firmen können Lademöglichkeiten für E-Scooters nicht nur Mitarbeitenden anbieten, sondern auch Kunden und Nachbarn (welche zu Hause über keine geeignete Möglichkeit verfügen) oder sogar der breiten Öffentlichkeit. Naheliegend ist es, dass Firmen, welche E-Scooters in ihrer eigenen Flotte haben, die dafür vorgesehene Ladeinfrastruktur auch ihren Mitarbeitern und, sofern möglich, auch weiteren Personen zur Verfügung stellen.

Im Vergleich mit öffentlichen Ladestationen (s. Kap. 4.2.2) ist die Erstellung von Lademöglichkeiten am Wohn- oder am Arbeitsort deutlich einfacher und – vor allem im Rahmen von Neu- und Umbauten – auch viel günstiger. Deshalb sollten Baubehörden, Architekten, Ingenieure und Installateure auf dieses Thema aufmerksam gemacht werden. Ein Merkblatt dazu befindet sich im Anhang zu Kap. 4.2. Der Schweizerische Hauseigentümerverein und der Schweizerische Ingenieur- und Architektenverein haben Ende 2012 resp. anfangs 2013 in ihren Mitgliederzeitschriften Artikel dazu veröffentlicht (Schwegler 2012a, Schwegler 2012b).

4.2.5 Öffentliche Ladestationen

Während für die Ladung eines E-Scooters im Privatbereich eine übliche Haushaltsteckdose genügt, besteht eine öffentliche Ladestation aus diversen Elementen:

- Zuleitung (häufig teurer als die Ladestation selber)
- Gehäuse:
  - Frei stehende Säule oder Wandmontage
  - Auffällige Ladesäulen an stark frequentierten Orten als Wahrzeichen und Werbemittel für E-Scooter
  - Werbefläche
- Zugang/Identifikation:
  - Frei zugänglich
  - Kreditkarte
  - Chip im Fahrzeug
  - sms
  - etc.
- Steckdosen: Im Gegensatz zu Elektroautos reichen Haushaltssteckdosen (T13). Im Aussenbereich müssen wassergeschützte Steckdosen installiert werden.
- Stromverrechnung: in Kombination mit Zugangssystem

Öffentliche Ladestationen können auf öffentlichem oder auf privatem Grund stehen. Im zweiten Fall spricht man auch von halböffentlichen Ladestationen. Sie müssen nicht unbedingt dauernd zugänglich sein (in einer Tiefgarage eines Einkaufszentrums beispielsweise nur während dessen Öffnungszeiten). Diverse Schweizer Städte haben öffentliche Ladestationen speziell für E-Scooters installiert, um die Markteinführung zu beschleunigen. Einige Beispiele daraus:

- Lausanne: Die Services Industriels de Lausanne (SIL) haben schon in den 1990er-Jahren bei Zweiradabstellplätzen in der Innenstadt rund 20 Ladestationen für E-Scooters installiert. Der Zugang erfolgt über ein Kaba-Schloss, welches Kunden (Stand: Sommer 2013 ca. 60) bei den SIL kostenlos beziehen können. Kostenlos geben die SIL auch den Strom ab.
- Köniz: Die Gemeinde Köniz erstellte 2010 ein Konzept für den Aufbau einer Ladeinfrastruktur mit öffentlichen Ladestationen für E-Scooters. Es sah 10 Stationen (in jedem Ortsteil eine) vor. Bis im Jahr 2012 sind auf dem Gemeindegebiet von Köniz an fünf Standorten Ladestationen installiert worden (zwei auf öffentlichem, drei auf privatem Grund).
- Auch die Stadt St. Gallen hat 2011 im Rahmen eines Förderprogramms für E-Scooters drei öffentliche Ladestationen erstellt (s. Abbildung 32).
- Basel: Die Stadt Basel hat beim Bau des Veloparkings beim Bahnhof mit 600 Einstellplätzen auch an Elektro-Zweiräder gedacht. Im bewachten Teil wurde an einer Wand eine Steckerleiste montiert mit Steckdosen alle zwei Meter. Dieser rund 20 m lange Bereich ist für E-Bikes und E-Scooters, welche aufgrund ihrer wegfallenden Emissionen als einzige Motorradkategorie zugelassen sind, reserviert. Die Stromkosten sind in der Parkgebühr von 1 CHF pro Tag enthalten (s. Abbildung 33).

Abbildung 32: Die Ladestation am Bohl in der St. Galler Altstadt zeigt die Problematik des zur Ladestation gehörenden Parkplatzes. (Fotos Urs Schwegler)

Abbildung 33: Steckerleiste für E-Scooters im Basler Veloparking. (Foto Urs Schwegler)

Die Kosten für die erstellten öffentlichen Ladestationen (z.B. in Köniz, St. Gallen) lagen deutlich über 1'000 CHF. Dies ist vor allem auf die Installation und dabei insbesondere auf die Grabarbeiten für die Stromzufuhr zurückzuführen. Wenn diese im Rahmen von Bau- oder Umbauprojekten realisiert werden könnten, fielen die Kosten deutlich geringer aus, weil die Installation dann zusammen mit den übrigen elektrotechnischen Arbeiten erfolgen könnte.

Zusammenfassung Kapitel 4.2

Bei kleineren E-Scooters können die Batterien je nach Gewicht zum Laden vom Fahrzeug getrennt werden (wie bei E-Bikes). Dank der Weiterentwicklung der Batterietechnologie und der Aufteilung der Batteriekapazität auf mehrere (tragbare) Blöcke wird dies bei immer grösseren Fahrzeugen möglich sein.

In Taiwan wird eine Einheits-Batterie für E-Scooters entwickelt. Diese könnte an Batteriewechselstationen ausgewechselt werden. Damit würde die Ladeinfrastruktur vereinfacht und die Anforderungen an die Reichweite reduziert.

Fest eingebaute Batterien bei grösseren E-Scooters werden vorwiegend zu Hause geladen. Ist dies nicht möglich (z. B. weil kein Abstellplatz mit Steckdose verfügbar ist), kann das Laden am Arbeitsplatz eine Alternative sein. Allerdings kann das Fahrzeug dann übers Wochenende und in den Ferien nur eingeschränkt genutzt werden. Damit kann die Ladeinfrastruktur zu einem Kaufhindernis werden.

Öffentliche Ladestationen bei Zweirad-Abstellplätzen haben zurzeit in erster Linie eine psychologische Funktion, nämlich auf E-Scooters aufmerksam zu machen. Ein ausgewiesenes Bedürfnis danach sehen wir nicht, weil einerseits die mit Rollern zurückgelegten Distanzen kaum länger als 30 – 40 km sind und weil andererseits die Zweiradabstellplätze häufig so stark belegt sind, dass es schwierig ist, rund um die Station herum Platz für E-Scooters zu reservieren. Eine Ausnahme bilden Velostationen, wo für E-Bikes und E-Scooters reservierte Sektoren mit Steckdosen eingerichtet werden können, allenfalls mit einer höheren Gebühr, welche neben der Parkgebühr auch den Strombezug enthält.

4.3 Verkehrssicherheit

4.3.1 Das Dossier ‚Motorrad' der bfu

Die Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu hat 2009 ein umfassendes Sicherheitsdossier ‚Motorrad' herausgegeben (Walter 2009). Sie stützt sich dabei auf diverse empirische Grundlagen im In- und Ausland ab. Motoradfahrer sind einem rund 20-mal höheren Unfallrisiko mit Schwerverletzten oder Getöteten ausgesetzt als Personenwagen-Insassen (Walter 2009: 57). Die nachstehenden Aussagen fassen die Ergebnisse im Hinblick auf die Übertragbarkeit auf E-Scooters zusammen. In Kap. 4.3.2 folgen ergänzende Aspekte, welche spezifisch auf E-Scooters zutreffen.

Zwischen 2003 und 2007 wurden in der Schweiz 8090 Motorrad-Unfälle mit Schwerverletzten und Getöteten polizeilich registriert. Davon waren rund zwei Drittel Kollisionsunfälle mit anderen Verkehrsteilnehmenden, ein Drittel waren Selbstunfälle.

Kollisionsunfälle:

- Der weitaus häufigste Unfallhergang sind Kollisionen beim Richtungswechsel (z.B. Linksabbiegen trotz Gegenverkehr). An zweiter Stelle stehen Auffahrunfälle mit einem Anteil von 14% aller Opfer (ebd.: 61).
- Gemäss den Polizeiprotokollen liegt die Schuld in rund 50% aller Fälle allein beim Lenker des Kollisionsfahrzeuges (meist Personenwagen). Die häufigste Ursache ist Missachtung des Vortritts (ebd.: 64). Dies bestätigen die zahlreichen Zeitungsmeldungen zu Motorradunfällen mit unschuldigen Motorradopfern.

Selbstunfälle:

- Bei annähernd der Hälfte aller schweren Selbstunfälle spielt die Geschwindigkeit eine zentrale Rolle. Dabei ist aber nicht das Überschreiten der gesetzlichen oder signalisierten Höchstgeschwindigkeit das Hauptproblem, sondern das Nichtanpassen an die Linienführung oder die Strassenverhältnisse (ebd.: 61).
- Alkohol ist vor allem bei Kleinmotorrädern eine häufige Ursache, mangelhafte Fahrzeugbedienung bei Motorrädern über 125 ccm (ebd.: 60).

Bei deutlich über der Hälfte aller Unfälle mit schweren oder tödlichen Verletzungen für die Motorradfahrer tragen diese zumindest eine Mitschuld (ebd.: 82). Das Verhalten der Motorradfahrenden ist heterogen. Für alle sind jedoch die folgenden Risikofaktoren mehr oder weniger relevant (ebd.: 66):

- Ungenügende motorradspezifische Fahrerfahrung
- Ungenügende motorradspezifische Kenntnisse und technische Fahrfertigkeiten (als Folge ungenügender Aus- und Weiterbildung)

- Regelwidriges Verhalten (Geschwindigkeit, Alkohol)
- Der Sicherheit abträgliche Fahrmotive (sportliches Fahren, Auslebenstendenz, Grenzerfahrung)

Diverse Forschungsergebnisse liefern Hinweise, dass motorradspezifische Fahrerfahrung die individuelle Unfallgefährdung reduziert. Laut einer amerikanischen Studie trifft dies auf Fahrer über 35 Jahren besonders deutlich zu (ebd.: 67).

Fahrgeschicklichkeitstrainings (Schleuderkurse usw.) können zu einer Verminderung der Gefährdung führen, allerdings nur in Kombination mit einem defensiven Fahrstil. Ohne diesen können Fahrkurse zur Folge haben, dass Motorradfahrer nach dem Training höhere Risiken eingehen (Risikokompensation) (ebd.: 74).

Eine grosse Bedeutung kommt der protektiven Ausrüstung zu. So sind trotz sehr hoher Helmtragquote 8 von 10 tödlichen Unfällen von Motorradfahrern auf Kopfverletzungen zurückzuführen. Das Tragen von Helmen mit einer Minimalqualität ist zwar vorgeschrieben, nicht selten sind sie aber der Kopfform nicht richtig angepasst. Neben dem Kopf sind vor allem die oberen und unteren Extremitäten einem hohen Risiko ausgesetzt. Sie können durch in die Bekleidung eingenähte Protektoren geschützt werden. Während diese von Fahrern mit leistungsstarken Motorrädern häufig getragen werden, sind sich Rollerfahrer dieser Gefahren offensichtlich weniger bewusst und sind zu oft mit mangelhafter Bekleidung unterwegs.

Fahrzeugseitig ortet die bfu Gefahrenpotenziale bei der geringen Fahrzeugausdehnung und der fehlenden Fahrgastzelle, welche dazu führen können, dass ein Motorrad übersehen wird. Für die Bremsen empfiehlt die bfu standardmässig Antiblockiersysteme (ABS) und Integralbremssysteme (CBS).

Häufig liegt die Unfallursache bei den Kollisionsfahrzeugen und deren Lenkern. Als Hauptgrund für die Vortrittsmissachtung gilt – neben eingeschränkter Fahrfähigkeit (wegen Alkohol, Müdigkeit usw.) – das oft fehlende Bewusstsein der Personenwagen-Lenker für die Eigenschaften der Motorräder.

Schliesslich ergeben sich auch erhöhte Anforderungen an die Strasseninfrastruktur, weil Zweiräder früher an die Grenzen der Stabilität kommen als vierrädrige Motorfahrzeuge. Die wesentlichsten Punkte sind:

- Fahrbahnbelag: Bitumenfüllungen, glitschige Markierungen, Schachtdeckel, mangelhafter Unterhalt
- Kollisionsobjekte: Leitschranken, Masten, Bäume
- Projektierung von Verkehrsanlagen: Sichtweite an Kreuzungen, Kurvenradien

4.3.2 E-Scooter-spezifische Aspekte

4.3.2.1 Ungeübte Fahrer

An Ausstellungen zeigen häufig Personen im Alter zwischen 40 und 60 Jahren Interesse an E-Scooters. Einige von ihnen verfügen von ihrer Jugendzeit her über einen Führerausweis für Motorräder, aber seit Jahren über keine Fahrpraxis mehr. Weil sie im Allgemeinen nicht dieselbe Geschicklichkeit im Umgang mit neuen Geräten wie Jugendliche haben, stellen sie eine besonders gefährdete Risikogruppe dar.

4.3.3 Geräuscharmut von E-Scooters

E-Scooters verursachen – wie Elektrofahrzeuge im Allgemeinen – im Geschwindigkeitsbereich zwischen 0 bis ca. 25 km/h nur geringe Lärmemmissionen und stellen daher für Fussgänger eine zusätzliche Gefährdung dar. Die heutigen Nutzer von E-Scooters empfinden dieses Problem aber offenbar nicht als gravierend. In der Nutzerbefragung (s. Kap. 2.5) gaben zwei Drittel der Befragten an, dass

sich durch das Fehlen des Motorgeräusches nie oder nur selten gefährliche Situationen mit Fussgängern oder anderen Verkehrsteilnehmenden ergeben haben.

Der Bundesrat hat per 1. Mai 2012 eine neue Regelung in die Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS) aufgenommen, wonach Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb mit einem Geräuschgenerator zur Sicherstellung der Hörbarkeit ausgerüstet sein dürfen. Solche Geräuschgeneratoren unterstehen nicht der Typengenehmigung (VTS, Art. 82 1bis).

Eine Umfrage bei acht E-Scooter-Anbietern an der Swiss-Moto 2013 in Zürich zeigte, dass man sich in der E-Scooter-Branche über die Bedeutung solcher Geräuschgeneratoren nicht einig ist. Zuerst war die Regelung keinem der Befragten bekannt. Die Notwendigkeit von Geräuschgeneratoren wurde mehrheitlich in Frage gestellt. Erstens müssen Fussgänger im Geschwindigkeitsbereich von unter 25 km/h auch mit Fahrrädern rechnen. Zweitens wird sich diese Problematik mit zunehmender Verbreitung von E-Scooters schnell abschwächen, weil sich die Fussgänger daran gewöhnen.

4.3.4 Das Verhalten der E-Scooter-Fahrer von heute (Nutzerbefragung)

Aus der Nutzerbefragung (vgl. Kap. 2.5) liegen auch Ergebnisse zur Verkehrssicherheit vor. Die zwei auffälligsten daraus sind folgende:

- 80 % der befragten E-Scooter-Fahrer schalten das Licht auch tagsüber ein. Zum Vergleich: 68 % der Autofahrer fahren heute bei Tag mit Licht (bfu, 14.8.13, Radio SRF1, Espresso).
- 44 % der Befragten tragen nie oder selten eine Bekleidung, mit der sie für andere Verkehrsteilnehmer gut sichtbar sind.

Diese Aussagen zeigen, dass beim Verhalten der heutigen E-Scooter-Fahrer bezüglich Verkehrssicherheit noch ein beträchtliches Optimierungspotenzial besteht.

4.3.5 Vergleich mit E-Bikes

Mit der zunehmenden Verbreitung von E-Bikes (der Klassen Leichtmotorfahrräder und Motorfahrräder) auf Schweizer Strassen ist auch die Anzahl Unfälle mit E-Bikes angestiegen. Aufgrund der geringen Fallzahlen ist noch offen, ob E-Bikes überdurchschnittlich häufig an Unfällen beteiligt sind (bfu 2013). Die Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu vermutet jedoch, dass die Fahrer die infolge der höheren Geschwindigkeiten längeren Bremswege unterschätzen und andere Verkehrsteilnehmer die verbleibende Zeit bei herannahenden E-Bikes oft überschätzen (bfu 2012). Weil E-Scooters von der Fahrdynamik her eher mit Benzin-Rollern als mit E-Bikes vergleichbar sind, ist der Vergleich mit E-Bikes bezüglich Verkehrssicherheit von untergeordneter Bedeutung.

Zusammenfassung Kapitel 4.3

E-Scooters gehören mit den herkömmlichen Motorrädern zur Fahrzeugkategorie mit den höchsten Unfallraten. Zusätzlich zu den für alle Motorräder geltenden Gefahren kommen folgende spezifischen Gefahren hinzu:

- Herumliegende Kabel im öffentlichen Raum stellen eine Stolpergefahr dar. Ein weiteres Sicherheitsrisiko stellen externe Ladegeräte dar, wenn sie der Feuchtigkeit ausgesetzt sind.
- Wie alle Elektrofahrzeuge sind auch E-Scooters im Geschwindigkeitsbereich unter 30 km/h schlecht hörbar. Der Bundesrat hat im Frühling 2012 eine neue Regelung in die Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge (VTS) aufgenommen, wonach Fahrzeuge mit elektrischem Antrieb mit einem Geräuschgenerator zur Sicherstellung der Hörbarkeit ausgerüstet sein dürfen. Der entsprechende Geräuschpegel ist begrenzt, es handelt sich nicht um eine Lärmemmission. Damit ist absehbar, dass der Risikofaktor Geräuscharmut beseitigt wird.

5. Fördermassnahmen

Fördermassnahmen sind ein zentrales Standbein staatlicher Innovationspolitik. Mit Fördermassnahmen sollen die Entwicklung, Markteinführung und Marktdurchdringung von politisch erwünschten Technologien und Produkten gezielt gefördert werden. Der Baukasten möglicher Fördermassnahmen ist vielfältig. Gemäss der Instrumententypologie von Kaufmann-Hayoz et al. (2001) lassen sich die folgenden Kategorien von Instrumenten unterscheiden: Gebote und Verbote, marktwirtschaftliche Instrumente, Service- und Infrastrukturinstrumente, Vereinbarungen sowie Kommunikations- und Diffusionsinstrumente. Unseres Erachtens könnten Massnahmen aus all diesen Instrumentenkategorien zur Förderung von E-Scooters eingesetzt werden. De facto stehen aber finanzielle Anreize (v.a. in der Form von Subventionen) sowie Kommunikations- und Diffusionsinstrumente im Vordergrund.

Das vorliegende Kapitel befasst sich deshalb zuerst mit finanziellen Anreizen (5.1), die vor allem von kantonalen und kommunalen Akteuren angeboten werden, sowie mit verschiedenen Formen von Ausstellungen, die bundesseitig vor allem durch das vom BFE unterstützte Förderprogramm NewRide in Zusammenarbeit mit sogenannten E-Scooter-Regionen durchgeführt werden.[1] Dies geschieht einerseits durch kleinere lokale Roadshows (5.2) und andererseits im Rahmen von Ausstellungen an Messen, in erster Linie im Rahmen der wichtigsten nationalen Motorzweiradmesse Swiss-Moto (5.3). In einem abschliessenden Unterkapitel werden weitere Fördermassnahmen behandelt (5.4).

5.1 Finanzielle Anreize

Ziel dieses Arbeitspakets war es, eine Übersicht über die Förderbeiträge in der Schweiz zu geben und weitere finanzielle Anreize etwa bei den Motorfahrzeugsteuern oder bei Versicherungsprämien zu beschreiben und zu analysieren. Konkret ging es um die Beantwortung der folgenden Fragen:

- In welchen Kantonen und Gemeinden wird der Kauf von E-Scooters subventioniert? An welche Bedingungen sind die Subventionen geknüpft? Wie werden die Subventionen nachgefragt?
- Welche Modelle der Förderung von E-Scooters über Erleichterungen bei der Motorfahrzeugsteuer gibt es in der Schweiz? Welche Erfahrungen wurden damit gemacht? Wie könnten diese Modelle allenfalls verbessert werden?
- Ist es Erfolg versprechend, E-Scooters über finanzielle Anreize bei den Prämien für die Motorfahrzeugsteuern zu fördern? Gibt es Hinweise, dass E-Scooters den Versicherern weniger Kosten verursachen als konventionelle Scooters? Welche Position nimmt die Versicherungsbranche ein?

Der bisher vor allem bei der privaten Käuferschaft unter den Erwartungen gebliebene Absatz von E-Scooters und die geringe Spannbreite der eingesetzten Anreize (v.a. Kaufbeiträge) führte dazu, dass im Rahmen des Forschungsprojektes relativ wenige empirische Erkenntnisse zur Wirkungsweise von finanziellen Anreizen gewonnen werden konnten. Insbesondere sind E-Scooters für Versicherungen von Privatfahrzeugen noch kein Thema, weil sie bisher einen zu kleinen Markt dargestellt haben. Gleichwohl lassen sich einige wichtige Schlussfolgerungen ziehen, auf die wir im Folgenden eingehen.

5.1.1 Kaufbeiträge an die E-Scooters-Käuferschaft

Träger der Subventionen sind in der Schweiz in erster Linie die Gemeinden, teilweise in Kooperation mit lokalen Energieversorgern. In der Regel werden diese Fördergelder aus einem zweckgebundenen

[1] vgl. www.newride.ch

Stromsparfonds entnommen. Tabelle 10 zeigt den Stand der Kaufbeiträge Ende 2012. Dabei zeigt sich folgendes Bild:

- Eine flächendeckende und bezüglich Subventionsausgestaltung koordinierte Förderung mit Kaufbeiträgen existiert nicht. Dies widerspiegelt den föderalen Aufbau der Schweiz mit der hochgehaltenen Gemeindeautonomie. Einerseits ermöglicht dies als Vorteil das Experimentieren mit verschiedenen Kaufbeiträgen, andererseits wirkt aber nachteilig, dass die Branche die Kommunikation von Förderansätzen nicht auf nationaler Ebene angehen kann. Zudem ist für den Käufer die Übersicht über die Förderberechtigung nicht immer einfach (beispielsweise: Definiert nur der Wohnort die Beitragsberechtigung oder sind Subventionen auch am Arbeitsort möglich? Hier scheint es eine Grauzone zu geben).
- Kaufbeiträge gibt es in den meisten grossen Städten der Schweiz. Ausnahmen sind Genf, (dort scheiterte die Förderung bisher am schlechten Image der Roller aufgrund des weit verbreiteten ‚wilden' Parkierens ausserhalb markierter Parkfelder), Winterthur und seit 2012 auch Basel, wo die langjährige Förderung in erster Linie auf E-Bikes zielte, was nach dem Marktdurchbruch der E-Bikes als nicht mehr nötig betrachtet wurde.[1]
- Auch einige mittlere Städte und einige Agglomerationsgemeinden gewähren Kaufbeiträge.
- Die Höhe der Kaufbeiträge ist sehr unterschiedlich und schwankt zwischen etwa 5% und 25% des Kaufpreises.
- Minimal werden 300 Franken ausbezahlt, maximal im Rahmen einer limitierten Aktion höchstens 2'000 Franken.
- Bei den Gemeinden, welche E-Scooters fördern, handelt es sich typischerweise um Gemeinden, welche bereits E-Bikes subventioniert haben.

Gemeinde	**Kaufbeitrag**
Bern	10% vom Anschaffungspreis, max. CHF 1'000
Basel	keine Förderung mehr ab 2012
Bussigny-près-Lausanne	CHF 300
Gland	CHF 300
La Chaux-de-Fonds	10% vom Anschaffungspreis, max. CHF 500
Lancy	CHF 250
Lausanne	15% vom Anschaffungspreis, max. CHF 1'000
Luzern	25% vom Anschaffungspreis, max. CHF 2'000 für max. 50 Fahrzeuge
Martigny	CHF 400
Meyrin	CHF 500 (Anschaffungspreis min. CHF 1'500)
Muttenz	15% vom Anschaffungspreis, max. CHF 1'500
Neuchâtel	10% vom Anschaffungspreis, max. CHF 700
Prilly	CHF 1'000
St. Gallen	15% vom Anschaffungspreis, max. CHF 1'000
Zürich	10% vom Anschaffungspreis, max. CHF 1'000 für max. 75 Fahrzeuge
Wohlen (BE)	5% – 10% vom Anschaffungspreis, max. CHF 500

Tabelle 10: Übersicht Förderbeiträge E-Scooters, Stand Ende 2012. (Diverse Quellen)

5.1.2 Finanzielle Anreize bei der Motorfahrzeugsteuer

Neben einmaligen Kaufbeiträgen durch die Gemeinden werden die E-Scooters in den meisten Kantonen auch durch Rabatte bei den Motorfahrzeugsteuern gefördert. Tabelle 11 zeigt den Stand Ende 2012. Keine Rabatte gibt es in den Kantonen AI, AG GL und SZ. In den Kantonen GE, SO, SG, TI und ZH entfällt die Motorfahrzeugsteuer ganz (teilweise zeitlich befristet). Gegenüber den Kaufbeiträgen

[1] Die Förderlandschaft ist dynamisch: Beispielsweise will die Stadt Zürich die E-Scooter-Aktion Ende 2013 beenden. Beitragszahlungen für bis zum 31.12.2013 gekaufte Fahrzeuge erfolgen noch bis zum 30.06.2014.

sind die Anreize bei den Motorfahrzeugsteuern aber als zweitrangig zu bezeichnen, weil sie in der Höhe bescheiden sind und nicht einmalig beim Kauf, sondern jährlich bei der Steuerrechnung sichtbar werden. Für ein durchschnittliches Motorrad betrugen die Steuern 2011 im schweizerischen Mittel 52 Franken. Am höchsten waren die Motorfahrzeugsteuern im Kanton Glarus (90 CHF) am tiefsten im Kanton Zürich (23 CHF).[1] Im Vergleich zu den Kosten im Sinne der Total Ownership Cost (TCO, vgl. Kapitel 4.1.2) fallen diese Beiträge kaum ins Gewicht, die Motorfahrzeugsteuererleichterungen haben also eher eine symbolische Bedeutung.

Kanton	Motorfahrzeugsteuern
AG	Kein Rabatt
AI	Kein Rabatt
AR	Rabatt von 50%
BL	Rabatt von 50%
BS	Rabatt von 20%
BE	Rabatt von 50%
FR	Rabatt von 30%
GE	Rabatt von 100% für Jahr der 1. Inverkehrsetzung und die zwei folgenden Kalenderjahre
GL	Kein Rabatt
GR	Rabatt von 33%
JU	Rabatt von 50%
LU	Rabatt von 80%
NE	Rabatt von 50%
NW	Rabatt von 25%
OW	Rabatt von 70%
SH	Rabatt von 33%
SZ	Kein Rabatt
SO	Rabatt von 100%
SG	Rabatt von 100% für Jahr der 1. Inverkehrsetzung und die zwei folgenden Kalenderjahre
TG	Rabatt von 50%
TI	Rabatt von 100%
UR	Rabatt von 33%
VD	Rabatt von 80%
VS	Spezialsteuer von CHF 31 pro Jahr (Rabatt von 33% auf 125 cm3)
ZH	Rabatt von 100%
ZG	Rabatt von 50%

Tabelle 11: Übersicht Motorfahrzeugsteuer für E-Scooters, Stand Ende 2012. (Diverse Quellen)

5.1.3 Beurteilung der Förderpolitik

Finanzielle Anreize für E-Scooters können auf sehr verschiedene Akteurgruppen zielen: Sie können die Produktionsbedingungen für Produzenten ganz direkt verbessern, sie können die Margen der Händler erhöhen, und sie können die Kaufpreise sowie die laufenden Kosten für die Endkunden verbilligen. De facto sind bisher in erster Linie Subventionen an Endkunden ausgelöst worden, vor allem in der Form von Kaufbeiträgen sowie einer beschränkten Menge von Gratis-Ökostrom.

Finanzielle Anreize können neben der rein ökonomischen auch eine symbolische Wirkung entfalten, indem sie für die Käuferschaft als staatliches Gütesiegel zur Überwindung der Unsicherheit gegenüber einer neuen Technologie wirken. Zudem lassen sich finanzielle Anreize auch in der Kommunikation von Förderprogrammen effektiv einsetzen.

[1] Quelle: Eidgenössische Steuerverwaltung, http://www.estv.admin.ch/dokumentation/00075/00076/00720/01302/index.html?lang=de (abgerufen am 2. August 2013; Seite 33).

Die verschiedenen Wirkungsmechanismen von finanziellen Anreizen beeinflussen auch die optimale Höhe der Subventionen: Geht es nur um die symbolische Wirkung, genügen verhältnismässig geringe Subventionen, geht es um die Verbilligung der tatsächlichen Kaufpreise, braucht es eher höhere Subventionen. Erfahrungen aus anderen Forschungsprojekten zeigen, dass bei den E-Bikes die symbolische Wirkung der Subvention im Vordergrund stand (Moreni et al. 2006). Bei den (teureren) E-Scooters scheint dies weniger ausgeprägt der Fall zu sein. Daraufhin deutet das Beispiel Luzern, wo eine Erhöhung der Subvention von 10% auf 25% eine Erhöhung des Absatzes mit sich brachte, ohne dass sich angebotsseitig viel verändert hätte. Allerdings sind die Absatzzahlen nach wie vor auch in Luzern gering, so dass diese Entwicklung mit Vorsicht zu interpretieren ist. Das gleiche Beispiel Luzern deutet immerhin auch darauf hin, dass die grundsätzlich unerwünschten, aber kaum je gänzlich vermeidbaren Mitnahmeeffekte bei der E-Scooter-Förderung gering sein dürften: Wäre dem anders, wären die E-Scooters bereits beim niedrigeren Subventionssatz gekauft worden (Rieder et al. 2007).

Insgesamt zeigt sich, dass finanzielle Anreize für E-Scooters beim gegenwärtigen Stand der Markteinführung Sinn machen, zumindest wenn der Markt nicht als angebots-, sondern als nachfragelimitiert gelten kann. Besser scheinen uns (anders als vor einigen Jahren bei den E-Bikes in einem ähnlichen Stand der Marktdurchdringung) im Falle der E-Scooters eher hohe Subventionen, welche dafür zeitlich befristet und bezüglich der Anzahl geförderter Fahrzeuge gedeckelt sind. Damit kann kurzfristig ein starker Impuls gegeben werden, ohne dass damit langfristig nicht marktfähige Strukturen aufgebaut würden. Ein analoger Ansatz wurde in den USA mit Erfolg für Hybridfahrzeuge umgesetzt (vgl. de Haan & Zah 2013: 160). Geringe Kaufbeiträge mit symbolischer Wirkung dürften bei den E-Scooters derzeit wenig Wirkung entfalten, könnten aber in einer späteren Phase der Markteinführung durchaus Sinn machen. Zu überdenken wäre unseres Erachtens der Adressat der Subvention: Möglicherweise wäre es besser, einen Teil der Subvention an die Händler auszubezahlen, da sich diese immer wieder als Schwachpunkt der Vertriebskette erwiesen haben, unter anderem weil die Margen beim Verkauf von E-Scooters im Vergleich zu den Margen bei E-Bikes bisher gering sind.

Wünschenswert, aber angesichts der föderalen Strukturen wenig wahrscheinlich wäre eine nationale Koordination der Förderung. Dies würde insbesondere eine kohärente Kommunikationsstrategie erleichtern.

Zusammenfassung Kapitel 5.1

Eine flächendeckende und bezüglich Subventionsausgestaltung zwischen den Gemeinden koordinierte Förderung mit Kaufbeiträgen existiert nicht. Dies wiederspiegelt den föderalen Aufbau der Schweiz mit der hochgehaltenen Gemeindeautonomie. Die Höhe der Kaufbeiträge ist sehr unterschiedlich und schwankt zwischen etwa 5% und 25% des Kaufpreises. Grössere Mitnahmeeffekte sind dabei nach unserer Einschätzung nicht aufgetreten. Neben einmaligen Kaufbeiträgen durch die Gemeinden werden die E-Scooters in den meisten Kantonen auch durch Rabatte bei den Motorfahrzeugsteuern gefördert. Gegenüber den Kaufbeiträgen sind die Anreize bei den Motorfahrzeugsteuern aber als zweitrangig zu bezeichnen, weil sie in der Höhe bescheiden sind und nicht einmalig beim Kauf sondern jährlich bei der Steuerrechnung sichtbar werden.

Insgesamt kommen wir zum Schluss, dass finanzielle Anreize für E-Scooters beim gegenwärtigen Stand der Markteinführung Sinn machen. Besser scheinen uns (anders als bei den E-Bikes in einem ähnlichen Stand der Marktdurchdringung) eher hohe Subventionen, welche dafür zeitlich befristet und bezüglich der Anzahl geförderter Fahrzeuge gedeckelt sind. Möglicherweise wäre es aber besser, einen Teil der Subvention an die Händler auszubezahlen, da sich diese immer wieder als Schwachpunkt der Vertriebskette erwiesen haben.

5.2 Erfolgsfaktoren E-Scooter-Testtage

Auf nationaler Ebene stellen Fahrzeug-Ausstellungen mit der Möglichkeit zu Probefahrten im Rahmen des Programms NewRide eine zentrale Aktivität der E-Scooter-Förderung dar. Im Forschungsprogramm ging es darum, diese Ausstellungstätigkeit begleitend zu evaluieren und Anregungen zur Verbesserung in das laufende Programm einzubringen. Diese Anregungen sind in den einzelnen, jährlich erstellten Berichten zu den Testtagen enthalten und werden hier nur noch am Rand erläutert (Schwander, Hofmann 2011 sowie Haefeli, Arnold 2012). Die folgenden Fragen sollten beantwortet werden:

- Wie verlaufen E-Scooter-Events? Wie nehmen die Besucher die E-Scooters auf? Wie unterscheiden sich die E-Scooter-Interessierten von zu E-Bike-Interessierten? Wie verhalten sich die Anbieter untereinander an den Ausstellungen? Wie kann die Motorradbranche mit einbezogen werden?
- Welche Rolle spielt die Medienarbeit? Welche Kommunikationskanäle sind besonders Erfolg versprechend? Gibt es wichtige Unterschiede zur Kommunikation von E-Bikes und welche Schlüsse wären daraus zu ziehen?

5.2.1 Evaluation der Testtage

Jeweils Anfang Jahr melden sich Gemeinden und Städte, welche Testtage durchführen möchten, bei NewRide an. Dabei steht es den Kommunen frei, ob sie nur E-Bike-, nur E-Scooter- oder gemischte Anlässe durchführen bzw. solche bei NewRide in Auftrag geben möchten. 2012 nahmen 26 Gemeinden und Städte bei NewRide teil (s. Tabelle 12; 2010 waren es 33, 2011 28), sowie 192 Händler, 18 E-Bike- und 10 E-Scooter-Anbieter. Mit Gemeinschaftsständen an ausgewählten Fachmessen und bei Firmen, Gemeinden und NewRide Händlern wurden einem breiten Publikum Elektrozweiräder präsentiert. Diese flexibel einsetzbaren Roadshows ermöglichten den Interessentinnen und Interessenten die verschiedenen E-Bikes und E-Scooters zu testen und miteinander zu vergleichen.

Ab 2011 unterstützte EnergieSchweiz die Aktivitäten rund um die E-Bikes nicht mehr finanziell (das heisst, die E-Bike-Roadshows wurden ohne Bundesmittel finanziert und wurden für die Branche und die Gemeinden damit etwas teurer), im Bereich der E-Scooters blieb EnergieSchweiz jedoch der wichtigste Partner von NewRide.

Gemeinden aus der Deutschschweiz	Gemeinden aus der Westschweiz
Baden	Bussigny-près-Lausanne
Basel	Gland
Bern	La Chaux-de-Fonds
Gossau ZH	Lancy
Köniz	**Lausanne**
Küsnacht	Le Grand-Saconnex
Langenthal	Martigny
Liestal	Meyrin
Luzern	Montreux
Muttenz	**Neuchâtel**
Schaffhausen	Prilly
St. Gallen	Pully
Winterthur	
Wohlen	
Zumikon	
Zürich	

Tabelle 12: NewRide Gemeinden 2012. Legende: fett: E-Scooter-Gemeinde; normal: E-Bike-Gemeinde. (Quelle: NewRide Broschüre 2012)

Als einen der zentralen Indikatoren für den Erfolg der Ausstellungstätigkeit betrachten wir zunächst die Zahl der Testtage. Insgesamt wurde im Verlaufe des Jahres 2012 an 73 Tagen eine Roadshow durchgeführt (s. Abbildung 34). An 30 Testtagen konnten ausschliesslich E-Bikes Probe gefahren werden. Während 43 Testtagen wurden E-Scooters zur Probe ausgestellt mit der zusätzlichen Möglichkeit, auch E-Bikes testzufahren. 60 Testtage fanden im deutschsprachigen, 13 im französischsprachigen Raum statt. Abbildung 34 zeigt, dass sich die im Jahr 2011 festgestellte Abnahme der Anzahl Testtage weiter fortgesetzt hat. Der Rückgang lässt sich einerseits dadurch erklären, dass E-Bikes-Roadshows in diesen beiden Jahren nicht mehr durch EnergieSchweiz unterstützt wurden, sondern von der Branche und den Gemeinden selber finanziert werden mussten. Andererseits verfügen die grossen E-Bike-Hersteller und Fachhändler mittlerweile vermehrt über eigene Ausstellungsinfrastrukturen. In diesem Jahr führte NewRide einen grossen Teil der Testtage gemeinsam mit E-Bike-Anbietern (Herstellern und Händlern) durch, d.h. diese Mitaussteller waren mit ihrer eigenen Infrastruktur (2-3 Zelte) vor Ort. Die Entwicklung kann demnach positiv bewertet werden: Insgesamt kann davon ausgegangen werden, dass die E-Bike-Branche in geringerem Mass von einer neutralen Organisation wie NewRide abhängt als in den vorhergehenden Jahren, dass die Nachfrage nach NewRide-Roadshows aber nach wie vor besteht und die Branche und die NewRide-Gemeinden auch bereit sind, die entsprechenden Kosten zu übernehmen. Vor diesem Hintergrund gehen wir davon aus, dass die NewRide-Roadshow oder ähnliche Ansätze auch für E-Scooters wesentlich zu einem Marktdurchbruch und zur dauerhaften Etablierung dieser Fahrzeugkategorie beitragen können.

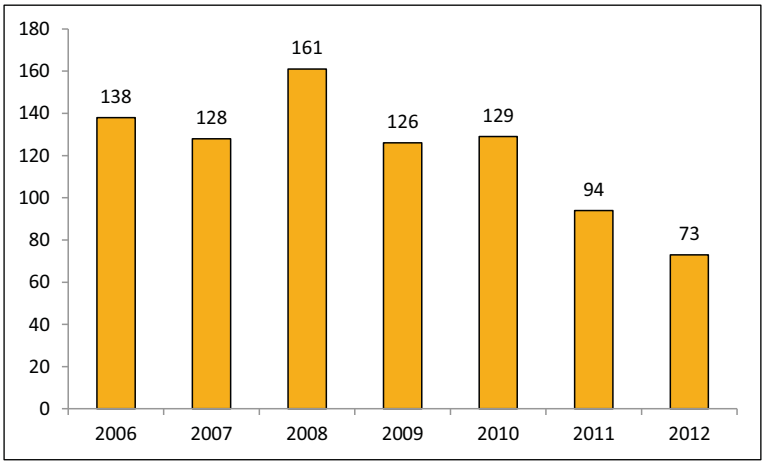


Abbildung 34: Anzahl Roadshow-Testtage in den Jahren 2006 bis 2012.

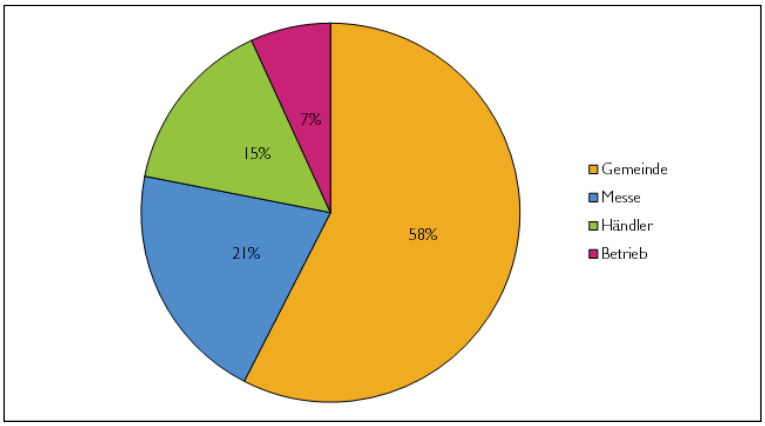


Abbildung 35: Prozentuale Anteile der Roadshow-Organisationsformen im Jahr 2012.

Die Roadshows lassen sich unterschiedlichen Typen zuordnen: Die Ausstellungstage können von Gemeinden, Händlern, Betrieben oder im Rahmen übergeordneter Messen organisiert sein. Abbildung 35 zeigt die prozentualen Anteile dieser verschiedenen Organisationsformen.

Mehr als die Hälfte der Roadshows (42, 58%) fanden im Rahmen von Gemeindeveranstaltungen statt. Im Vergleich dazu wurden im Jahr 2011 nur 34% der Roadshows von Gemeinden organisiert. Am zweithäufigsten waren die Roadshows in übergeordnete Messeveranstaltungen integriert (15, 21%). Seltener waren Händler (11, 15%) oder Betriebe (5, 7%) die Organisatoren.

Als weiterer zentraler Erfolgsindikator kann die Zahl der Probefahrten gelten: Die Besucherinnen und Besucher der Roadshows hatten die Möglichkeit E-Bikes und E-Scooters Probe zu fahren (Abbildung 36). 2012 wurden total 2082 Testfahrten realisiert. Wiederum lässt sich diese Zahl nicht mit den Werten der Vorjahre vergleichen (siehe oben). Als Benchmark kann dafür die Zahl der Testfahrten pro Besucher herangezogen werden. Die folgende Abbildung zeigt, dass dieser Quotient 2009 bei 0.5 liegt, dass also auf zwei Standbesucher eine Testfahrt kommt.[1] Die Anzahl der pro Besucher realisierten Testfahrten ist seit dem Höhepunkt von 2009 kontinuierlich leicht gesunken, liegt aber immer noch deutlich über den Werten von 2007 und 2008. Dies lässt sich durch die Fokussierung der NewRide-Aktivitäten auf E-Scooters erklären, bei welchen für Probefahrten höhere Hindernisse bestehen (bspw. Führerscheinbesitz, Erfahrung mit Motorrädern usw.) als bei E-Bikes. Aber auch hier ist bei der Interpretation eine gewisse Vorsicht geboten: Die Anzahl Besucher ist oft nur eine sehr grobe Schätzung.[2]

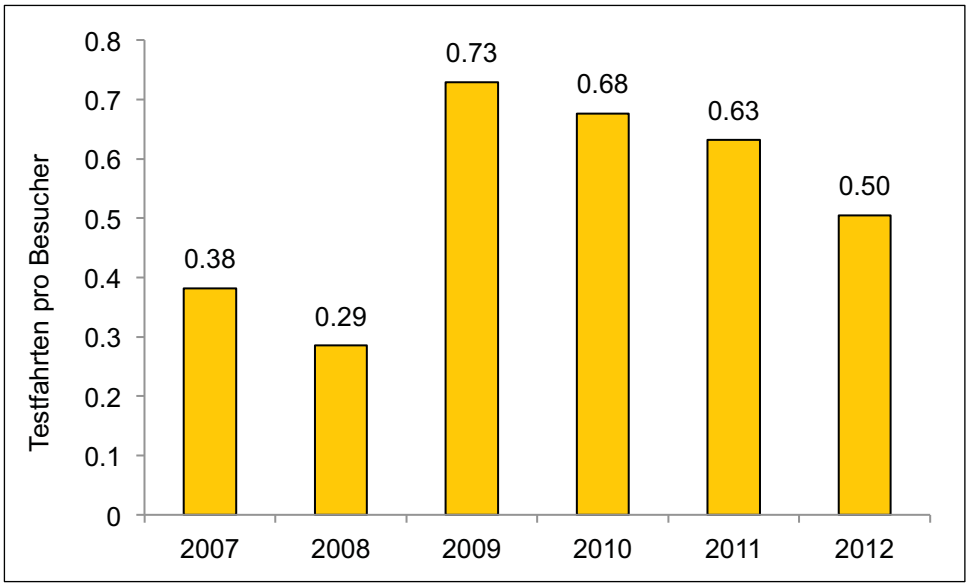


Abbildung 36: Anzahl E-Bike- und E-Scooter-Testfahrten pro Besucher 2007-2012.

Im Jahr 2012 wurden an 73 Roadshow-Tagen insgesamt 2‘082 Testfahrten mit E-Bikes oder E-Scooters registriert, was einem Durchschnitt von 28.5 Testfahrten pro Roadshow entspricht. Insgesamt besuchten 4‘033 Personen eine (oder mehrere) der 73 Roadshows. Dies entspricht 56 Personen pro Ausstellungstag. In den letzten Jahren war eine höhere durchschnittliche Besucherzahl zu verzeichnen: 2009 besuchten im Durchschnitt 100, 2010 133 Personen eine Roadshow.[3]

Bei den Roadshows ist es gut gelungen, die (relative) Vielfalt der Marken und Modelle zu präsentieren. Für die NewRide-AkteurInnen war die Motivierung der Aussteller jedoch häufig mit relativ hohem Aufwand verbunden, insbesondere im Bereich der E-Scooters mit seinen noch geringen Absatzzah-

[1] Wobei selbstverständlich die Möglichkeit besteht, dass einzelne Besucher mehr als eine Probefahrt gemacht haben.

[2] Als Besucher gelten Personen, bei denen entweder ein direkter Kontakt zum Ausstellungspersonal bestand oder Prospekte usw. studiert und/oder mitgenommen wurden.

[3] Vgl. Schwander, Sandra; Hofmann, Heidi (2011): Auswertung der NewRide-Roadshows 2011, Bern, S. 5.

len.[1] Der gemeinsame Auftritt verschiedener Marktkonkurrenten im Rahmen der Roadshows führte jedoch nie zu grösseren Problemen. Auch diesbezüglich hat sich der Ansatz der Roadshows bewährt.

Beschränkt man sich auf die 43 E-Scooter-Testtagen, so wurden insgesamt 677 Probefahrten mit E-Scooters registriert.[2] Pro Ausstellungstag wurden folglich durchschnittlich 16 E-Scooters testgefahren. Abbildung 37 zeigt die Anzahl Testfahrten nach Marken.

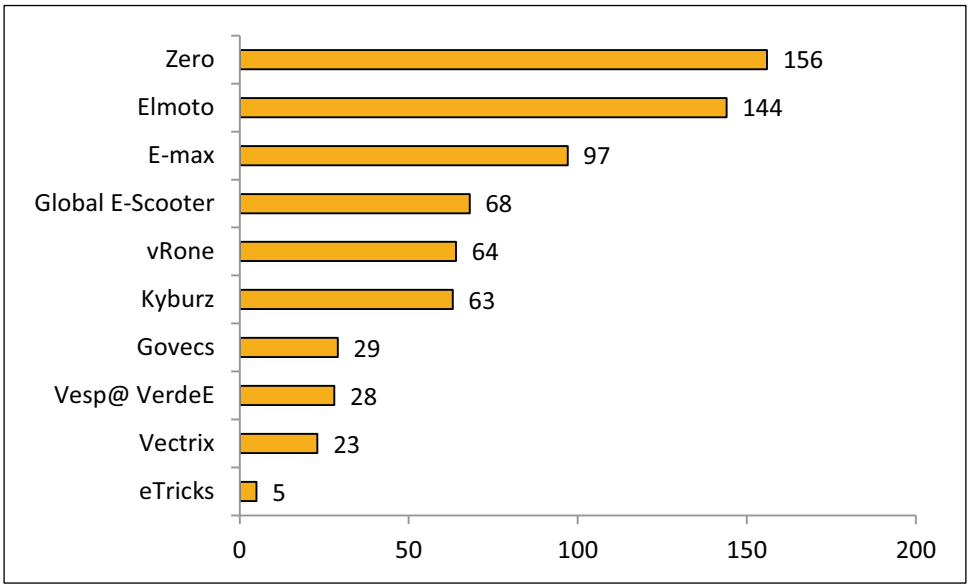


Abbildung 37: Anzahl E-Scooter Testfahrten nach Marken pro Jahr (Stand 2012).

Die häufigsten Testfahrten verzeichnete die Marke Zero, gefolgt von der Marke Elmoto. Beide Marken machen 44% aller Testfahrten aus. 14% der Testfahrten wurden mit E-max Fahrzeugen unternommen. Fahrzeuge der Marken Global E-Scooter, vRone und Kyburz machten alle je rund 10% aller getesteten E-Scooters aus. Weniger häufig getestet wurden die Marken Govecs, Vesp@VerdE, Vectrix und eTricks.

Zusätzlich zu den E-Scooter-Probefahrten wurden 636 E-Bike-Probefahrten registriert, was einem Durchschnitt von 15 Fahrten pro Testtag entspricht. Fasst man E-Scooter- und E-Bike-Probefahrten zusammen, ergibt sich ein Durchschnitt von gut 30 Fahrten pro E-Scooter-Testtag. Die Zufriedenheit der Testfahrer mit den Fahrzeugen war im Durchschnitt sehr hoch (siehe dazu ausführlicher unten im Unterkapitel zur Swiss-Moto).

5.2.2 Rolle der Kommunikation

Kommunikation spielt im Vorlauf, während und auch nach Ausstellungen selbstverständlich eine zentrale Rolle. NewRide unterstützt die lokalen Veranstalter von E-Scooter-Testtagen bei der Pressearbeit, bei der Herstellung von Printprodukten und stellt dadurch auch einen einheitlichen Auftritt sicher. Zusätzlich stellt NewRide jedes Jahr eine gedruckte Broschüre mit u.a. dem Fahrzeugangebot und einem Händlerverzeichnis her und betreibt kontinuierliche Medienarbeit und eine eigene, zweisprachige Website. Diese Tätigkeit kann mit den folgenden Eckwerten umschrieben werden: 2012 erschienen in der deutschen und französischen Schweiz in den Printmedien etwa 2'500 Artikel zu elektrischen Zweirädern, was einem Plus von etwa 20% entspricht (der Anteil der Berichte über E-Scooters dürfte

[1] Der Motivationsaufwand war auch gross, weil die Importeure sich mangels Händlern oft selber um die Roadshows kümmern mussten.

[2] Datenbasis hierfür bieten die von den TestfahrerInnen ausgefüllten Probefahrtenformulare.

etwa einem Fünftel entsprechen).[1] Mit dem Thema Elektrozweiräder wurden sämtliche Medien erreicht, unabhängig, ob Tages- oder Wochenzeitung, politisch, generalistisch oder Boulevard.

Die Besuche der Website sind in den letzten Jahren stetig gestiegen, im ersten Semester 2012 auf 36‘000 unterschiedliche Besucher (+5’000), die bei 50‘000 Besuchen (+8000) 237‘000 Seiten (+37‘000) heruntergeladen haben. 25‘000 E-Bikes (+6’000) und 5’500 E-Scooters (-1’500) wurden miteinander verglichen. 13‘000 Händler (+2’000) wurden mithilfe der Website newride.ch ermittelt.

Bei den E-Scooter-Testtagen wurden die Probefahrenden gefragt, wie sie auf den Anlass aufmerksam wurden. 371 Testfahrerinnen und Testfahrer machten entsprechende Angaben. Abbildung 38 zeigt die prozentualen Anteile der verschiedenen Informationsquellen.

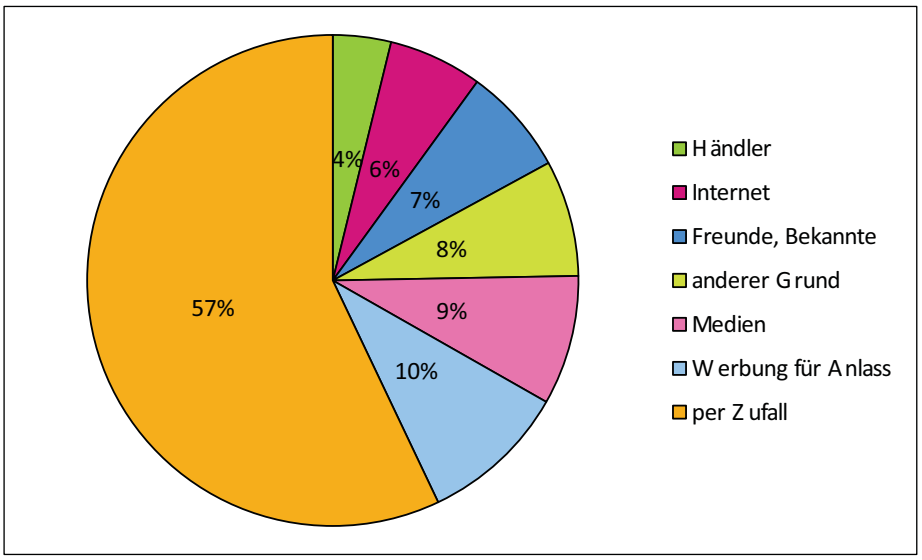


Abbildung 38: Wie auf Anlass aufmerksam geworden? (Prozentuale Anteile).

Mehr als die Hälfte (57%, N=194) gab an, per Zufall beim Event vorbeigekommen zu sein. Werbung und Medien gaben 9% (N=21) bzw. 8% (N=29) als Informationsquelle an. Freunde und Bekannte (N=24), das Internet (N=21) und die Händler (N=13) trugen weniger stark zur Aufmerksamkeit auf die Veranstaltungen bei.

Im Vergleich zu den E-Bikes weist die Kommunikation von E-Scooters unabhängig vom Stand der Diffusion der Technologie deutliche Unterschiede auf:

- Der Velomarkt ist viel grösser als der Scooter-Markt. Dementsprechend ist das Interesse für E-Bikes bei den Journalisten grösser als für E-Scooters.
- Alle Journalisten können E-Bikes Probefahren; für die E-Scooters fehlt vielen der entsprechende Ausweis. Probefahrten von Journalisten stellen jedoch für die Wahrscheinlichkeit der Berichterstattung einen wesentlichen Faktor dar.
- Der sinnliche Unterschied bei Probefahrten zwischen Velos und E-Bikes ist grösser als zwischen E-Scooters und Benzin-Rollern/Motorrädern, was die Berichterstattung über E-Bikes erleichtert.

Auch bei gleichem Diffusionsstand stellt demnach die Kommunikation der E-Scooter-Förderung im Vergleich zu den E-Bikes eine grössere Herausforderung dar. Darüber hinaus gibt es heute aber selbstverständlich enorme Unterschiede im Diffusionsstand: E-Bikes sind verbreitete, etablierte und technisch voll ausgereifte Fahrzeuge, angeboten von prosperierenden Unternehmen mit den entsprechenden Kommunikationskanälen.

[1] Einschätzung durch den Kommunikationsbeauftragten von NewRide.

5.2.3 Erfolgsfaktoren

Die Testtage erwiesen sich insgesamt als ausgezeichnetes Instrument zur Förderung der E-Scooters. Es konnten eine hohe Zahl von Interessierten informiert und viele Probefahrten durchgeführt werden. Durch die begleitenden Evaluationen konnten die Roadshows laufend den Bedürfnissen angepasst werden. Folgende Erfolgsfaktoren stehen für uns im Vordergrund:

- Günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis. Vor allem dank den eingespielten Abläufen, einer einfachen Ausstellungsinfrastruktur, welche in einem Mobility-Auto Platz findet und dank relativ niedrigen Lohnkosten der Studierenden, welche die Roadshows vor Ort betreuten, ist von einem sehr guten Kosten-Nutzen-Verhältnis der Testtage auszugehen. Die Kosten pro Testtag beliefen sich auf 2‘000-3‘000 Franken. Damit wurden vor allem folgende Wirkungen erzielt (alle Roadshows, also inklusive E-Bikes):
  - Etwa 100 Besuche
  - Etwa 30 Probefahrten
  - Persönliche Beratung durch Road-Show-Personal
  - Medienartikel und Abgabe von NewRide-Broschüren
- Die hohe personelle Kontinuität sowohl auf Seiten von NewRide als auch beim Roadshow-Personal ermöglicht eine qualitativ hochstehende Beratung der Kundschaft.
- Die gemeinsame Ausstellung von E-Scooters mit E-Bikes hat sich sehr bewährt. Viele besuchen den Stand wegen der bereits etablierten E-Bikes und kommen dort auch mit den E-Scooters in Kontakt.
- Laufkundschaft: Da die Roadshows in der Regel an Orten mit hohem Fussgängeraufkommen durchgeführt werden, konnten immer auch Leute angesprochen werden, die E-Scooters noch wenig kennen (57% zufällige Besucher 2012).

Zusammenfassung Kapitel 5.2

Die Testtage erwiesen sich insgesamt als ausgezeichnetes Instrument zur Bekanntmachung der E-Scooters. 2012 wurden bei 43 E-Scooter-Testtagen insgesamt 677 Probefahrten mit E-Scooters registriert. Folgende Faktoren prägten unseres Erachtens den Erfolg des Instruments Testtage:

- Günstiges Kosten-Nutzen-Verhältnis dank einfacher Ausstellungsinfrastruktur und gut eingespieltem Betreuungsteam
- Die hohe personelle Kontinuität sowohl auf Seiten von NewRide als auch beim Roadshow-Personal ermöglicht eine qualitativ hochstehende Beratung der Kundschaft.
- Die gemeinsame Ausstellung von E-Scooters und E-Bikes hat sich sehr bewährt. Viele besuchen den Stand wegen der bereits etablierten E-Bikes und kommen dort auch mit den E-Scooters in Kontakt.
- Laufkundschaft: Da die Roadshows in der Regel an Orten mit hohem Fussgängeraufkommen durchgeführt werden, konnten immer auch Leute angesprochen werden, die E-Scooters noch wenig kennen (57% zufällige Besucher 2012).
- Die Kommunikation der E-Scooters ist unabhängig vom Diffusionsstand weniger einfach als die Kommunikation von E-Bikes.

5.3 Swiss-Moto 2009-2013

Die Aktivitäten im Rahmen der Swiss-Moto, der wichtigsten Motorradmesse der Schweiz, stellen einen Eckpfeiler der Aktivitäten zur E-Scooter-Förderung dar, weshalb ihnen im Rahmen des Forschungsprogramms ebenfalls besondere Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Ziel war es, die Wirkungen der breit gefächerten Mittel detailliert zu untersuchen und Empfehlungen im Hinblick auf die Weiterent-

wicklung dieses mit Abstand grössten Anlasses der E-Scooter-Förderung zu formulieren. Konkret galt es die folgenden Fragen zu beantworten:

- Aussteller: Wie bewerten die jeweiligen Aussteller die Swiss-Moto und welche mittelfristigen Auswirkungen hatte die Ausstellung in Bezug auf Verkäufe, Medienkontakte und den Aufbau des Händlernetzes? Wie können neue Aussteller gewonnen werden? Wie sieht der ideale Kontaktverlauf aus?
- Händler: Wie beurteilen sie den Event und wie haben sich die Kontakte zu den Ausstellern entwickelt?
- Swiss-Moto Besucher: Wie wurden die Besucher auf die Sonderausstellung aufmerksam? Haben sie weitere Informationen bestellt und zugestellt bekommen? Wurde ein Fahrzeug gekauft? Was für ein Fahrzeug?

Die fünf von NewRide seit 2009 durchgeführten Sonderausstellungen ALL ELECTRIC wurden vertieft evaluiert. Die Evaluationsresultate sind in sechs öffentlich zugänglichen Berichten mit Empfehlungen zur Verbesserung der Ausstellung dokumentiert (Schwegler, Schneider 2008; Landis, Haefeli 2009, 2010; Landis, Helbling 2011; Landis 2012; Landis, Arnold 2013). Die Berichte enthalten auch Aussagen darüber, welche der Empfehlungen tatsächlich umgesetzt wurden. Im Rahmen des vorliegenden Schlussberichtes werden nur die wichtigsten Ergebnisse dieser sechs Evaluationen dargestellt.

2009 bis 2012 fand die ALL ELECTRIC in der nur dafür reservierten Halle 7 statt, in der auch Probefahrten möglich waren, was sonst an der Swiss-Moto nicht möglich ist. 2013 wurde die Ausstellung in die ‚normale' Ausstellung in der Halle 2 integriert, ohne Möglichkeit zum Probefahren, dies aufgrund mangelnder Nachfrage der Branche; dafür wurde eine halbtägige Tagung zum Thema ‚E-Scooter-Markt Schweiz: Akteure, Technologien und Perspektiven' durchgeführt.

5.3.1 Aussteller

Die Aussteller zeigten sich mehrheitlich zufrieden mit der Messe, der Auftritt konnte von Jahr zu Jahr kontinuierlich verbessert werden (s. Tabelle 13). Vor allem die Möglichkeit des Probefahrens direkt vor Ort in der Halle 7 wurde als wichtiger Pluspunkt erwähnt. Bei Nachbefragungen stellte sich jedoch auch heraus, dass die Anzahl der dank der Messe realisierten Verkäufe generell eher unter den (wohl unrealistischen) Erwartungen der Aussteller geblieben ist. Dadurch verschlechterte sich für viele Aussteller das Kosten-Nutzen-Verhältnis des Messeauftritts deutlich, weshalb einige in den Folgejahren auf eine Teilnahme verzichten mussten. Auch gaben viele Aussteller an, dank den Kontakten während der Swiss-Moto nicht im erhofften Ausmass neue Händler gefunden zu haben. Zudem zeigten sich in den letzten Jahren einige enttäuscht vom Medienecho und damit auch von der Kommunikationstätigkeit von NewRide; diesbezüglich möglicherweise verwöhnt vom teilweise fast überwältigenden Medienecho (bspw. längere Beiträge in der Hauptausgabe der Tagesschau 2008 und 2009) der ersten ALL ELECTRIC-Jahre, welches aus der Sicht von NewRide vor allem den damals von den Medien noch als sehr neu wahrgenommen E-Scooters geschuldet war.

Jahr	Anzahl Marken	Ausstellungsfahrzeuge	Testfahrzeuge
2008	12	21	14
2009	6	Nicht erhoben	Nicht erhoben
2010	12	84	65
2011	15	ca. 50	ca. 15
2012	24	86	26
2013	12	52	0

Tabelle 13: Anzahl an der Swiss-Moto ausgestellte Marken Ausstellungs- und Testfahrzeuge.

5.3.2 Händler

Händler bilden ein zentrales Glied in der Vertriebskette von E-Scooters. Und da die Swiss-Moto nicht zuletzt als Händler-Messe gilt, interessierte aus Sicht der Evaluation besonders, welche Wirkungen der ALL ELECTRIC auf die Händlerschaft nachgewiesen werden konnten.

Im Rahmen einer Kooperation mit dem Schweizerischen Fahrrad- und Motorrad-Gewerbe-Verband SFMGV wurden dessen Mitglieder im Nachgang zur Swiss-Moto 2009 befragt. In der Aprilausgabe seiner Verbandszeitung ‚2Rad Schweiz' hat der SFMGV allen seinen Mitgliedern (ca. 800) einen von uns erstellten Fragebogen zukommen lassen. Dieses Vorgehen hat erlaubt, auch von den Händlern eine Einschätzung zur Sonderschau ‚E-Scooter' zu erhalten. 52 Händler und Händlerinnen haben dem SFMGV einen ausgefüllten Fragbogen zurückgesendet, wobei rund drei Viertel (40 Personen) angaben, die Sonderschau ‚E-Scooter' in der Halle 7 ‚ALL ELECTRIC' besucht zu haben. Dieser Rücklauf deutet, auch aus Sicht des Verbands, auf ein gewisses Interesse der Branche hin. Von denjenigen Händlern, die angegeben hatten, die Sonderschau ‚E-Scooter' besucht zu haben, war die grosse Mehrheit sehr oder eher zufrieden damit. Knapp zwei Drittel gaben an, Kontakt mit den Ausstellern der Sonderschau ‚E-Scooter' gehabt zu haben. Fünf Händler hatten bereits vor der Swiss-Moto 09 einen Vertrag für eine E-Scooter-Vertretung, vier weitere schlossen im Anschluss an die Swiss-Moto 09 einen Vertrag für eine E-Scooter-Vertretung ab und mehr als die Hälfte der Antwortenden konnte sich durchaus vorstellen, Verträge für E-Scooter-Vertretungen abzuschliessen. 85 Prozent der Antwortenden gingen davon aus, dass E-Scooters in den nächsten zehn Jahren den Durchbruch auf dem Markt schaffen werden (s. Abbildung 39).

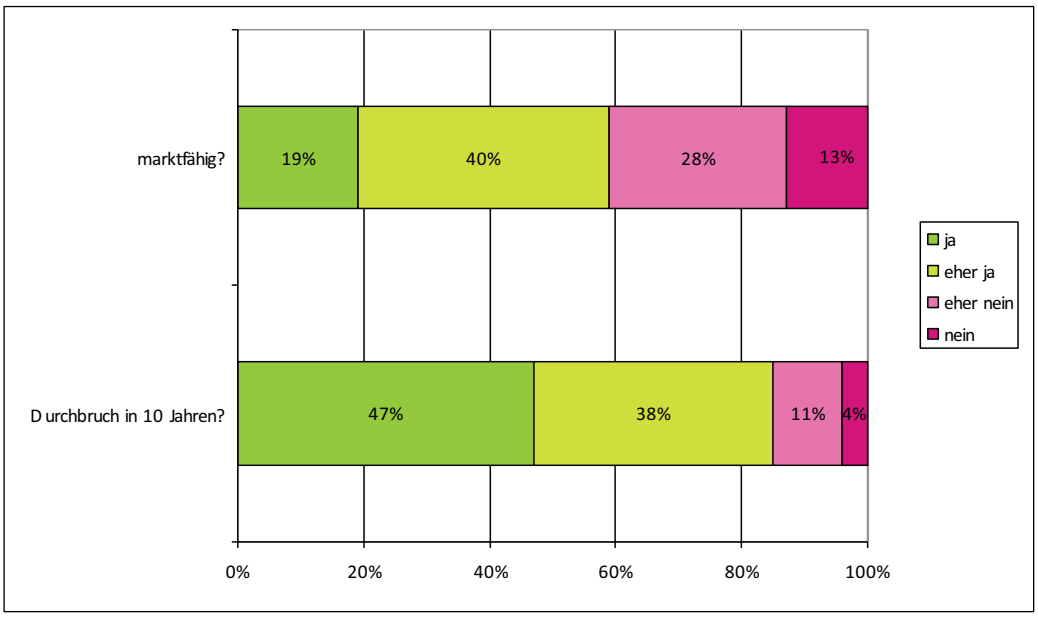


Abbildung 39: Einschätzung der Marktfähigkeit und Durchbruch der E-Scooters durch SFMGV-Mitglieder im Nachgang zur Swiss-Moto 2009.

5.3.3 Besucher

Das Interesse des Swiss-Moto-Publikums an der ALL ELECTRIC kann als sehr gross bezeichnet werden. Jeweils etwa zwei Drittel besuchten die Halle 7 (im obersten Stock der Messe, wo es ausser der ALL ELECTRIC keine weiteren Aussteller gab). Insgesamt waren es jeweils zwischen 30‘000 und 40‘000 Personen, welche sich über E-Scooters informierten. Viele liessen sich auch für eine Probefahrt motivieren (s. Tabelle 14), obwohl dafür aus versicherungstechnischen Gründen ein Fahrausweis vorzulegen war. Im Anschluss an die Probefahrt wurde im Rahmen der Evaluation jeweils eine kleine Stichprobe zu den Eindrücken befragt. Durchschnittlich zeigten sich etwa zwei Drittel zufrieden mit der

Probefahrt, das restliche Drittel äusserte eine mittlere oder geringe Zufriedenheit. Im Zeitablauf lässt sich keine Tendenz zu einer grösseren Zufriedenheit mit den Fahrzeugen feststellen (allerdings waren die Samples zu klein, um geringe Unterschiede abzubilden). Mit den verbesserten Fahrzeugen sind anscheinend auch die Ansprüche gestiegen. Nur eine Minderheit der Probefahrenden (etwa ein Viertel) konnte sich vorstellen, in den nächsten Jahren einen E-Scooter zu erwerben.

Jahr	Anzahl Marken	Anzahl Testfahrzeuge	Personen mit Probefahrten
2009	6	Nicht erhoben	1202
2010	12	65	1017
2011	15	ca. 15	979
2012	24	26	1076

Tabelle 14: Probefahrten an der Swiss-Moto 2009-2012[1].

Alle Personen, die eine Probefahrt gemacht haben, wurden bei der Registrierung gefragt, wie sie auf die Sonderschau ‚E-Scooters' aufmerksam geworden sind. Abbildung 40 stellt das Ergebnis für das Jahr 2012 dar.

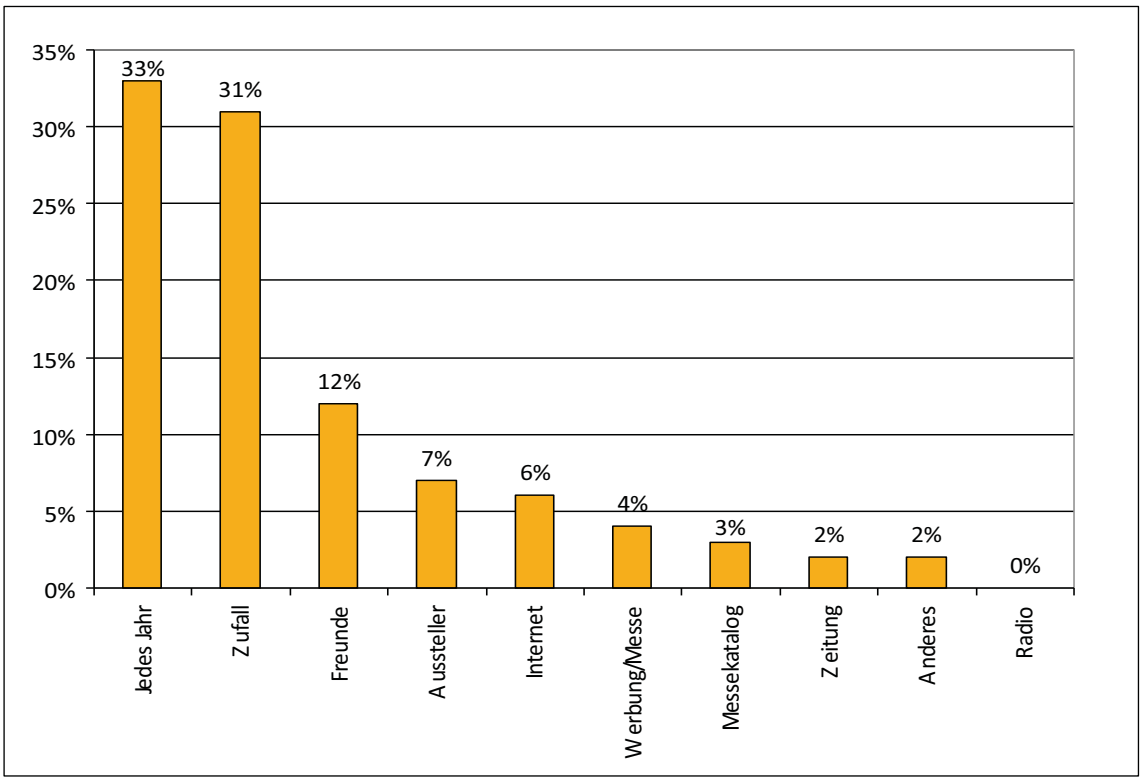


Abbildung 40: Informationsquellen Swiss-Moto 2012 (N=913).

Der grösste Teil der Antwortenden gibt an, aufgrund der Swiss-Moto in den Vorjahren von dieser gewusst zu haben (33 Prozent) oder per Zufall an die Sonderschau gekommen zu sein (31 Prozent). In diesem Sinne kann gesagt werden, dass sich die kontinuierliche Präsenz an der Swiss-Moto durchaus bewährt hat.

Zusammenfassung Kapitel 5.3

Die seit 2008 durchgeführten Sonderschauen zu E-Scooters an der wichtigsten Motorradmesse der Schweiz, der Swiss-Moto in Zürich bildeten einen Schwerpunkt der Förderaktivitäten. Die Sonder-

[1] 2008 und 2013 kein Testparcours.

schauen wurden jeweils im Rahmen des E-Scooter-Forschungsprojekts begleitend evaluiert, die entsprechenden Berichte sind öffentlich zugänglich. Der grosse mit den Sonderschauen verbundene Aufwand lässt sich rechtfertigen durch eine sehr hohe Resonanz beim Publikum, welche sich in Besucherzahlen von jährlich zwischen 30‘000 und 40‘000 Personen sowie in jährlich durchschnittlich etwa 1‘000 Probefahrten niederschlug. Auch wenn die verschiedenen Akteurgruppen (Aussteller, Händler, Besuchende) eine hohe Zufriedenheit mit der Sonderschau äusserten, bleibt festzuhalten, dass (auch) von der Swiss-Moto keine entscheidenden Impulse für die Marktentwicklung ausgingen. Aus Sicht der Aussteller, welche meist über wenig Investitionskapital verfügen, blieb das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Ausstellungstätigkeit deshalb prekär. Unter anderem aus diesem Grund musste 2013 auf die Möglichkeiten zu Probefahrten verzichtet werden, die ALL ELECTRIC wurde in der Halle 2 in die ‚normale’ Messe integriert.

5.4 Weitere Fördermassnahmen

In diesem letzten Abschnitt soll erstens ein kurzer Einblick in einige ausländische Förderkonzepte gegeben werden. Zweitens beurteilen wir die Langfristwirkung von Probefahrten als nicht-monetäre Fördermassnahme und als Indiz für die Langfristwirkung der E-Scooter-Förderung ganz generell. Drittens stellen wir Überlegungen zum optimalen Mix von Fördermassnahmen an.

Konkrete Fragen:

- Welche weiteren Fördermassnahmen für E-Scooters gibt es im Ausland? Welche Erfahrungen werden damit gemacht?
- In welchen weiteren Projekten werden E-Scooters gefördert? Welche Lehren lassen sich aus diesen Projekten ziehen?
- Wie sieht ein optimaler Mix von Fördermassnahmen für die E-Scooter-Förderung aus? Wie kann ein solcher Massnahmenmix möglichst rasch und effizient umgesetzt werden? Welche Kosten und Wirkungen sind zu erwarten?

5.4.1 Ein Blick ins Ausland

E-Scooters sind bekanntlich heute vor allem in Asien (besonders grosse Verbreitung: China) weit verbreitet. Umfassende Förderprogramme sind uns nur aus Taiwan bekannt (s. Tabelle 15). In verschiedenen europäischen Ländern gibt es zwar keine eigentlichen Förderprogramme, aber immerhin finanzielle Beiträge im Bereich von 10-20% des Kaufpreises.[1] Evaluationen über die Wirkungen dieser Förderprogramme liegen uns zurzeit noch nicht vor.

[1] Vgl. dazu auch: Süddeutsche.de 9. März 2013 Mühsamer Start für Elektroroller: Darum sind E-Scooter noch nicht konkurrenzfähig. http://www.sueddeutsche.de/auto/muehsamer-start-fuer-elektroroller-darum-sind-e-scooter-noch-nicht-konkurrenzfaehig-1.1619606 (abgerufen am 12.12.2013).

Land	
Taiwan	Die Taiwanesische Regierung hat 2009 ein 5-jähriges Förderprogramm für E-Scooters gestartet mit den Zielen: - Einführung von Standards bezüglich Leistung, Sicherheit (vgl. Kap. 4.2.2) - Förderbeiträge für Endkunden - Qualitätssteigerung zur Verbesserung der internationalen Wettbewerbsfähigkeit Bis Ende Mai 2013 wurden 26'000 Fahrzeuge gefördert. Förderbeitrag von US$ 240 - US$ 335 pro Fahrzeug, abhängig vom Fahrzeugtyp (entspricht ca. 10% des Kaufpreises) Zusätzlich Bereitstellung bedeutender Finanzmittel an die Hersteller (für Forschung & Entwicklung)
Österreich	- keine einheitlichen Förderregelungen - Steuerermässigung für Elektrofahrzeuge, keine motorbezogene Versicherungssteuer Länder gewähren unterschiedliche Förderungsbeiträge, z.B. Land Niederösterreich: Zuschuss in der Höhe von 20% des Kaufpreises, max. 300 Euro pro Fahrzeug.
Belgien	30% Ermässigung Motorfahrzeugsteuer beim Kauf eines Elektrofahrzeugs
Deutschland	Spezifische Förderkanäle im Rahmen der Modellregionen Elektromobilität in Deutschland
Holland	Provinzen der Niederlande gewähren Förderbeiträge, z.B. Provinz Limburg 700 Euro beim Kauf eines E-Scooters.
Frankreich	Förderung in Städten, z.B. Paris: 25 % vom Anschaffungspreis, max. 400 Euro.
USA	10% Steuererleichterung bis höchstens 2'500 $ für Elektrofahrzeuge inkl. zwei- und dreirädrige Fahrzeuge im Rahmen des 2009 lancierten Konjunkturprogramms ‚American Recovery and Reinvestment Act' (total höchstens 300 Mio. $)

Tabelle 15: Förderstrategien in einigen ausgewählten Ländern, Stand Sommer 2012. (Diverse Internetquellen)

5.4.2 Langzeitwirkungen von Probefahrten

Von grosser Relevanz für die Bilanz der E-Scooter-Förderung sind die Langzeitwirkungen einer Probefahrt. Es stellen sich Fragen wie: Wird durch die Probefahrt ein kontinuierliches Interesse für diese Fahrzeuge geweckt? Werden Kaufprozesse beschleunigt oder im Gegenteil sogar verzögert oder abgebrochen? Um diese Fragen zu beantworten wurde im Frühjahr 2010 eine Nachbefragung von 544 Personen durchgeführt, die an der Swiss-Moto 2009 eine Probefahrt gemacht und dabei eine gültige E-Mail-Adresse angegeben hatten. Von den 544 Personen haben 86 geantwortet, was einen Rücklauf von 16 Prozent ausmacht. Dabei handelt es sich vor allem um erwerbstätige Männer. Die Ergebnisse geben dementsprechend den Stand von 2010 wieder und es kann nicht vorausgesetzt werden, dass eine Befragung zum heutigen Zeitpunkt zum selben Resultat führen würde.

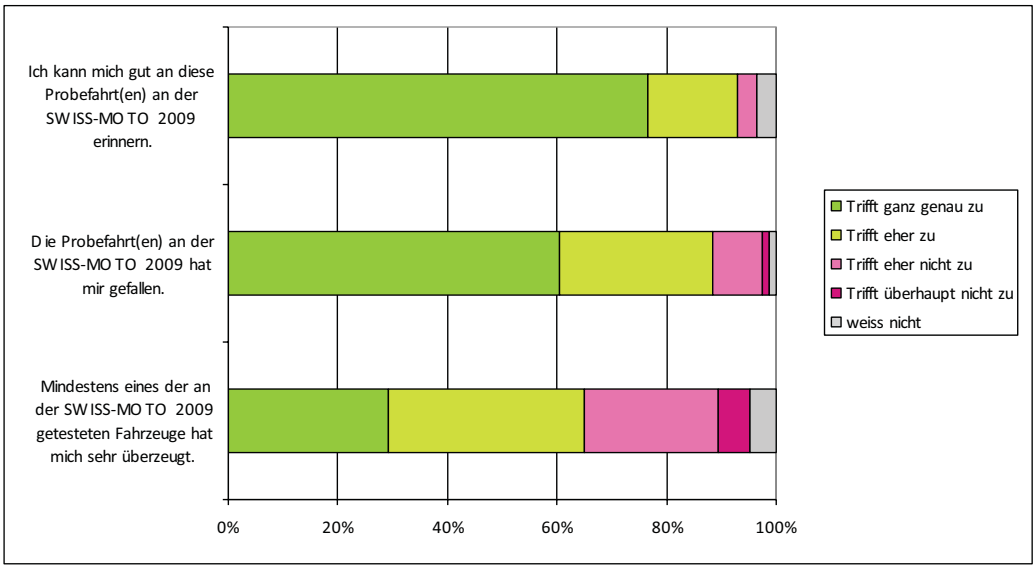


Abbildung 41: Eindrücke Probefahrt 2009 (N=86).

In Abbildung 41 sind die Eindrücke zur Probefahrt der befragten Personen aus dem Jahr 2009 dargestellt. Drei Viertel der Probefahrenden von 2009 können sich ganz genau, 16 Prozent eher an die Probefahrt an der Swiss-Moto 2009 erinnern. Knapp 90 Prozent geben an, dass Ihnen die Probefahrt an der Swiss-Moto 2009 (eher) gefallen hat und knapp zwei Drittel (65.1 Prozent) finden, dass sie mindestens eines der an der Swiss-Moto 2009 getesteten Fahrzeuge (eher) überzeugt hat. Rund 30 Prozent der Besuchenden von 2009 gaben an, auch 2010 eine Probefahrt mit einem E-Scooter an der Swiss-Moto 2010 gemacht zu haben.

Eine unmittelbare Wirkung auf einen Kaufentscheid lässt sich nur in bescheidenem Mass nachweisen: 3% der befragten gaben an, seither einen E-Scooter gekauft zu haben, 7 weitere planen einen Kauf. Die 77 Personen, die angaben, keinen E-Scooter gekauft und auch keinen Kauf geplant zu haben, gaben die in Abbildung 42 dargestellten Gründe an.

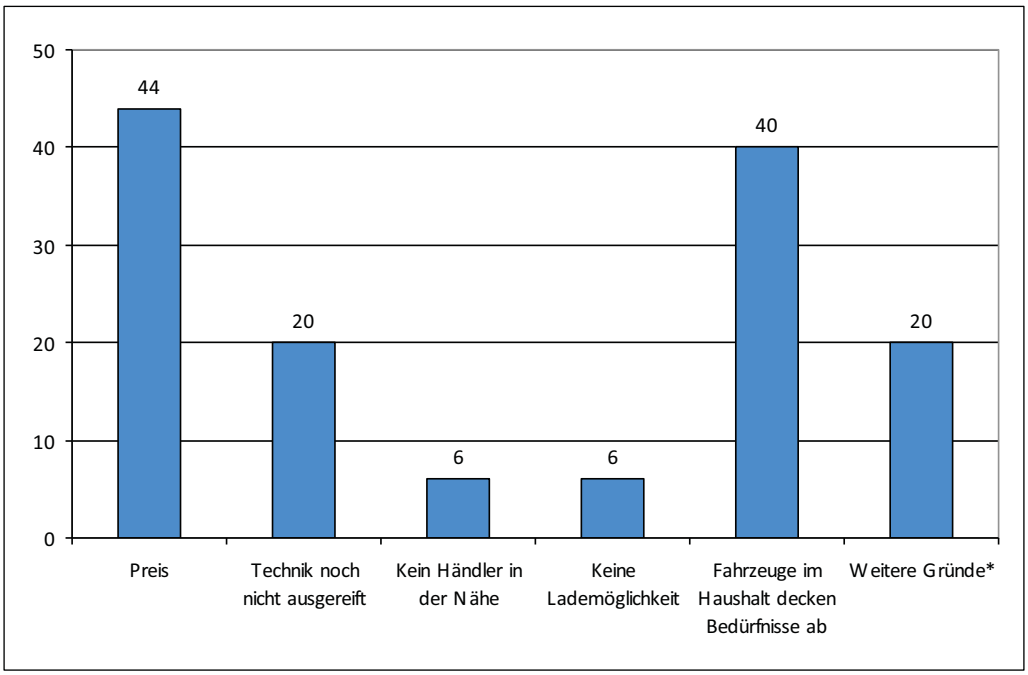


Abbildung 42: Gründe gegen einen Kauf eines E-Scooters (Anzahl Nennungen). N=77, 136 Nennungen, *Zu kurzer Arbeitsweg oder Arbeitsweg mit ÖV, Lebensdauer und Kosten der Batterie, Fahrspass ist mit richtigem Motorrad grösser, Sound fehlt, zu langsam, Zulassung des Segways.

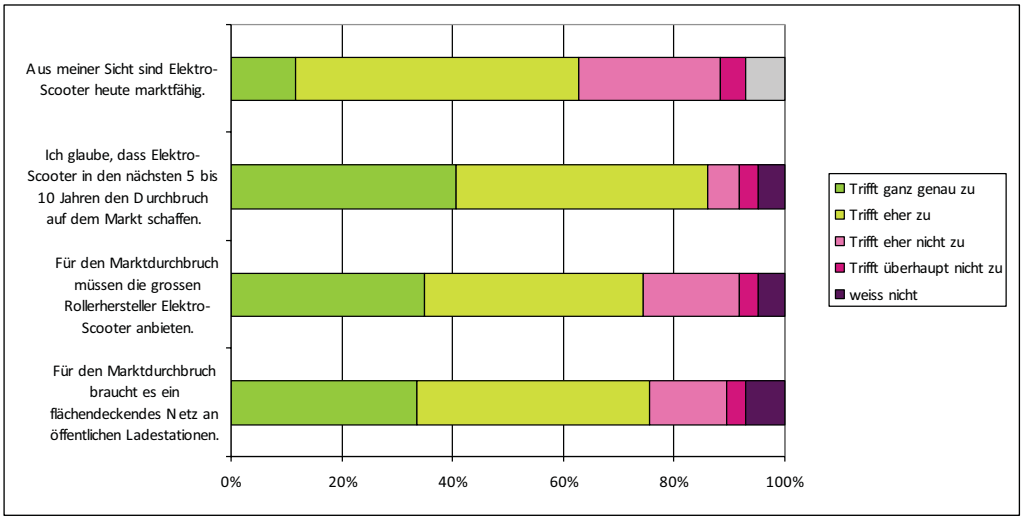


Abbildung 43: Einschätzung der Marktfähigkeit der E-Scooters durch Probefahrende 2009 (N=86).

Als wichtigste Gründe, die gegen einen Kauf eines E-Scooters sprechen, wurden der Preis (44 Nennungen) und der fehlende Bedarf (40 Nennungen) genannt. 20 Nennungen gab es bei der noch nicht ausgereiften Technik (ungenügende Reichweite und Verarbeitung etc.).

20 Personen gaben zudem an, seither ein oder mehrere herkömmliche Motorräder/Roller gekauft zu haben.

Die 86 Befragten wurden zu einer Einschätzung der Marktfähigkeit der E-Scooters befragt und haben diese wie in Abbildung 43 dargestellt bewertet. Mit kleinen Einschränkungen halten knapp zwei Drittel (62.8 Prozent) der Antwortenden E-Scooters bereits heute für marktfähig. 86 Prozent glauben, dass E-Scooters in den nächsten fünf bis zehn Jahren den Durchbruch auf dem Markt schaffen werden und jeweils drei Viertel geben an, dass es für den Marktdurchbruch ein flächendeckendes Netz an öffentlichen Ladestationen braucht sowie dass die grossen Rollerhersteller E-Scooters anbieten müssten.

5.4.3 Ein optimaler Mix von Fördermassnahmen?

Bei der Förderung der Elektromobilität auf den verschiedenen staatlichen Ebenen sollten E-Scooters (und elektrische Zweiräder ganz generell) stärkere Berücksichtigung als bisher finden. Dies insbesondere im Hinblick auf das hohe Potenzial zur Verlagerung von Autofahrten gerade in besonders belasten Gebieten (Agglomerationen) während besonders belasteten Tageszeiten (Pendlerfahrten).

Der bisherige Fördermix für E-Scooters besteht praktisch ausschliesslich aus finanziellen Anreizen, aus Informations- und Kommunikationsmassnahmen sowie aus der Möglichkeit, E-Scooters an Messen und Roadshows Probe zu fahren. Der Fördermix beinhaltet also ausschliesslich Pull-Massnahmen. Bisher ist es mit dieser Förderstrategie nicht gelungen, eine rasche Verbreitung von E-Scooters bei Privatpersonen zu erreichen. Gleichzeitig belegen die Erfolge von E-Scooters in der Post-Flotte die grundsätzliche Marktfähigkeit dieser Fahrzeuge, dies zumindest für spezifische Einsatzzwecke. Und die bisherigen Erkenntnisse zum Einsatz von E-Scooters in privaten Haushalten deuten darauf hin, dass E-Scooter in wesentlichem Mass Autofahrten ersetzen können und damit zur dringend nötigen Entlastung der Infrastruktur (Strassen und Parkplätze) beitragen können (Kapitel 7.2). Darüber hinaus deutet der seit einiger Zeit zu beobachtende Boom bei Benzin-Rollern (mitbedingt durch die Absenkung des Zulassungsalters auf 16 Jahre) darauf hin, dass auch von Seite der Privatkundschaft bei entsprechenden Anreizen ein beträchtliches Interesse an E-Scooters erwartet werden kann. Wie unsere Untersuchungen zeigen, ist die Umweltbilanz von E-Scooters deutlich besser als diejenige von Benzin-Rollern.

Aus unserer Sicht gibt es deshalb gute Gründe, die bisherige Förderstrategie zu überprüfen und eine Ausweitung des Massnahmenspektrums unter Einbezug von Push-Massnahmen anzustreben. In diesem Zusammenhang fällt auf, dass die Förderung der Elektromobilität zumindest auf nationaler Ebene noch fast ausschliesslich auf Elektroautos fokussiert (vgl. beispielsweise ASTRA 2012: hier werden E-Scooters nur ganz am Rand thematisiert). Wir möchten anregen, dass den E-Scooters (und den elektrischen Zweirädern ganz generell) in Zukunft auf der strategischen Ebene national, kantonal und kommunal mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird. Folgende Massnahmen/Massnahmenbereiche könnten im Rahmen eines breiteren Massnahmenmixes künftig eine grössere Rolle spielen:

- Gebote und Verbote
- Wegfall von Lieferzeitbeschränkungen für E-Scooters:
  Die Bedingungen für die Auslieferung von Waren mit E-Scooters werden durch Anpassungen der entsprechenden Vorschriften verbessert. Beispielsweise könnten die Lieferzeitbeschränkungen in Innenstädten ganz oder teilweise entfallen. Elektrofahrzeuge könnten so gezielt als lokal emissionsfreie Alternative zu Lieferwagen, aber auch Benzin-Rollern gefördert werden. Die Massnahme, welche unseres Erachtens in die Kompetenz der Gemeinden fällt – also keine Änderung der nationalen oder kantonalen Gesetzgebung voraussetzt – kommt in leicht unterschiedlichen Ausprägungen für verschiedene Akteurgruppen in Frage:

Lieferung von verderblichen Waren (Pizza, Blumen usw.), Postdienste, Handwerker, Dienstleistungsbetriebe wie Hauswartdienste, Putzinstitute, Spitex usw., gemeindeeigener Fahrzeugpark, Einsatz in Tourismusgemeinden, im Umfeld von Spitälern usw.

- Jährliche Abgasprüfung für Zweitakt-Benzin-Roller: Eine jährliche Abgasprüfung der Roller würde deren Schadstoff-Ausstoss um 30 Prozent senken, wenn schadhafte Katalysatoren ersetzt würden.[1] Diese sinnvolle, für die Rollerfahrer aber mit einem möglicherweise lästigen Aufwand verbundene Prüfung würde den Anreiz, auf E-Scooters umzusteigen, erhöhen.
- Verbot von Zweitaktmotoren
- Strengere Emissionsvorschriften für Benzin-Roller.

Weitere Massnahmen:

- Ladeinfrastruktur
  Überall, wo im privaten Bereich Zweiradabstellplätze gebaut werden, sind auch Steckdosen vorzusehen. Im öffentlichen Bereich ist bei überwachten Veloparkinganlagen ein kleiner für E-Bikes und E-Scooters reservierter Bereich mit Ladestationen vorzusehen.
- Längeres Probefahren
  Das Erproben von E-Scooters soll weiterhin eine zentrale Massnahme der Förderung sein. Es soll erleichtert werden, E-Scooters für längere Zeit (bspw. 2 Wochen) erproben zu können.
- Steuerabzüge für E-Scooter-Pendler erhöhen. Wenn davon ausgegangen wird, dass E-Scooter-Fahrer mit längeren Pendelwegen Autofahrten ersetzen, könnten für den E-Scooter gleich hohe Abzüge wie für Autos gewährt werden.
- Spezifische Anreize für die Einführung von E-Scooter-Flotten sind zu prüfen. So beispielsweise eine Garantie, dass allfällige Mehrkosten gegenüber der vorher verwendeten Flotte übernommen werden.
- Die Integration von E-Scooters in Sharing-Konzepte kann im Rahmen von Demonstrationsprojekten gefördert werden.

Zusammenfassung Kapitel 5.4

Die bisherigen Förderansätze für E-Scooters stellen sowohl in der Schweiz als auch im Ausland ausschliesslich auf Pull-Massnahmen ab, auf finanzielle Anreize, auf Informations- und Kommunikationsmassnahmen sowie allenfalls auf die Möglichkeit von Probefahrten. Es hat sich gezeigt, dass dieser Massnahmenmix allein bisher nicht genügt hat, um die Markteinführung von E-Scooters im erhofften Mass anzuregen. Wir plädieren vor diesem Hintergrund für eine Verbreiterung des Fördermixes unter Einbezug von Push-Massnahmen.

[1] Quelle: BAFU: Umwelt (2008), Heft 1, S. 28. www.bafu.admin.ch/dokumentation/umwelt/06017/index.html? (aufgerufen am 12.12.2013).

6. Energie und Umwelt

Im Arbeitspaket ‚Energie und Umwelt' wurden Grundlagen für E-Scooter Lebenszyklusinventare (LCI) erarbeitet und daraus erste Ökobilanzen (Life-Cycle-Assessment LCA) gerechnet. Es wurde auch der Energiebedarf für E-Scooters erhoben, da Verbrauch und Reichweite massgebend für die Bestimmung eines realistischen Lebenszyklusverbrauchs von Fahrzeugen sind. Weil solche Verbrauchsdaten für E-Scooter weitgehend fehlten, waren Verbrauchsmessungen ebenfalls Bestandteil dieses Arbeitspaketes. Dabei wurden zwei völlig unterschiedliche Ansätze gewählt: einerseits Verbrauchsmessungen mit verschiedenen Messmethoden an ausgewählten Fahrzeugen, andererseits Befragungen von E-Scooter-Fahrern, welche ein Tagebuch über ihre E-Scooter-Fahrten führten. Letzteres wird im Kapitel 7.4 beschrieben.

6.1 Energiebedarf und Reichweite

Im Gegensatz zum benzinbetriebenen Fahrzeug, wo praktisch der gesamte eingefüllte Tankinhalt für den Antrieb zur Verfügung steht, also kaum Verluste z.B. durch Verdunstung zu berücksichtigen sind, haben batteriebetriebene Fahrzeuge sehr wohl Ladeverluste. Der Energiebedarf von E-Scooters addiert sich daher aus mehreren Komponenten. Die offensichtlichste, der aus der Batterie gelieferte Fahrenergiebedarf, entspricht direkt dem Benzinverbrauch eines Benzin-Fahrzeugs. Ab Steckdose jedoch muss die elektrische Energie zuerst mit einem verlustbehafteten Ladegerät konditioniert werden, dann hat die Batterie verschiedene Speicherverluste, und zuletzt muss beim Entladen die elektrische Energie für den Motor erneut verlustbehaftet umgewandelt werden. Diese Wirkkette ist in Abbildung 44 dargestellt. Demnach ist für die Reichweite der ‚Energiebedarf ab Batterie', für die finanziellen Kosten der ‚Energiebedarf ab Steckdose' massgebend. Im Folgenden wird beides untersucht.

Interessieren zusätzlich die externen Kosten der Umweltschäden, so sind auch die Vorketten, z.B. die Bereitstellung der Primärenergieträger, die Kraftwerke, die Hoch- und Mittelspannungsverteilnetze zu berücksichtigen, was in den Ökobilanzrechnungen in Kap 6.2 geschieht und welche hier z.B. in den sogenannten CO_2-äq. Emissionen erscheinen. Dabei werden alle Treibhausgasemissionen entlang der Energieversorgungskette in CO_2-Äquivalente (Summe der Wirkungen verschiedener Treibhausgase) umgerechnet und kumuliert.

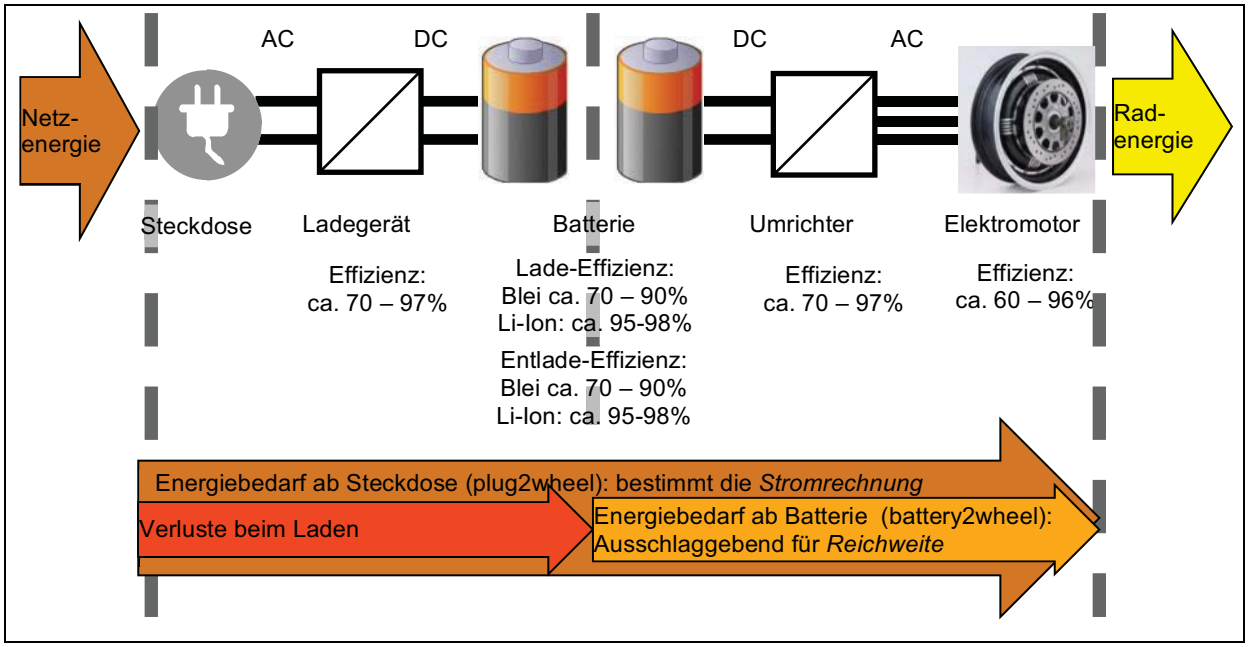


Abbildung 44: Wirkungsgrade entlang der Wirkkette eines Lade-/Entladevorgangs.

Dass die gewählten Technologien einen entscheidenden Einfluss auf die Reichweiten und Kosten haben, zeigen die folgenden beiden gerechneten Fälle (s. Tabelle 16 und Abbildung 45):

Gesamtwirkungsgrad:

	worst case (Pb [1], ...)		best case (Li-Ion, ...)	
	min	max	min	max
plug2wheel	49%	87%	67%	95%
battery2wheel	34%	84%	47%	91%
Total	17%	73%	31%	87%

Tabelle 16: möglicher Wirkungsgradbereich für verschiedene Batteriespeichertechnologien. (plug2wheel = Energiebedarf ab Steckdose und battery2wheel = Energiebedarf ab Batterie),1) Zur Speichereffizienz von Pb-Akkus siehe Stevens & Corey (1996).

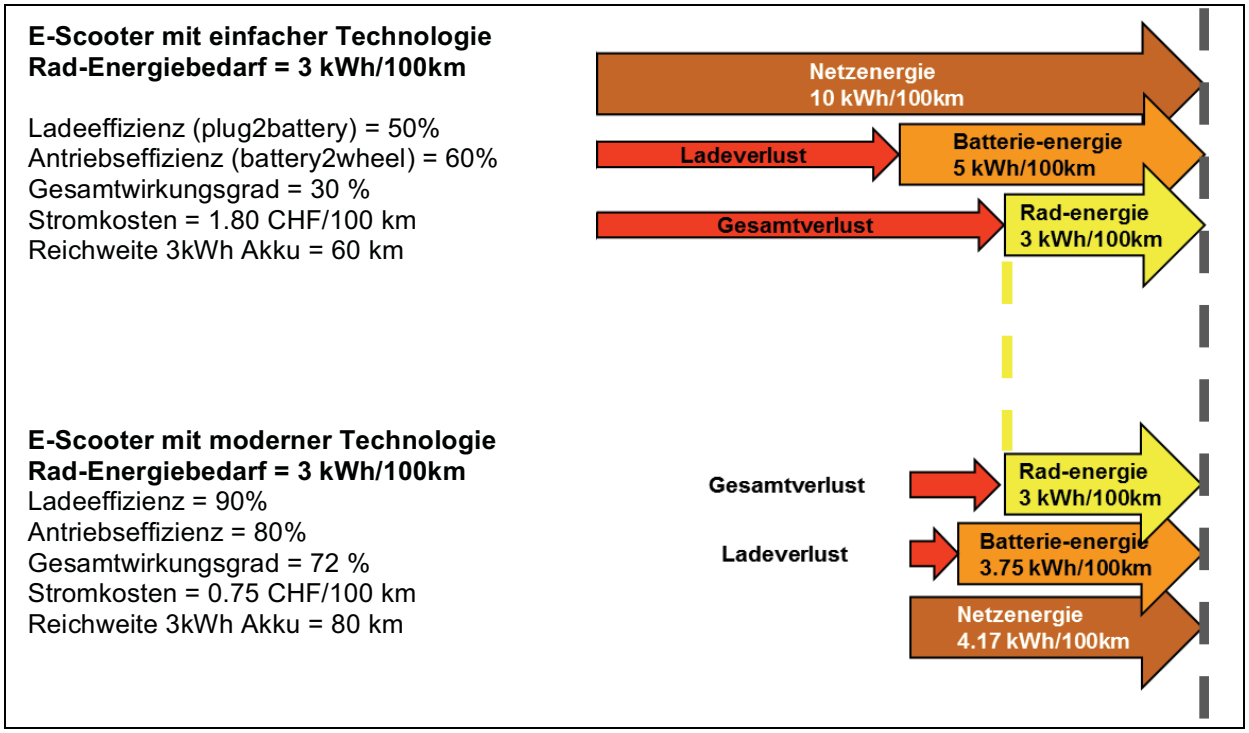


Abbildung 45: Reichweiten und Kosten bei unterschiedlichen Batterietechnologien. Die angenommenen Energiekosten sind 0.18 CHF/kWh und die Reichweite bezieht sich auf eine vollständige Entladung einer Batteriekapazität von 3 kWh.

Um Aussagen über Energiebedarf und Reichweite machen zu können, muss zusätzlich zum Netzenergiebezug (Gesamtverbrauch) auch der Fahr- bzw. Fahrzeugenergiebedarf bekannt sein (definiert im Glossar). Ein Ziel dieses Projektes war der Machbarkeitsnachweis ('proof of concept') einer neuartigen Betriebsmessmethode ('in-service') für den realen Fahrzeugenergiebedarf von E-Scooters. Sie ist als Ersatz der teuren und schlecht angepassten Messverfahren mittels Rollenprüfständen gedacht. Diese sind zwar standardisiert, aber eher auf Emissionsmessungen von Luftschadstoffen ausgerichtet, welche bei E-Scooters natürlich unnötig sind.

Das angestrebte Messkonzept umfasst den folgenden Ablauf:

1. Sowohl die E-Scooter-Kinematik als auch die elektrische Leistung werden während einer normalen Fahrt gemessen, abgetastet und aufgezeichnet. Dazu wird eine geeignete Bordmesstechnik für die Position (via GPS), 3D Beschleunigung (via MEMS) und für die relevanten Spannungen und Ströme (via Sensoren oder On-board Diagnostiksystem ODB) eingebaut.
2. Ein einfaches 'grey box model', welches aus einem physikalischen Modell des E-Scooters entwickelt wird, definiert die Dynamik des bewegten E-Scooter Systems.

3. Die fehlenden Fahrzeugkenndaten (Parameter) des Modells, wie Masse und Reibungen, werden aus den 'in-service' Messdaten mit einer Software identifiziert.
4. Das nunmehr bestimmte Modell kann dazu verwendet werden, virtuell beliebige Fahrzyklen abzufahren. Dadurch lässt sich das Modell auch validieren, indem diese Fahrzyklen z.B. mit Rollenmessungen von Standardzyklen wie NEFZ oder WMTC[1] verglichen werden.[2]

6.1.1 Erhebung des Fahrenergiebedarfs

In einer Serie von Messungen wurde der Fahrenergiebedarf verschiedener E-Scooters gemessen. Die Messungen wurden über eine Zeitspanne von drei Jahren gemacht. In dieser Zeit wurde die benötigte Messtechnik weiter entwickelt und verbessert.

Die Ergebnisse des Vorprojektes ‚Reichweiten- und Verbrauchsmessung an E-Scooter nach zukünftigem WMTC Standard' (Fleischer 2009; Widmer et al. 2009: 24) wurden z.T. für die Validierung der Resultate dieses Projektes verwendet.

Die folgenden Informationen zeigen in Abbildung 46 den typischen Messaufbau im Empa-Rollenprüfstand in Dübendorf sowie einen Überblick über die gefahrenen Normtests (Tabelle 17) und die Zusammenfassung der Messresultate (Tabelle 18).

Abbildung 46: E-Scooters auf dem Empa Rollenprüfstand. Von links nach rechts Quantya ‚Evo 1'; Oxygen ‚Postscooter'; Mobilec ‚Mobilec'. (Bilder: Empa)

Marke [-]	Modell [-]	Leermasse[1)] [kg]	Leistung [kW]	Geschw. v_max [km/h]	Batterie Kapazität [kWh]	Spannung [V]	Getriebe [-]	NEFZ class [-]	WMTC class [-]
Quantya	Evo-1 Strada	85	8.5	>70	2	48	keines	part 1 (urban)	part 1 (reduced)
Oxygen	Postscooter	178	3	45	4.8	48	keines	part 1 (urban)	part 1 (reduced)
Mobilec	Mobilec	90	0.8	30	0.9	24	keines	part 1 (urban)	part 1 (reduced)

Tabelle 17: Zusammenfassung der E-Scooter-Tests auf dem Empa-Rollenprüfstand.
1) zur Leermasse wurden 100kg Fahrermasse addiert.

[1] NEFZ: Neuer Europäischer FahrZyklus; WMTC: World Motorcycle Test Cycle.

[2] Diese Entwicklungsarbeiten wurden ergänzt durch die Projekte ‚Reichweiten- und Verbrauchsmessung an E-Scooter nach zukünftigem WMTC Standard', ‚Parameter Identifikation von E-Scooter' (PIES), EKZ, Quantya, Empa und VirVe, sowie ‚Neue Fahrzeug Technologien Hybrid, Elektro' (NFTHE TP1: Begleituntersuchung 2-/3-Rad Fahrzeuge), Mobility Solutions AG, VirVe, FH-Biel und Empa.

	Zyklus	Energieverbrauch [Wh]	Distanz ** [km]	Spez. Energieverbrauch [Wh/km]	Benzinäquivalent [Liter/100km]	Reichweite [km]
Quantya	NEFZ	221	6.022 (6100)	36.70	0.415	54
	WMTC	142	3.881 (3800)	36.59	0.413	55
Oxygen	NEFZ	171	5.796 (6100)	29.50	0.333	163
	WMTC	112	3.868 (3800)	28.96	0.327	166
Mobilec	- *	450	21.667 (-)	20.77	0.235	43

Tabelle 18: Zusammenfassung der Messresultate der Rollentests.
*Mobilec konnte auf der Rolle keinem der Testzyklen folgen. Die angegebenen Werte ergeben sich aus dem vereinfachten Fahrzyklus ‚v_max'. Die voll geladene Batterie wird mit maximaler Fahrgeschwindigkeit auf der Rolle entladen, bis das Batteriemanagementsystem erstmals den Strom unterbricht.
**() = theoretischer Designwert

Die Messergebnisse der Rollentests bestätigten im Wesentlichen erwartetes Verhalten, warfen aber auch einige Fragen auf:

- Der Fahrenergiebedarf ist weitgehend unabhängig vom gefahrenen Testzyklus (hier WMTC und NEFZ). Das bedeutet, dass der Wirkungsgrad des elektrischen Antriebs über einen weiten Betriebsbereich ziemlich konstant bleibt und daher wahrscheinlich fast beliebige Testzyklen, also auch ein beliebiger Normalbetrieb, ähnliche Resultate liefern sollte.
- Der Fahrenergiebedarf hängt im Wesentlichen vom Gewicht und den Rolleigenschaften ab (der Luftwiderstand wird über Standard-Parameter gemäss den Prüfstandsnormen berücksichtigt).
- Für E-Scooter, welche die vom Testzyklus geforderte Beschleunigung bzw. Geschwindigkeit zum Teil nicht aufbringen können (in diesem Test ‚Mobilec'), wird einfach mit deren maximaler Beschleunigung bzw. Geschwindigkeit gefahren, bis sie dem Zyklus wieder folgen können. Das führt zwar zu Fehlstrecken, die ausgewiesen werden sollten, jedoch kompensieren sich diese in den spezifischen Verbräuchen (d.h. kWh/100km) zum Teil mit dem Minderverbrauch. Trotzdem ist der spezifische Verbrauch solcher E-Scooters, selbst mit dem Vermerk der Fehlstrecke, kein gutes Vergleichsmass.
- der Regler der Prüfstandrolle und die Antriebsregler der E-Scooter beeinflussen sich gegenseitig, was zwar die Messungen verfälscht, sich jedoch bei den angewendeten Testzyklen als unwesentlich herausstellte.

Diese Messergebnisse wurden mit den Fahrzeugherstellern besprochen (im Anhang zu Kap. 6.1.1 findet sich das Beispiel ‚Rollenprüfstand Messbericht für Quantya EVO1').

Für die nächste Messkampagne (Wilhelm et al. 2011) wurde nebst den Rollentests auch erstmals eine Hardware Version (MQ200 System; MaxQData 2013) für die mobile Datenerfassung beschafft und getestet. Diese Messeinrichtung wurde auf dem Test-E-Roller der Empa (Peugeot Scootelec) installiert und auf Fahrten um das Empa-Gelände in St. Gallen getestet. Diese Fahrstrecke wurde als 'Empa'-Testzyklus definiert (s. Abbildung 47). Diese reale Fahrt wurde zur Verifikation der späteren Modellierungen auch auf dem Empa-Rollenprüfstand nachgefahren (s. Abbildung 48).

Mit dieser Messeinrichtung konnte die bereits in der vorherigen Messserie gemachte Erfahrung bestätigt werden: Der Fahrenergieverbrauch des E-Rollers ist kaum abhängig vom für den Test gewählten Geschwindigkeitsprofil. Zudem konnte gezeigt werden, dass auf der Rolle nachgefahrene reale Fahrten zu nahezu gleichen spezifischen Verbräuchen führen.

Ein Nachteil dieses Systems ist, dass die Daten auf einem mitzuführenden Rechner gespeichert werden müssen; zudem benötigt die Messeinrichtung relativ viel Platz, weswegen basierend auf demselben Messkonzept weitere Systeme evaluiert wurden.

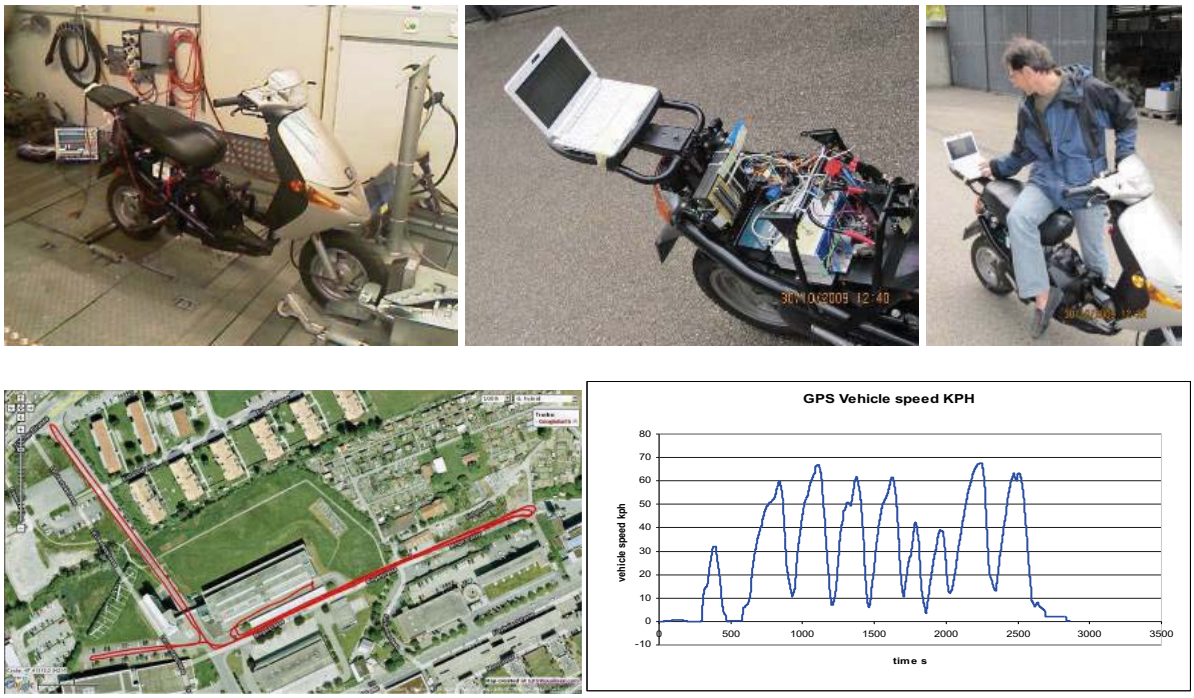


Abbildung 47: Erste Tests mit der mobilen Messeinrichtung, welche die Rollenprüfungen ersetzen soll. Bilder von oben links nach unten rechts: Scootelec ‚Empa' auf dem Rollenprüfstand der Empa; Messeinrichtung MQ200 'fliegend' montiert; dito; aus GPS Daten aufgezeichnete Testfahrten um das Empa-Gelände in St. Gallen (dargestellt in google maps); entsprechendes GPS Geschwindigkeitsprofil (= 'Empa-Zyklus').

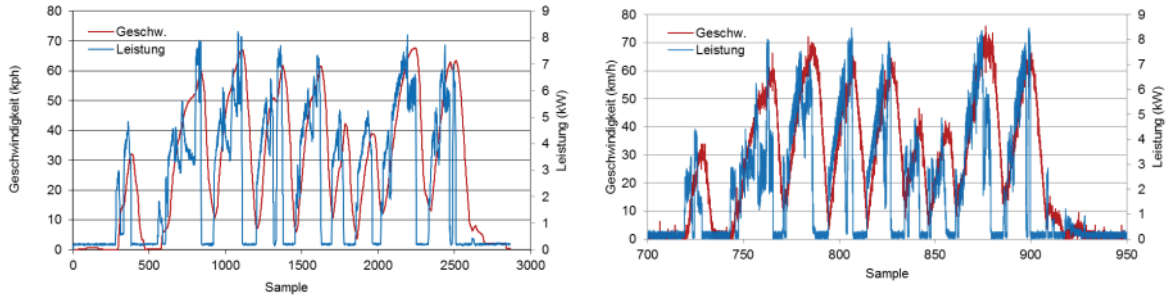


Abbildung 48: Abstimmen der realen Fahrprofile auf der Rolle. Links: Leistung und Geschwindigkeitsprofil des Scootelec für den Empa-Zyklus auf der Strasse; rechts: Leistung und Geschwindigkeit für den auf der Rolle nachgefahrenen Empa-Zyklus.

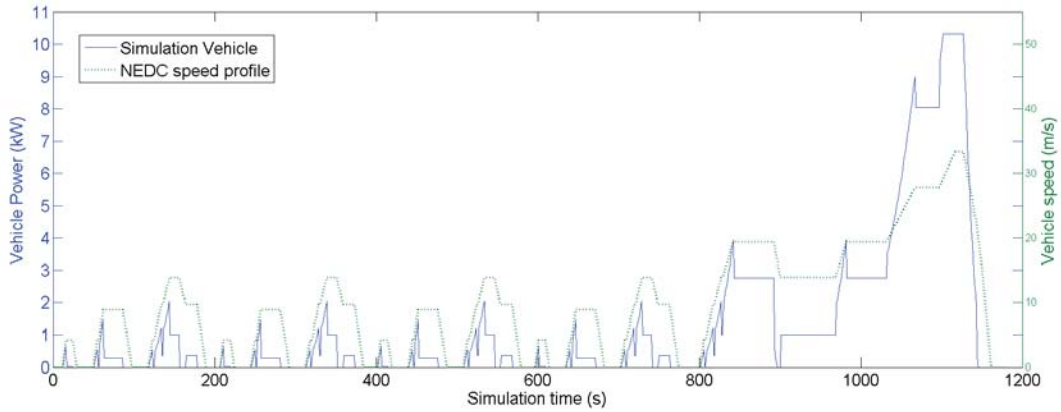
Version 2 sollte eine Lösung werden, die skalierbar und kommerziell verwertbar wäre. Schliesslich wurden die Produkte C4 und H4 der Firma Mobile Devices (H4 2013; C4 2013) ausgewählt und getestet. Die Datenfernübertragung konnte jedoch nicht befriedigend in Betrieb genommen werden, worauf schliesslich auch diese Hardware aufgegeben wurde.

Die Hardware Version 3 basierend auf CAN Gateway Komponenten der Firma RM Michaelides genügte schliesslich den Anforderungen und wurde für alle folgenden Messungen eingesetzt.

Zur Swiss-Moto 2011 lud NewRide die E-Scooter-Aussteller ein, Verbrauchsmessungen nach dieser neuen Methode durchzuführen und sie in der NewRide-Broschüre und auf der NewRide-Website zu publizieren.

Die Messungen wurden zwischen dem 14. Dezember 2011 und dem 10. Januar 2012 für neun verschiedene Fahrzeuge durchgeführt. Vier E-Scooters konnten bei der Firma m-way in Zürich getestet werden, die anderen wurden von den Herstellern selbst getestet. Jede Testfahrt dauerte ein bis zwei Stunden, und wurde nach dem von der Firma VirVe empfohlenen Rezept gefahren. Der Test dauerte inklusive Ein- und Ausbau der Messtechnik und Kalibrierung im Durchschnitt einen halben Tag.

Die Fahrzeugparameter wurden nach der in Kapitel 6.1.3 vorgestellten Methode ermittelt und danach in simulierten Rollentests verwendet. Beispielhaft ist in Abbildung 49 der Leistungsbedarf gemäss NEFZ für eine Quantya EVO1 dargestellt.




```
Sektion 1+2 (Stadt und Überland):
EelSim [Wh]: 412.1657
EelSim [Wh/100km]: 3.7421e+003
nur Sektion 2 (Überland):
EelSim [Wh]: 351.3942
EelSim [Wh/100km]: 5.0824e+003
```

Abbildung 49: Simulierter Leistungsbedarf einer Quantya EVO1 für den NEFZ Stadt- und Überlandzyklus.

Die Resultate der Verbrauchsmessungen wurden den Ausstellern an der Swiss Moto 2011 in einem Leistungsausweis abgegeben. In Europa ist die energieEtikette das obligatorische Label für Personenfahrzeuge, Haushaltgeräte etc. Zurzeit sind E-Scooters davon jedoch explizit ausgenommen (http://www.bfe.admin.ch/energieetikette, siehe auch Anhang zu Kap 6.1.1). Die von der US EPA vorgeschlagenen ‚Fuel Economy Labels'[1] erschienen uns geeigneter, um die mit der neuen Methode ermittelten Verbrauchswerte sinnvoll darzustellen. Das US EPA Label für EVs ist leicht abgeändert (s. Abbildung 50), um den Kontext des Fahrzeugs besser/sinnhafter hervorzuheben, z.B. CO_2_äq. Emissionen im Vergleich zum Durchschnittswert der schweizerischen Motorradflotte mit Verbrennungsmotoren.

[1] Siehe http://www.epa.gov/carlabel/index.htm (neue Labels ab 2013, abgerufen am 12.12.2013).

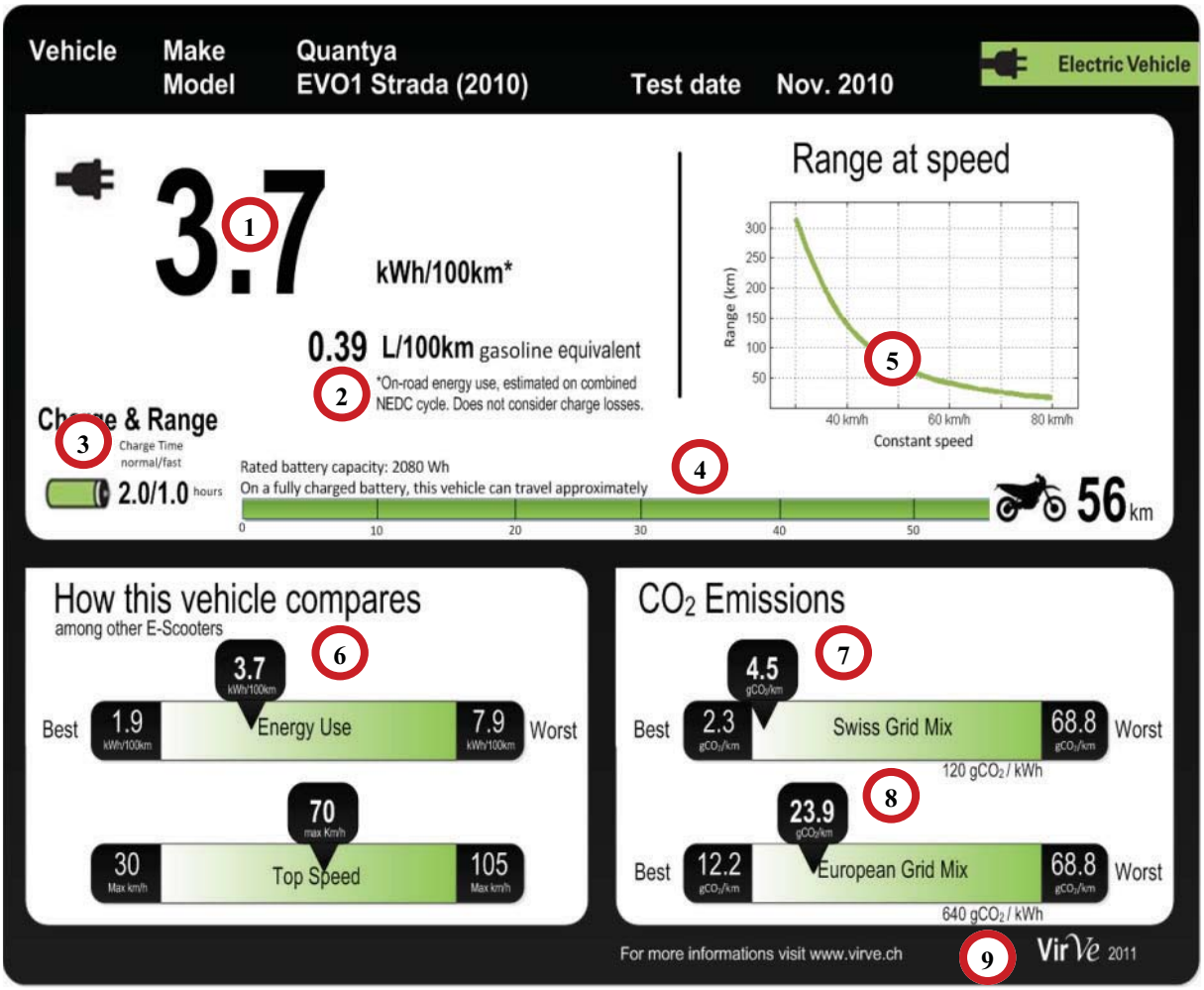


Abbildung 50: Der neutrale Leistungsausweis produziert aus den gesammelten Quantya EVO1 Strada Daten.

Legende:

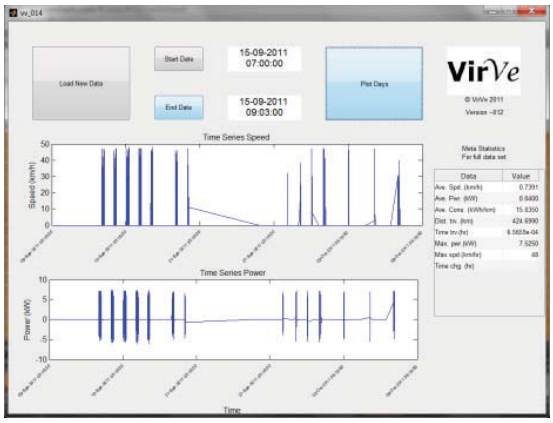
1. Dieses Fahrzeug braucht 3.7 kWh pro 100 km während einer kombinierten Stadt- und Überland-Fahrt (NEFZ).
2. Auf 100 km braucht dieses Fahrzeug die äquivalente Energiemenge von 0.39 l Benzin
3. Die Ladezeiten gemäss Hersteller werden angegeben.
4. Bezogen auf den NEFZ Zyklus, beträgt die berechnete Reichweite dieses Fahrzeugs 56 km.
5. Die Abhängigkeit der Reichweite von der Geschwindigkeit wird in dieser Graphik für Fahrten mit konstanter Geschwindigkeit gezeigt.
6. In diesem Feld werden Verbrauch und maximale Geschwindigkeit dieses Fahrzeugs mit allen anderen E-Scooters dieser Testgruppe verglichen (für NEFZ).
7. Hier werden die CO_2_äq. Emissionen in g/km beim Verwenden eines schweizerischen Strommixes dargestellt. Dieses Fahrzeug emittiert damit 4.5 g/km.
8. Hier werden die CO_2_äq. Emissionen beim Verwenden eines europäischen Strommixes dargestellt. Dieses Fahrzeug emittiert damit 23.9 g/km. Die 68.8 g/km (Skalenende) entsprechen dem Durchschnittswert der schweizerischen Motorradflotte mit Verbrennungsmotoren. Es sind keine Ladeverluste berücksichtigt ('tank to wheel' Betrachtung).
9. Link zu www.virve.ch um weitere Informationen und um einen Leistungsausweis zu bestellen.

Eine Liste der untersuchten E-Scooter findet sich bei NewRide und wurde im KTipp (Jaggi 2011) veröffentlicht (siehe auch Anhang zu Kap 6.1.1). Tabelle 19 zeigt die Zusammenstellung der Fahrenergiebedarfe und gerechneten Reichweiten der Testfahrzeuge.

Marke	Quantya	Vectrix	E-sprit	E-sprit	Elmoto	logomotion	logomotion	PGO	Zero
Modell	EVO1 Strada	VX1	Silenzio 45	Flury 100	HR-2	easy ride	city flizzer	e-wave	Zero S
Verbrauch [kWh/100 km]	3.74	6.74	3.4	5.7	2.4	1.9	1.9	3.6	(*)
Reichweite [km]	56	65	60	57.2	50	60.6	50.5	41.5	(*)

Tabelle 19: Simulierter Fahrenergiebedarf und rechnerische Reichweite aller für NewRide/Swiss-Moto 2011 untersuchter E-Scooters.
(*) Durfte nicht publiziert werden.

Dieselbe Methode und Hardware kam 2011/12 in einer Messkampagne der Mobility Solution AG (MOS) zur Beurteilung der E-Scooter-Flotte der Schweizerischen Post zur Anwendung (interner Bericht der MOS: Wilhelm und Bornatico 2012). Dabei wurden über einen längeren Zeitraum ausgewählte Oxygen- und Kyburz-E-Scooter mit der Messeinrichtung ausgerüstet und die Fahrten aufgezeichnet. Wesentliches Ziel des Projekts war es festzustellen, welche Parameter den Fahrenergiebedarf bestimmen und ob sich daraus Pflichtenhefte für zukünftige Lieferanten (z.B. erfüllen eines ‚Postfahrzyklus') und/oder Anweisungen für die Fahrer (z.B. ‚Ökodrive für Pöstler') ableiten liessen. Die Firma VirVe entwickelte ein Webinterface, worüber die Flottenbetreiber die abgespeicherten Fahrdaten der einzelnen Fahrzeuge abrufen und wichtige Kenngrössen berechnen können (s. Abbildung 51).



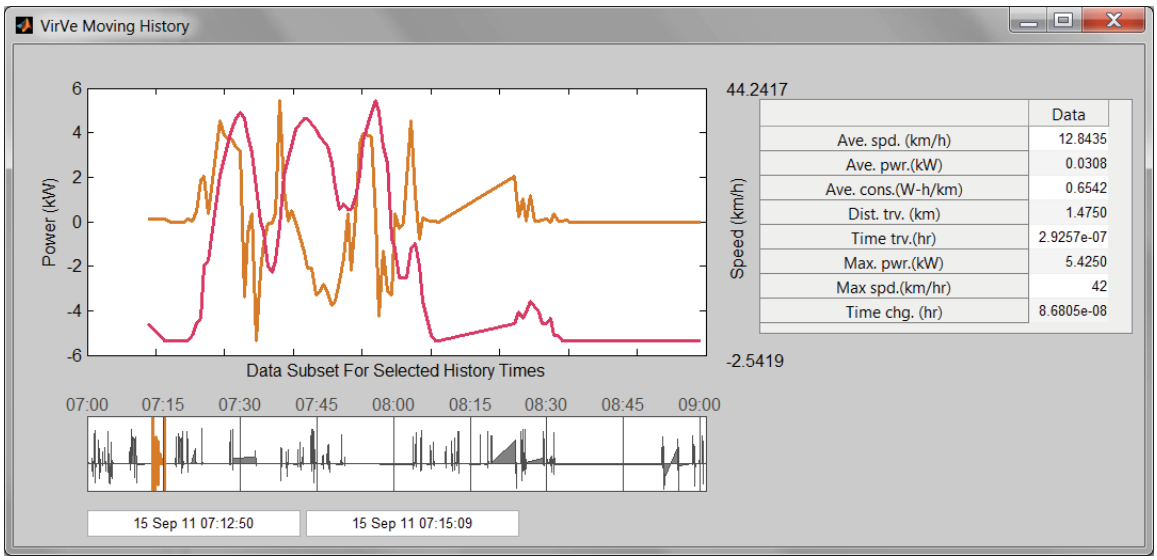


Abbildung 51: Die mobile Messeinrichtung von VirVE, eingebaut in einem Oxygen-Cargoscooter der MOS, sendet Life-Daten kontinuierlich an einen zentralen Server, wo sie z.B. mit dem VirVe-Visualizer analysiert werden können.

Die Hardwareentwicklung ist noch nicht abgeschlossen, zumal die nötigen Infrastrukturen für diese Art von Messtechnik sich rasend schnell entwickeln (Stichwort ‚cloud computing'). In einer Diplomarbeit (Bicker 2011) wurden mehrere Optionen für Erweiterungen erprobt. Ein ‚ScooterAnalyst' soll dabei von Laien eingesetzt werden können, um Daten (u.a. Position, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Batterieströme und Spannung) zur Ermittlung der Effizienz von E-Scooters zu erheben. Der Prototyp eines ‚ScooterAnalyst', basierend auf einem ‚Arduino Mega 2560'-Mikrocomputer und spezialisierten ‚prototyping shields', wurde gebaut und die Sensor- und Kommunikationsfunktionen erfolgreich getestet (s. Abbildung 52). Dank dem ‚ScooterAnalyst' soll zukünftig mit entsprechender Software z.B. das Erstellen von energieEtiketten in ‚Echtzeit' möglich werden - erste Entwicklungsschritte für solche Anwendungen wurden in einer Masterarbeit (s. Kap. 6.1.3 und Creola 2011) gemacht.

Abbildung 52: ‚ScooterAnalyst' Testbetrieb (links) und Aufbau (rechts). (Bilder: Empa)

6.1.2 E-Scooter Modellierung

Um die im vorherigen Kapitel beschriebenen Rollentests zu simulieren, wird ein Modell eines E-Scooters benötigt, welches den Energiebedarf einer beliebigen Fahrt genügend genau nachbildet. Zur Beschreibung der Fahrzeugdynamik (s. Creola 2011 und Cossalter 2008) wurde dazu ein physikalisches Modell einer bewegten Punktmasse gewählt, auf welche (innere und äussere) Kräfte wirken. Die Dynamik ergibt sich einerseits aus den inneren Kräften, d.h. durch den Antriebsstrang und die Bremsen, welche über die Räder übertragen werden andererseits aus den äusseren fahrdynamischen Kräften, wie der dissipativen Rollreibung und dem Luftwiderstand. Dazu kommen die von der Fahrzeugmasse bewirkten konservativen Kräfte: das Gewicht und die Beschleunigungskräfte, wobei letztere auch innere drehende Massen wie Getriebe und Räder umfassen. Das Modell der dynamischen Kräfte ist in Abbildung 53 wiedergegeben.

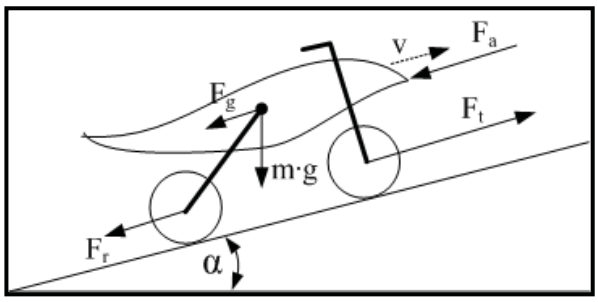


Abbildung 53: Relevante Kräfte und deren Wirkungslage an einem Motorrad. (Quelle Empa)

Im Folgenden sind die wesentlichen physikalischen Zusammenhänge für das Modell wiedergegeben - eine Ausführliche Formelsammlung findet sich im Anhang zu Kap. 6.1.2.

Die Zusammensetzung der Kräfte **F** (fette Schrift für Vektoren), die auf das Motorrad wirken, ist:

$$\dot{\mathbf{p}} = m_v \dot{\mathbf{v}} = m_v \ddot{\mathbf{r}} = m_v \mathbf{a} = \mathbf{F}_{total}$$
$$0 = m_v \mathbf{a} - \mathbf{F}_{total}$$
$$\mathbf{F}_{total} = \sum_i \mathbf{F}_i = \mathbf{F}_t + \mathbf{F}_a + \mathbf{F}_r + \mathbf{F}_g + \mathbf{F}_s \qquad (1)$$

mit

$\mathbf{a}=\dot{\mathbf{v}}=\ddot{\mathbf{x}}$	Fahrzeugbeschleunigung (Vektor)
m_v	Gesamtmasse (Fahrzeug+Fahrer)
F_t	Traktionskraft[1] am Rad (Antriebskraft F_a and Bremskraft F_b)
F_a	Aerodynamische Kraft (Luftwiderstand)
F_r	Rollreibungskraft
F_g	Gravitationskraft (Gewicht)
F_s	Störungskräfte (z.B. Wind oder Schlupf auf glatter Fahrbahn)

Die Bewegung des Massenpunktes ist durch den zeitabhängigen Ortsvektor **r**(t) oder, in parametrisierter Darstellung, durch den Ortsvektor **r**(s) und den Fahrplan s(t) gegeben (Differentialgeometrie der Bahn). Aus der Dynamik ergibt sich mit den aufgeführten Kräften die Zusammensetzung der Energieverbräuche (Skalar):

$$dW = \mathbf{F}_{total} \cdot d\mathbf{r}$$
$$W = \int_{Fahrstrecke} \mathbf{F}_{total} \cdot d\mathbf{r} = \int_{s_1}^{s_2} \mathbf{F}_{total}\left\{\mathbf{r}(s)\right\} \cdot d\boldsymbol{\tau}(s) \cdot ds \qquad (2)$$

mit

r(s)	Ortsvektor der Fahrzeugbahn
τ(s)	Tangentenvektor der Bahn (Einheitsvektor)
s(t)	Fahrplan auf der Bahn

Die Traktionskraft am Rad F_t ergibt sich aus dem Traktionsmoment M_t am Antriebsrad und dessen Radius r_{Rad}. Das Traktionsmoment M_t setzt sich vereinfachend aus dem Antriebsmoment M_a und dem Bremsmoment M_b zusammen, wobei je nach Betrieb das Bremsmoment dissipativ und/oder konservativ sein kann, je nachdem ob der Motor durch Rekuperation oder die Bremsanlage durch Reibung bremst.

Wesentlich ist auch die Modellierung des elektromechanischen Wandlers, in diesem Fall einer bürstenlosen permanenterregten Synchronmaschine und des zugehörigen Leistungsstellers/Reglers, sowie des elektrochemischen Wandlers, in diesem Falle eine Li-Ionen Batterie mit zugehörigem Batteriemanagementsystem (BMS). Die gesamte Wirkkette ist in der folgenden Abbildung 54 dargestellt:

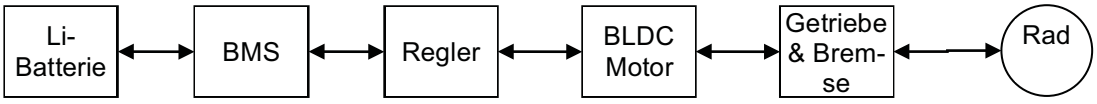


Abbildung 54: Blockdiagramm der relevanten Komponenten, die jede durch ihren Wirkungsgrad Pout/Pin definiert ist. Der Leistungsfluss ist bidirektional, d.h. die Bremsleistung kann rekuperiert werden oder wird über Bremsen absorbiert (mechanische oder elektrische Bremsen).

[1] Historisch eher Zugkraft bzw. Schubkraft.

Die Traktionsleistung am Rad ist:

$$\begin{aligned} P_t(t) &= \mathbf{v}(t) \cdot \mathbf{F}_t(t) \\ &= \mathbf{v}(t) \cdot \left(\mathbf{F}_a(t) - \mathbf{F}_b(t)\right) \\ &= M_t(t) \cdot \omega(t) = \omega(t) \cdot \left(M_{el}(t) - J \cdot \dot{\omega}(t) - \sum M_V(t)\right) \end{aligned} \tag{3}$$

mit

ω	Drehzahl (mittlere)
J	Summe der Trägheitsmomente aller rotierenden Massen
M_v	alle Verlustmomente (inkl. der Bremsmomente der Bremsen!)
M_{el}	Antriebsmoment des Elektromotors

6.1.3 Das Parameteridentifikationsverfahren

Das im vorherigen Kapitel entwickelte Modell ist generisch und genügend detailliert für alle untersuchten E-Scooters. Um es für einen bestimmten E-Scooter zu verwenden, müssen die Modellparameter wie Masse und Reibungskoeffizienten ermittelt werden. Man spricht in diesem Fall von einem ‚grey box'-Modell, bei dem man zwar die physikalischen Zusammenhänge kennt, jedoch die Parameter noch nicht bestimmt sind. Diese müssen zuerst mit Experimenten, in unserem Fall in Fahrversuchen, identifiziert werden. In einem ‚black box'-Modell würde man nicht einmal a priori die inneren Zusammenhänge des Modells kennen, sondern müsste auch diese über Versuche 'entdecken'.

Das Verfahren der Parameteridentifikation ist nicht trivial. Für eine erfolgreiche Identifikation sind dafür mehrere Schritte notwendig:

1. Bestimmung eines geeigneten mathematischen Modells (wie oben entwickelt)
2. Datenaufnahme und Auswahl von aussagekräftigen Datensätzen (Fahrversuche)
3. Rauschverminderung
4. Parameteridentifikation mit einem geeigneten Algorithmus

Die eigentliche Parameteridentifikation kann nur gute Resultate liefern, wenn alle Schritte sorgfältig durchgeführt werden. Es können mehrere Iterationen durch alle Schritte notwendig sein. In diesem Projekt (Wilhelm et al. 2012) war dies vor allem für Schritt 2 notwendig, denn es wurden mehrere Hardwares getestet, bis schliesslich aussagekräftige Daten zur Verfügung standen. Das mathematische Modell wurde wie in Kapitel 6.1.2 beschrieben festgelegt. Die Rauschverminderung ist ein rein numerisches Verfahren, das auf bewährten Methoden der Signalverarbeitung basiert. Auf unsere Daten wurde wo nötig ein Tiefpassfilter (gewichteter, gleitender Durchschnitt) angesetzt, um hochfrequente (Rausch-) Anteile des Signals herauszufiltern.

Die bekanntesten Algorithmen für die Parameteridentifikation wurden auf dieses Problem angewendet. Drei Algorithmen aus verschiedenen Kategorien wurden implementiert, um sich mit dem Suchraum (Parameterraum) vertraut zu machen. Dieser Schritt ist wichtig, da für nicht-konvexe Probleme, welche hier vorliegen[1], das Finden einer globalen Lösung nicht gewährleistet werden kann. Somit kann man nur zwischen einer guten und einer schlechten Lösung unterscheiden, indem mit mehreren unterschiedlichen Algorithmen Erfahrungswerte[2] gewonnen werden. Bei den drei Algorithmen handelt es sich um ein Gradientenverfahren, ein stochastisch-basiertes Verfahren (PSO[3]) und ein evolutions-

[1] Identifikationsversuche zeigten gewichtige lokale Minima - ein Hinweis, dass das Problem nicht konvex ist.

[2] Es sind mehrere Iterationen nötig, um den Algorithmus zu 'tunen' und ein 'Gefühl' für die optimalen Parameter und Ergebnisse zu bekommen. Nur so kann man zwischen einem 'richtig' oder 'falsch' konvergierten Ergebnis unterscheiden – globale Minima sind nie garantiert.

[3] Particle Swarm Optimization

ähnliches Verfahren (GA[1]). Die Softwareschnittstelle wurde so programmiert, dass die verschiedenen Algorithmen ausgewählt werden können.

Das Identifikationsverfahren ist in Abbildung 55 schematisch dargestellt. Man erkennt eine Rückführung auf der rechten Seite des Flussdiagramms. In dieser Schleife werden ständig neue Abschätzungen der Parameter generiert, bis die Schlussbedingungen erfüllt sind. Diese Bedingungen ergeben sich aus einer problemspezifischen Kostenfunktion. Es zeigt sich, dass die Wahl der Kostenfunktion und der dazu passenden Schlussbedingungen sorgfältig zu wählen sind, um Fehlergebnisse zu vermeiden.

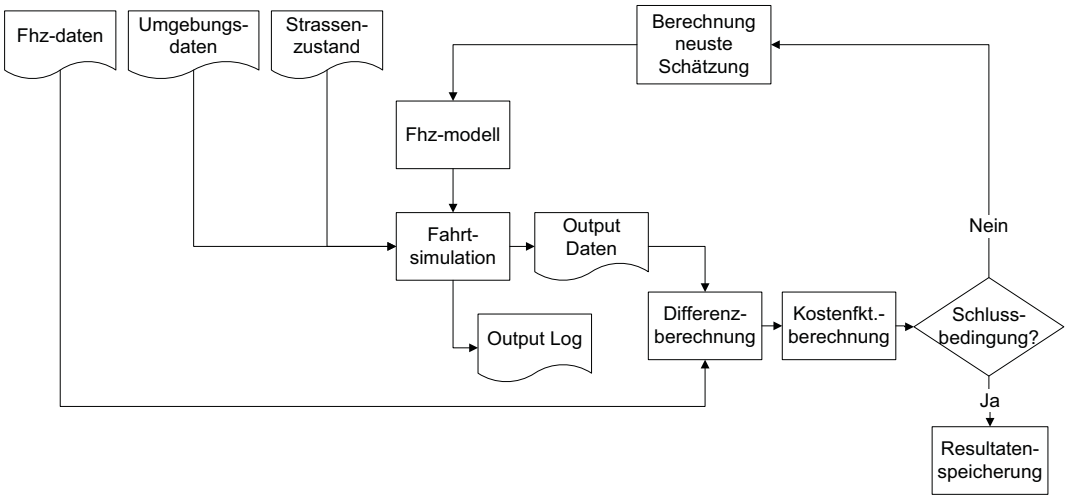


Abbildung 55: Schematisches Parameteridentifizierungsverfahren. (Grafik: VirVe)

Mit dem oben beschriebenen Verfahren ist es möglich, Parameter zu identifizieren. Neue Parameterwerte werden bei jeder Berechnung der Kostenfunktion, die bei evolutionären Algorithmen auch ‚Fitness-Funktion' genannt wird, benutzt. In Abbildung 56 wird als Beispiel die Konvergenz der Fahrzeugmasse dargestellt. Man sieht, dass der identifizierte Wert etwa bei 120 kg konvergiert. Die Simulation eines Fahrzyklus (rot) mit der Anfangsabschätzung der Parameter, insbesondere einer Fahrzeugmasse von 150 kg, ist in Abbildung 57 zusammen mit den Messdaten (blau) gezeigt. In Abbildung 58 ist dieselbe Simulation, jedoch mit den korrekt identifizierten Parametern, wiedergegeben; sie zeigt eine deutliche Veränderung/Verbesserung der Resultate im letzten Viertel des Fahrzyklus.

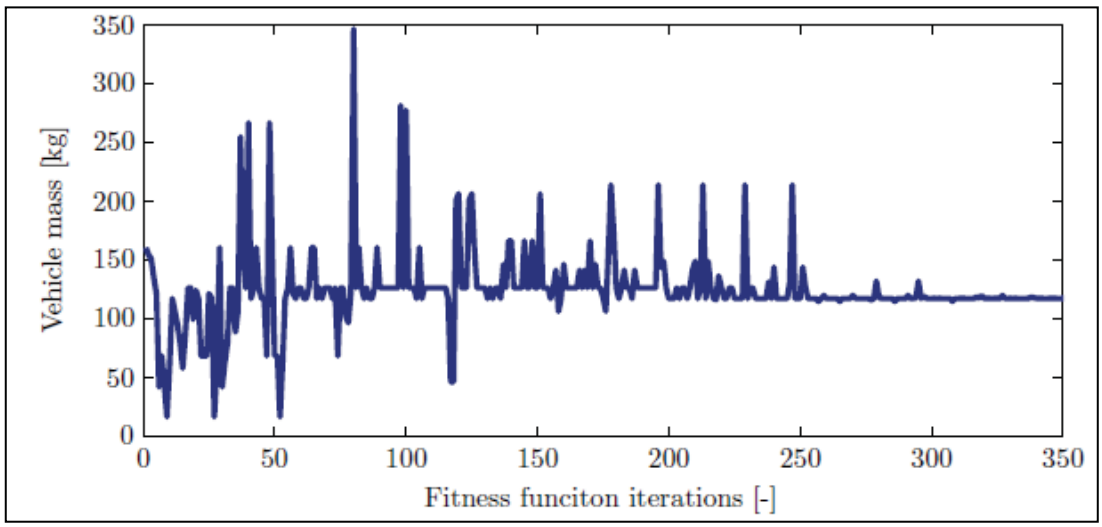


Abbildung 56: Konvergenz der Fahrzeugmasse mittels 'Particle Swarm Optimization' Algoritmus.

[1] Genetic Algorithm

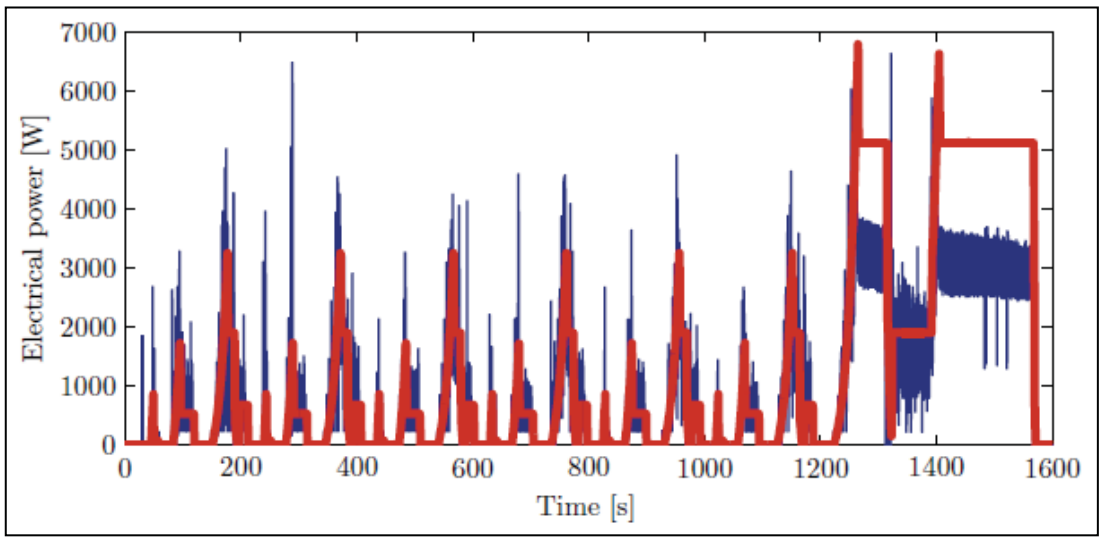


Abbildung 57: Vergleich von Messdaten (blau) und Simulation (rot) mit einem anfänglich geschätzten Parameter.

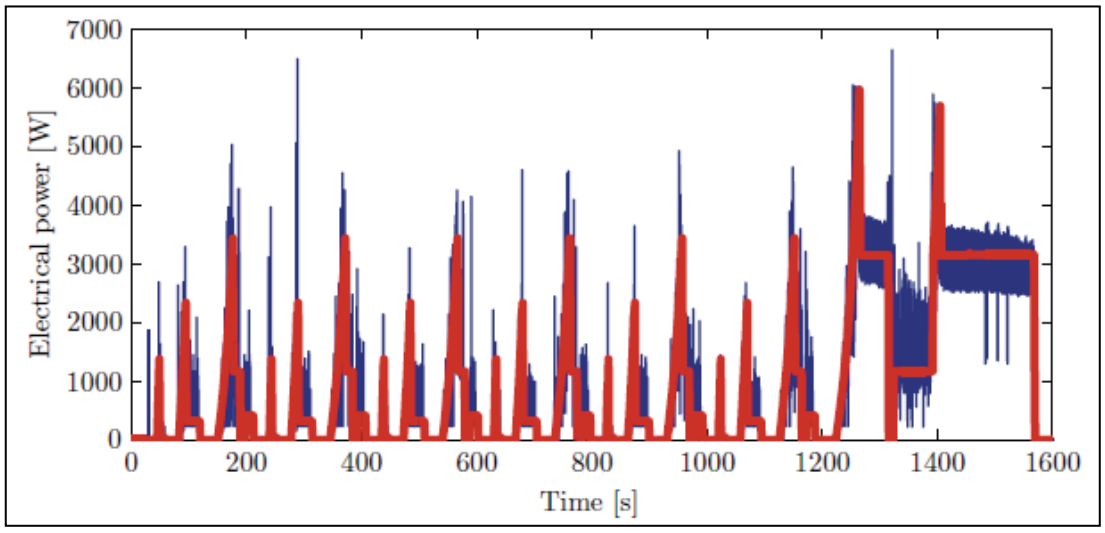


Abbildung 58: Vergleich von Messdaten (blau) und Simulation (rot) mit dem identifizierten Parameter.

Wie diese Analyse zeigt, kann die Genauigkeit des Modells durch Parameteridentifikation deutlich verbessert werden. Ausserdem hat sich bei der Erarbeitung des Parameteridentifikationsverfahrens herausgestellt, dass die Anforderungen an ein spezifisches Rezept für Testfahrten, wie erhofft, nicht gross sind. Trotzdem sind einfache Rezepte wie eine kleine Anzahl von maximalen (Vollgas) Beschleunigungen etc. sehr hilfreich, um die Parameteridentifikation effizienter durchführen zu können.

Wie im vorherigen Kapitel 6.1.1 gezeigt, konnte mit dieser neuen Methode rasch und genau der Fahrenergiebedarf einer beliebigen Fahrt z.B. für NEFZ simuliert werden. Die Genauigkeit der simulierten Ergebnisse wurde durch Messungen in realen Rollentests validiert.

Das Projekt untersuchte auch Möglichkeiten, um die Datenverarbeitung, die derzeit noch von einem zentralen Rechner geleistet wird, zum Fahrzeug oder besser gesagt zur Fahrerin zu bringen. In einer Bachelorarbeit (Creola 2011) wurde mit dem in Kapitel 6.1.2 entwickelten Simulationsmodell und einem ‚System Dynamics'-Ansatz (SD), beruhend auf den auftretenden dynamischen Kräften sowie deren Ursachen, Wirkungen und Rückkoppelungen, eine Applikation im Android-Framework entwickelt. Abbildung 59 zeigt die Übertragung des schematischen Funktionsmodells in ein SD Stock und Flow Diagramm, welches das zu Grunde liegende Differentialgleichungssystem (ODE) repräsentiert. Die Simulation des Modells bedeutet dann die numerische Integration des ODE-Systems.

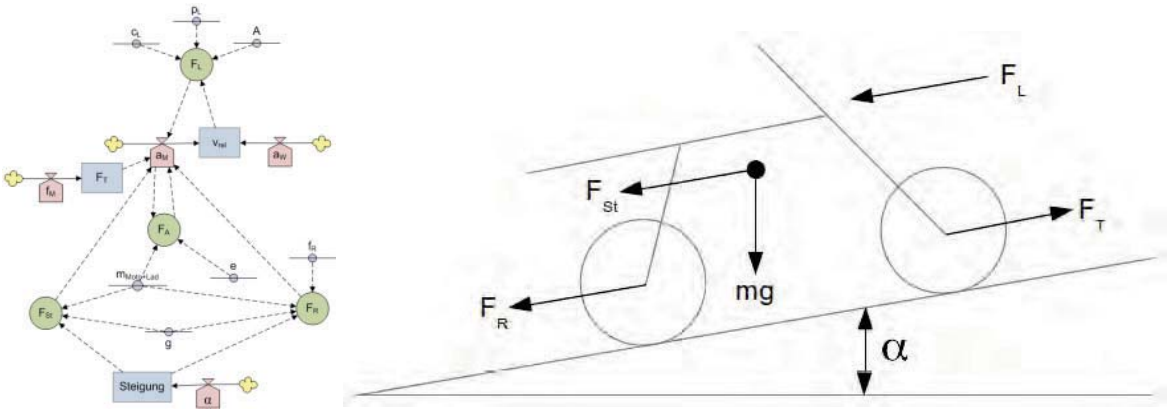


Abbildung 59: SD-Stock- und Flow-Diagramm eines idealisierten Motorrads.

Diese Android-Applikation ermöglicht nun einerseits die Verarbeitung der Sensordaten und die Berechnung der physikalischen Kräfte. Andererseits kann eine E-Scooter-Fahrt mit anderen Parametern simuliert und mit der tatsächlichen Fahrt verglichen werden. Durch die Wahl der Android-Plattform besteht die Möglichkeit, die Software auf mobilen Geräten zu nutzen. Die Implementierung deckt diverse Anwendungsfälle ab. So kann der Benutzer ein Projekt erstellen, bearbeiten oder entfernen. Für jedes Projekt werden Fahrdaten der Sensorbox in Form einer CSV-Datei eingelesen. Die Fahrt kann dann in Google Maps betrachtet werden. Für die Berechnung der tatsächlichen Kräfte müssen die Inputdaten mit Parametern ergänzt werden, d.h. die Modellparameter können z.Z. mit dieser Applikation noch nicht identifiziert werden. Eine reale Fahrt kann jedoch mit anderen Parametern simuliert werden, z.B. mit anderen Reifen oder mit Gegenwind. Schliesslich ermöglicht die Applikation, die tatsächliche Fahrt mit ihren ‚was wäre wenn'-Simulationen grafisch zu vergleichen und diese Grafik als PNG-Datei zu exportieren (s. Abbildung 60).

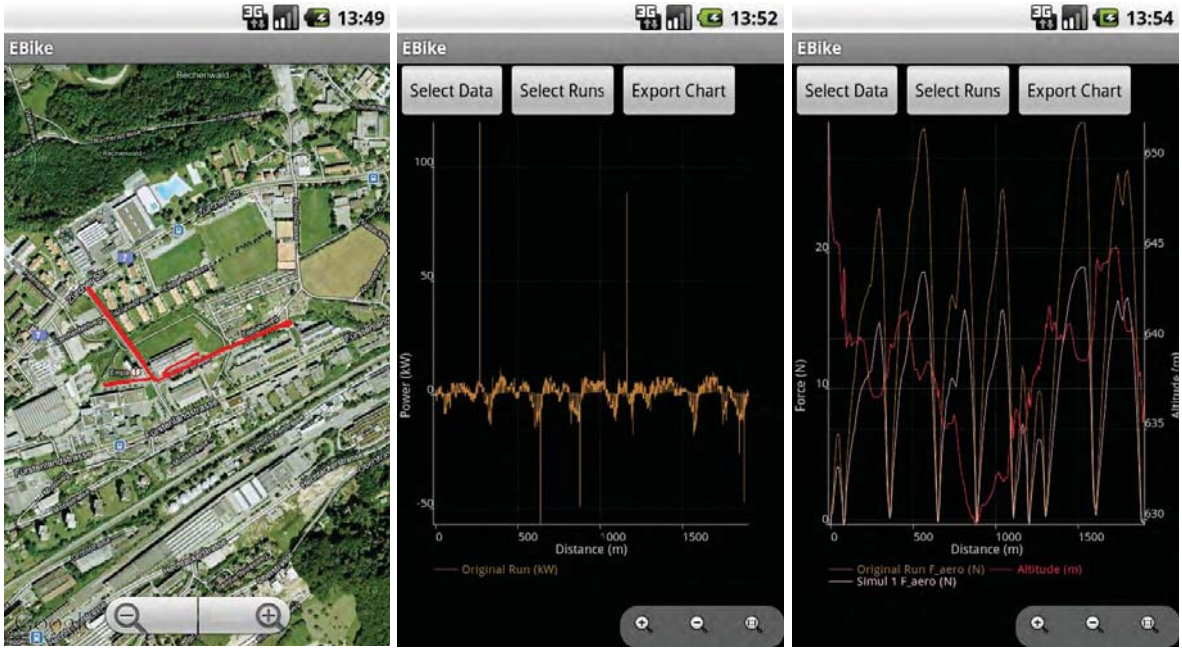


Abbildung 60: Screenshots des Android-Apps zur Verarbeitung und Darstellung von Fahrdaten. Von links nach rechts: Eine reale Fahrt (waypoints, el. Ströme, Spannungen, etc.) wird eingelesen und in Google maps dargestellt. Jeder physikalische Wert lässt sich über der zurückgelegten Strecke (x-Achse) darstellen. Das hinterlegte E-Scooter-Modell kann nun simulierte Werte berechnen z.B. den (erhöhten) Leistungsbedarf, wenn der Luftwiderstand um 50% zunimmt. Der reale und der simulierte Wert lassen sich übereinander legen. (Bilder: Empa)

Die Applikation beruht auf der Android SDK-Version 2.2. Diese ist mit über 83.5% der aktuell verwendeten Android-Geräte kompatibel. Die Applikation besteht aus mehr als 3'000 Zeilen Java-Code, aus mehr als 600 Kommentarzeilen und aus ein paar Hundert Zeilen XML-Code.

Die Applikation ist ein erster Schritt zur lokalen Verarbeitung und Darstellung der Fahrdaten. Sie wurde so aufgebaut, dass zukünftige Änderungen und Erweiterungen problemlos möglich sein sollten. Die hier vorgenommene Implementierung löst das sogenannte ‚Vorwärtsproblem', d.h. die Simulation des Fahrverhaltens mit einem vollständig bestimmten Modell. Durch die Entwicklung entsprechender Algorithmen kann die Applikation dahingehend erweitert werden, dass auch das ‚Rückwärtsproblem' gelöst werden kann, d.h. die Parameteridentifikation gemäss den oben beschriebenen Verfahren.

6.1.4 Untersuchungen von Energiemessgeräten

Um den Energiebedarf eines E-Scooters richtig einzuordnen ist, wie am Anfang dieses Kapitels erläutert, der Wirkungsgrad der gesamten Wirkkette einzubeziehen. Die einzigen Energiemessungen die zu einem grösseren Sample führten, sind die mit den E-Scooter-Tagebüchern konsequent aufgezeichneten Netzenergiebezüge (s. Kap. 7.4). Es zeigte sich rasch, dass die mittlerweile günstigen Stromkostenmessgeräte z.T. grosse Fehler bei der Messung der Netzströme von Ladegeräten machen. Aus diesem Grund wurde eine Anzahl günstige Geräte evaluiert und das für diesen Versuch geeignetste allen Testteilnehmern kostenlos abgegeben. Erst damit wurden gute, vergleichbare Resultate möglich. Eine Übersicht über die Messungen geben die Abbildung 61 und die Tabelle 20 – eine ausführlichere Beschreibung wird in Anhang zu Kap 6.1.4 gegeben.

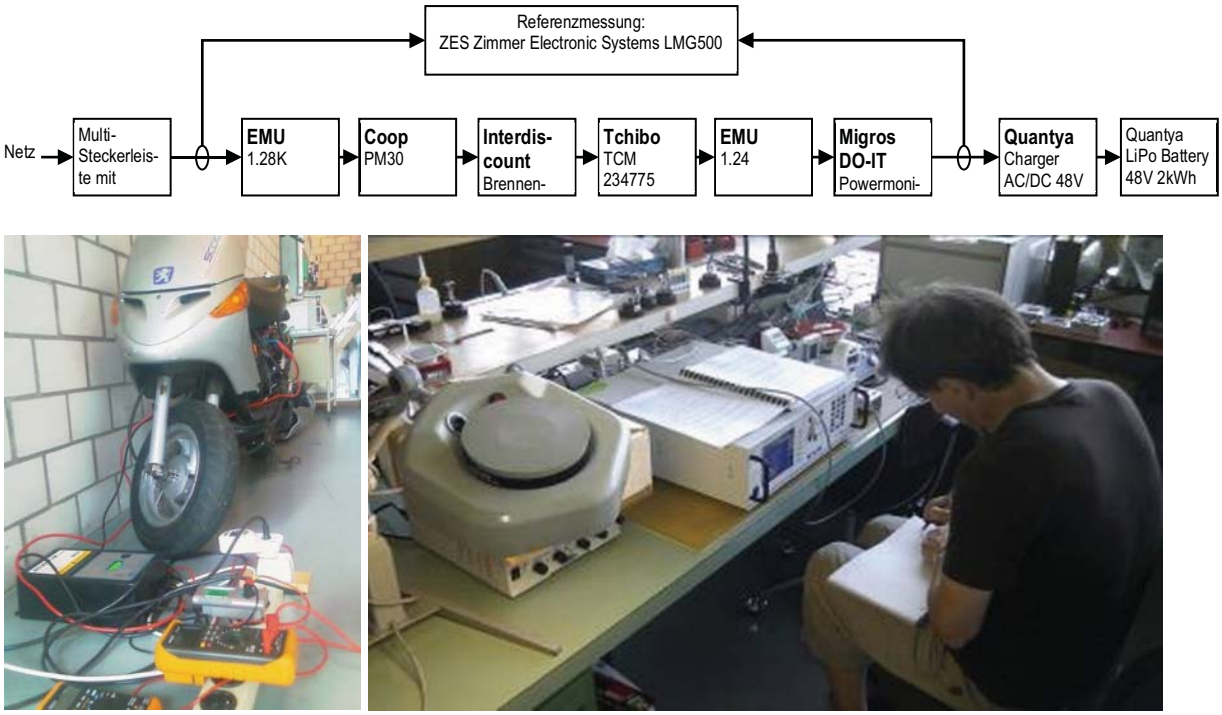


Abbildung 61: Messaufbau und Messvorgang an den ausgewählten Stromkostenmessgeräten. (Bilder: Empa)

Messgrössen		Referenz	mittlere Abweichungen zu ZES (worst case)						Referenz
		ZES LMG500 Eingang	EMU 1.28K	Coop PM30	Interdiscount Brennenstuhl PM230	Tchibo TCM 234775	EMU 1.24	Migros Do-It Powermonitor 6120.499	ZES LMG500 Ausgang
Strom	I [A]	6.98	0.3%	-45.9%	-45.0%	-52.9%	0.3%	0.6%	-0.3%
Spannung	U [V]	224	-0.1%	-0.7%	2.4%	1.9%	-0.9%	1.2%	-0.7%
Leistung	P [kW]	1.124	-0.6%	-61.5%	-59.3%	-68.3%	-1.1%	1.9%	-1.8%
Blindleistung	Q [kvar]	1.134							-0.3%
Scheinleistung	S [kVA]	1.565	-0.1%						-0.8%
Powerfactor cos phi	PF [-]	0.69	0.2%	-27.4%	-26.9%			-2.3%	-1.0%
Wirkenergie	[kWh]			-59.2%		-57.7%	0.6%	4.5%	

Tabelle 20: Übersichtstabelle der Resultate der vermessenen Stromkostenmessgeräte, die die Messfehler (rot markiert) sowie das schlussendlich ausgewählte Gerät aufzeigt (grün markiert).

Zusammenfassung Kapitel 6.1

Um den Fahr- und Fahrzeugenergiebedarf zu ermitteln, wurde erfolgreich eine neue Messmethode entwickelt, die es erlaubt, während normalen Fahrten alle notwendigen Daten zu erheben, um damit in einer Simulation jeden beliebigen Standard-Fahrzyklus virtuell nachzufahren. Der Fahrenergiebedarf der auf dem Rollenprüfstand und im Normalbetrieb getesteten E-Scooter entspricht den simulierten Werten gut. Die verwendeten Modelle und die darauf basierenden Auswertungen stehen in den Formaten MS Excel und MatLab zur Verfügung.

Weil der Ladevorgang bei heutigem Technologiestand (Ladegeräte, Batterie-Management-Systeme) mit recht hohen Energieverlusten verbunden ist, empfehlen wir, für E-Scooters – im Gegensatz zu Benzin-Fahrzeugen – konsequent zu unterscheiden zwischen dem kosten- und umweltrelevanten Energiebezug ab Steckdose und dem reichweitenrelevanten Energiebedarf für das Fahren. Sobald anspruchsvollere E-Scooters angeboten werden, z.B. Twizy-ähnliche Fahrzeuge, sind auch der Energiebedarf für Fahrkomfort (z.B. Heizung) und für Fahrsicherheit (z.B. Navigation, Beleuchtung) getrennt auszuweisen.

Einige handelsübliche Energiemessgeräte haben sich bei der Messung des Stromverbrauchs von E-Scooters ab Steckdose als untauglich erwiesen, da sie bei der Messung von Netzströmen der Ladegeräte grosse Fehler machen.

6.2 Spezifische Lebenszyklusinventare (LCI)

Im Arbeitspaket ‚LCI' (Life Cycle Inventory) wurden für verschiedene Fahrzeuge der relevanten Klassen (vgl. Kap. 1.3) nach ISO 14040:2006 Ökoinventare erstellt. Im Folgenden werden bei der Bezeichnung von Fahrzeugklassen die für die Ökoinventare eingeführten Begriffe verwendet, also 'eBike25' für ein Leichtmotorfahrrad bis 0.5kW und 'eScooter100' für ein Motorrad bis über 11kW.

Für ein transparentes Datenhandling und Flexibilität bei der Ökobilanzierung der verschiedenen Fahrzeuge, wurde die in Abbildung 62 gezeigte Unterteilung in die 5 Komponenten Chassis, Ladegerät, Batterie, Controller und Elektromotor vorgenommen.

Abbildung 62: Aufteilung eines Elektrofahrzeugs auf 5 Komponenten.

Für jede Komponente wurden – ausser bei der Batterie – verschiedene Leistungs- oder Grössenklassen inventarisiert. Mit den erstellten Inventardaten sind nun Berechnungen zu Umweltauswirkungen, sog. Ökobilanzen, möglich. Beispielsweise können damit unterschiedliche Mobilitätsverhalten untereinander verglichen werden (siehe Kap. 6.3).

6.2.1 LCI ‚Lithium-Ionen Batterien'

Die meisten E-Scooter sind heute mit denselben Lithium-Ionen-Batterietypen bestückt, wie sie auch in Handys und Notebooks verwendet werden, d.h. sie haben die gleiche chemische Beschaffenheit (Elektrodenmaterial aus Graphit bzw. aus $LiMn2O_4$, genereller NMC, oder $LiFePO_4$) und eine ähnliche Konstruktion (zylindrisch, prismatisch oder in Taschenform). Die Batteriezellen für Traktionsanwendungen sind jedoch häufig grösser und verfügen über mehr Energieinhalt [kWh] und Leistung [kW].

Abbildung 63: Beispiel einer Li-Ionen Batteriezelle, wie sie in E-Scooters verwendet wird. (Bild: Empa)

Eine typische Batterie für Elektrofahrzeuge (s. Abbildung 63) wurde an der Empa intensiv untersucht (Notter 2010).

Obwohl dieser Batterietyp nach dem Energieträger Lithium benannt ist, beträgt der Anteil an Lithium nur etwa 1-2% der Masse der kompletten Li-Ionen-Batteriezelle. Das Lithium befindet sich in der Kathode und in der Elektrolytlösung.

Einige wichtige, einfache Fakten zu Li-Ionen-Batterien sind:

- Ca. 36% der Zellenmasse bestehen aus den beiden Metallen Aluminium (ca. 23%) und Kupfer (ca. 13%).
- Etwa 40% der Zellenmasse bestehen aus elektrochemisch aktivem Material (Kathode: $LiMn_2O_4$ ca.24%, Anode: Graphit ca. 16%).
- Ca. 19% der Zellenmasse bestehen aus Elektrolyt (organisches Lösungsmittel mit Lithium-Salz).
- Übriges (ca. 5%) sind Kunststoffe (Separator, Hülle).

Andere Untersuchungen haben die Ergebnisse von Notter in der Zwischenzeit bestätigt, die gefundenen Umweltauswirkungen liegen in ähnlichen Grössenordnungen wie sie im Forschungsprojekt E-Scooter verwendet wurden (s. z. B. Dunn 2012).

6.2.2 LCI ‚Chassis'

Als Chassis oder genauer als Glider wird ein rollfähiges Fahrzeug ohne Antriebsstrang (Motor, Getriebe, Tank/Batterie, Regler etc.) bezeichnet. Drei verschiedene Grundchassis (s. Abbildung 64) wurden modelliert: Ein verstärktes Fahrradchassis, geeignet zur Aufnahme von eBike25-Komponenten, ein starkes Chassis geeignet für schnelle eBike45, und ein Chassis für eScooter45-100 (s. Abbildung 64). Im Anhang zu Kap. 6.2.2 finden sich die detaillierten Wertetabellen für die dazu aus ecoinvent 2.2 verwendeten Materialien und Fertigungsprozesse.

Abbildung 64: Verschiedene Grundchassis, Beispiele für eBike25, eBike45 und für eScooter45-100. (Bilder: www.flyer.ch, www.grace-bikes.com, www.vrone.ch)

6.2.3 LCI ‚Elektromotoren'

Für die Inventarisierung von Elektromotoren wurden verschiedene Leistungsklassen untersucht: Elektromotoren für E-Bikes bis 500W Nennleistung der 25km/h-Klasse und bis 1000W Nennleistung der schnelleren 45km/h-Klasse, sowie Elektromotoren für E-Roller und E-Motos zwischen 4-25kW Nennleistung und für Nennleistungen über 25kW (s. Abbildung 65). Die Inventare sind in der Ökobilanz-Software SimaPro erfasst und stehen interessierten Nutzern zur Verfügung. Die Analyse der gewichtsspezifischen Umweltauswirkungen, d.h. 'Umweltschaden pro Kilogramm Motor', der verschiedenen Motorentypen hat keine wesentlichen Unterschiede ergeben. Eine weitere Differenzierung ist daher nicht erforderlich, und ein durchschnittlicher Datensatz für alle gängigen Elektromotoren wurde erstellt, welcher in die Version (v3.0) von ecoinvent aufgenommen wird.

Abbildung 65: Untersuchte Motortypen (von links nach rechts): Nabenmotor eBike25 (<500W), Nabenmotor eBike45 (<1000W), Innenläufer PM-Motor (4-25kW), Innenläufer Synchron Hybrid Motor (>25kW). (Bilder: Empa, www.heinzmann.com, www.brusa.biz)

Die Untersuchungen schenkten dem spezifischen Bedarf an Seltenerdmagnetmaterialien besondere Aufmerksamkeit. Dabei zeigte sich, dass deren Mengen (s. Abbildung 66) und der durch ihre Herstellung verursachte Umweltschaden die Umwelteigenschaften der Motoren nicht wesentlich beeinflussen, d.h. dass Motoren, die gänzlich auf solche Magnete verzichten, dafür aber mehr Kupfer verwenden und eine schlechtere Energieeffizienz haben, ähnliche Gesamtumweltschäden verursachen.

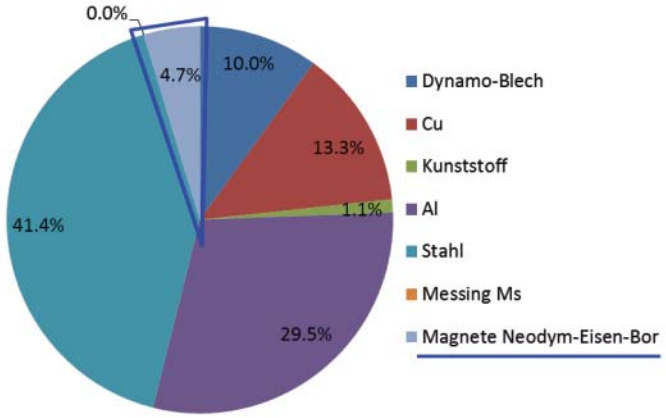


Abbildung 66: Massenanteile der Motorenkomponenten (Dynamo-Blech (Fe), Wickel (Cu), Isolationen (Kunststoff), Gehäuse (Al), Wellen & Lager & Gehäuse (Stahl), Magnete (FeNdB).

Das in den starken Permanentmagneten enthaltene Neodym ist zwar ein Seltenerdenmetall, was aber nicht bedeutet, dass es in der Erdkruste selten vorkommt. Die Häufigkeit liegt in der gleichen Grössenordnung wie Kupfer. Im Anhang zu Kap. 6.2.3 finden sich die detaillierten Wertetabellen für die dazu aus ecoinvent 2.2 verwendeten Materialien und Fertigungsprozesse.

6.2.4 LCI ‚Leistungselektronik'

Bei der Inventarisierung üblicher E-Scooter-Leistungselektronik wurden Wechselrichter für Elektrofahrzeuge verschiedener Leistungen untersucht. Dabei wurde zwischen dem eigentlichen Leistungsteil und der Steuer- und Regelungselektronik unterschieden – beide Teile zusammen ergeben den Wechselrichter. Auch hier zeigte die Analyse, dass sich, ähnlich wie bei Elektromotoren, die Geräte gewichtsspezifisch nur unwesentlich unterscheiden. Dadurch genügt auch hier ein durchschnittlicher Datensatz für beide Teile, und durch lineares Skalieren (s. Abbildung 67) können nun Datensätze für E-Bikes, E-Roller und E-Motos erstellt werden. Die folgende Skalierung wurde mit realen Wechselrichtern verglichen:

- Grundeinheit Steuer- und Regelungselektronik sowie integrierter Leistungsteil (< 1kW für e-Bike25 und eBike45)

- Grundeinheit Steuer- und Regelungselektronik sowie 3 Leistungsbausteine (< 11kW für eScooter45 und eScooter80
- Grundeinheit Steuer- und Regelungselektronik sowie 3x3 Leistungsbausteine (>11kW für eScooter100 und kleine E-Autos)
- Kompakter Wechselrichter von Brusa (ca. 100kW für E-Autos)

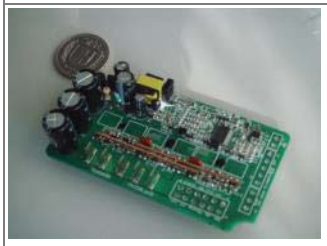
		Kompakte Leistungselektronik bis ca. 1kW, geeignet für eBike25 und eBike45.
	plus 3x	Leistungselektronik bis ca. 11kW, geeignet für eScooter45 und eScooter80. Für Ökoinventar angenähert als Logikteil plus 3 Leistungsbausteine.
	plus 9x	Leistungselektronik über 11kW, geeignet für eScooter100 und kleinere Elektroautos. Für Ökoinventar angenähert als Logikteil plus 9 Leistungsbausteine
		Leistungselektronik bis ca. 100kW, geeignet für E-Autos

Abbildung 67: Untersuchte Leistungselektronik für E-Bikes bis ca. 1kW (oben), E-Scooters bis ca. 11kW (2. v. oben, Logikteil plus 3 Leistungsbausteine), starke E-Scooters oder kleine E-Autos über 11kW (3. v. oben, Logikteil plus 9 Leistungsbausteine) sowie für sehr starke E-Motos bzw. E-Autos bis ca. 100kW (unten). (Bilder: Empa, www.brusa.biz)

Den grössten Massenanteil (ca. 60%) der Leistungselektronik bildet das Gehäuse, welches gleichzeitig die anfallende Verlustwärme abführen muss. Die übrigen Massenanteile teilen sich wie in Abbildung 68 gezeigt auf.

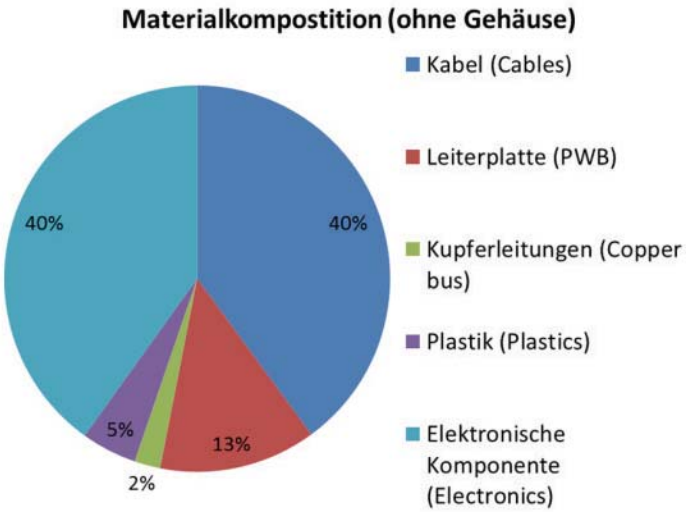


Abbildung 68: Massenanteile der unterschiedlichen Komponenten der Leistungselektronik ohne Gehäuse.

6.2.5 LCI ‚Ladegeräte'

Untersucht wurden Ladegeräte verschiedener kleiner Leistungen für Elektrofahrzeuge (keine Schnellladegeräte). In diesem Fall wurde keine genügende Korrelation von Umweltschaden und Leistungsstärke festgestellt, daher wurden drei konkrete Geräte abgebildet (s. Abbildung 69). Weitere Untersuchungen, speziell auch der Einbezug von Schnellladestationen / stationäre Ladestationen führen möglicherweise ebenfalls zu einem bzw. mehreren skalierbaren Datensätzen.

Folgende Ladegeräte wurden untersucht:

- einphasiger CC/CV[1] Laderegler für eBikes25 und eBikes45 (< 0.1kW)
- einphasiger CC/CV Laderegler für eScooter45, eScooter80 (1-2kW)
- dreiphasiger CC/CV Laderegler für eScooter100 und E-Autos (2-4kW)

Abbildung 69: Untersuchte Ladegeräte (von links nach rechts): für kleine (E-Bikes), mittlere (E-Scooters) und grosse Elektrofahrzeuge (E-Autos). (Bilder: Empa, www.brusa.biz)

6.2.6 LCI für Lärmeinwirkungen

Im Rahmen einer Dissertation (Althaus 2013) wurde untersucht, inwiefern Lärm als Umweltschaden in eine Ökobilanz integriert werden kann. Dabei wurden tageszeitabhängige Lärmemissionen von Fahrzeugen, insbesondere auch von Motorrädern untersucht.

[1] Constant current (CC) / Constant voltage (CV) beschreibt eine übliche Ladestrategie für Li-Ionen Batterien. Dabei wird mit konstantem Strom geladen bis die Batterie eine definierte Ladespannung erreicht, danach wird diese Spannung konstant gehalten und mit entsprechend abnehmendem Strom nachgeladen. Bei einem definierten Minimalstrom wird der Ladevorgang beendet.

Für die Lärmemission benzinbetriebener Motorräder konnte auf bestehende Methoden zurückgegriffen werden (Heutschi 2004). Für Elektromotorräder hingegen mussten die Lärmemissionen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit vorerst abgeschätzt werden (s. Abbildung 70). Die vorgeschlagene Funktion basiert auf der Annahme, dass die Rolllärmkomponente eines Elektromotorrades (in der auch der aerodynamische Lärm enthalten ist) gleich gross ist wie bei einem PKW. Die Motorenlärmkomponente wird zunächst über den ganzen Geschwindigkeitsbereich als konstant 5 dB(A) angenommen.

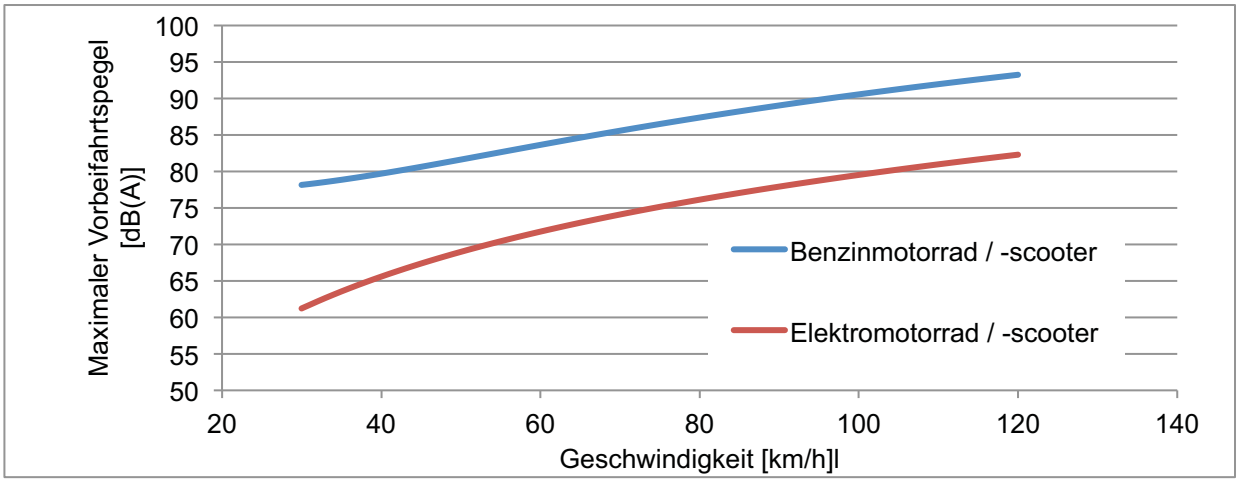


Abbildung 70: Lärmemission von Motorrädern mit Benzin- und Elektroantrieb.

Die Integration von Lärm in Ökobilanzen ist theoretisch weit fortgeschritten, es existiert jedoch noch keine Möglichkeit, die Erkenntnisse mit gängiger Auswertesoftware zu verwerten.

Fragen zu Lärmeinwirkungen des Verkehrs wurden im Rahmen einer Dissertation (Althaus 2012) untersucht. Dabei wurden die Lärmwirkungen von zusätzlichen Fahrten mit verschiedenen Fahrzeugen berechnet. Die Lärmwirkung wurde in der häufig verwendeten Einheit der ‚stark belästigten Personen' ausgedrückt. Zusätzlich wurde eine Umrechnung von dieser Einheit auf ‚Disability Adjusted Life Years' (DALY) vorgeschlagen, da DALY in Ökobilanzen eine gängige Einheit ist, um Gesundheitsschäden auszudrücken, und somit die Lärmwirkungen vergleichbar werden mit den Wirkungen von klassischen Schadstoffemissionen wie zum Beispiel Feinstaub oder Kohlenwasserstoffe. Der Umrechnungsfaktor ist eine Konstante von 0.051 DALY pro zusätzlich stark belästigter Person.

Die Resultate zeigen, dass Tag-Nacht- sowie Strecken-Vergleiche für alle motorisierten Fahrzeugtypen, wie Benzin-Auto, Benzin-Motorrad und E-Scooter sehr ähnlich ausfallen. E-Scooter-Fahrten in städtischem Gebiet verursachen rund zehn Mal höhere Lärmwirkungen als Fahrten auf der Autobahn und immerhin noch rund drei Mal höhere Wirkung als Überlandfahrten. Weiter zeigen die Resultate, dass Nachtfahrten rund zwölf Mal grössere Lärmwirkungen verursachen als Fahrten während des Tages (s. Abbildung 71). Beim Vergleich von E-Scooters mit anderen Fahrzeugtypen zeigt sich auch, dass die Lärmwirkungen zwischen 10 und 20 Mal tiefer sind als die von Benzin-Motorrädern und dass sie auch tiefer liegen als die von Benzin-Autos (s. Abbildung 72). Die vollständige Dokumentation dieser Resultate finden sich in Althaus 2012 bzw. in Althaus 2013 (in review), Althaus et al. 2009a, 2009b.

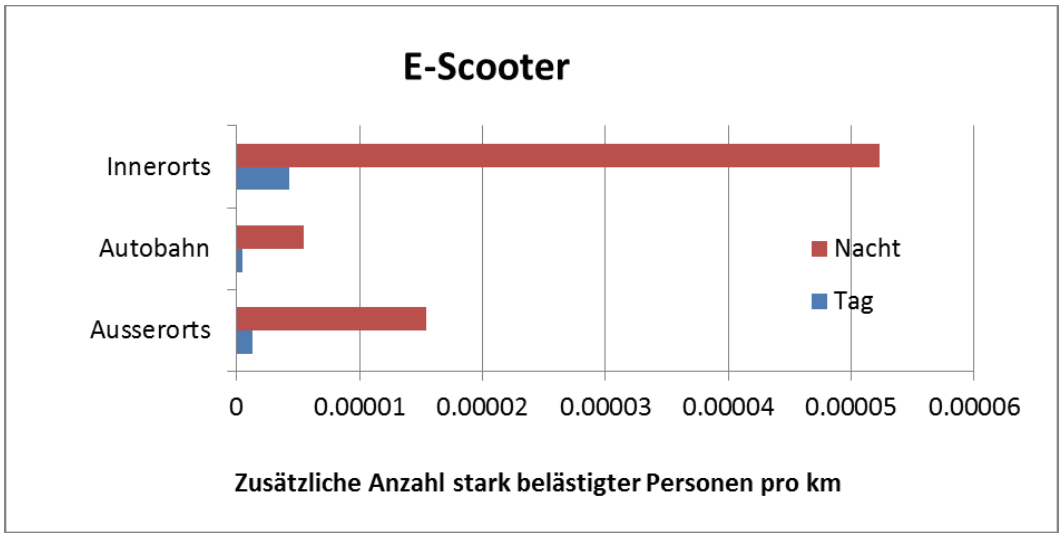


Abbildung 71: Zunahme stark belästigter Personen durch zusätzlich gefahrene E-Scooter-Kilometer auf verschiedenen Strecken während des Tages und der Nacht.

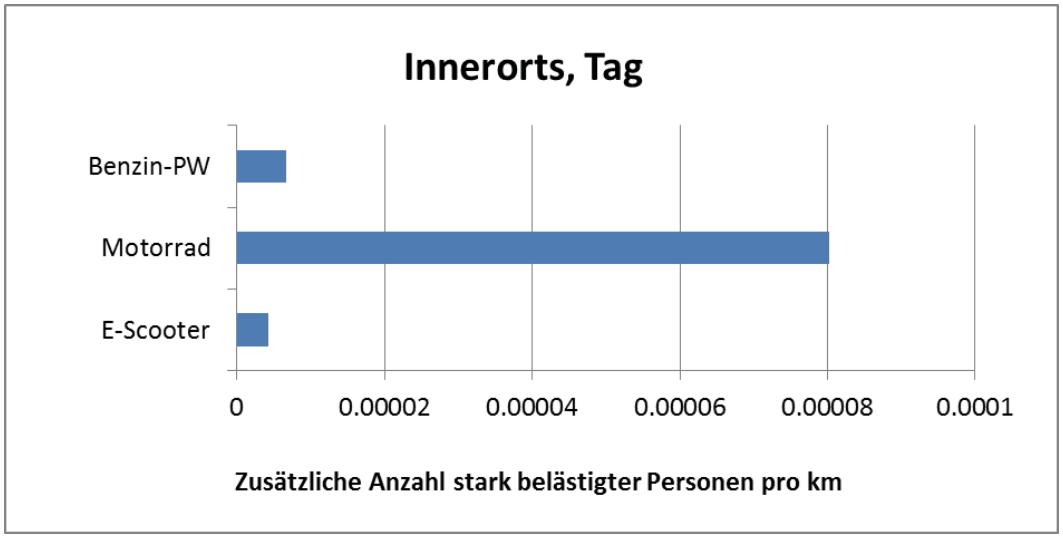


Abbildung 72: Ein Vergleich der Zunahme stark belästigter Personen durch zusätzlich gefahrene Kilometer verschiedener Fahrzeuge, hier E-Scooter und Benzin-Motorräder und Benzin-Autos.

Zusammenfassung Kapitel 6.2

Für alle relevanten Komponenten des Antriebsstrangs und des Chassis wurden Ökoinventare ausgewählter Beispiele erstellt, die für die freie Nutzung zur Verfügung stehen (in ecoinvent und/oder tabellarisch in MS Excel und in der Ökobilanzanwendung SimaPro).

Ein Vergleich der Ökoinventare von funktionsgleichen Komponenten unterschiedlicher Bauart und Baugrösse (z.B. unterschiedlichste Elektromotoren) zeigt eine meist vernachlässigbare Abhängigkeit der gewichtsspezifischen Umweltauswirkungen von grundlegenden Designparametern. Z.B. ist das Treibhauspotenzial pro Kilogramm aller untersuchten Elektromotoren über deren gesamten Lebenszyklus in etwa gleich, unabhängig von Nennleistung, Drehmoment und Konstruktionsprinzipien. Dadurch ist es möglich, die Anzahl der in der Ökoinventar-Datenbank ecoinvent hinterlegten Datensätze auf meistens einen einzigen generischen und skalierbaren Datensatz pro Komponente zu verringern.

Die etablierten Umweltindikatoren (Treibhauspotenzial, etc.) wurden um neue und für die Elektromobilität relevante Indikatoren für Lärmemissionen erweitert. Zurzeit fehlen jedoch die Möglichkeiten, sie in den gängigen Ökobilanzwerkzeugen anzuwenden.

6.3 Spezifische Lebenszyklusanalysen (LCA)

Eine umfassende Lebenszyklusanalyse (Life Cycle Assessment LCA) betrachtet sämtliche Umweltauswirkungen eines Fahrzeuges, von der Extraktion der notwendigen Rohstoffe, über dessen Betrieb inklusive der dafür nötigen Infrastruktur bis zum Recycling am Lebensende. Die in allen Lebensabschnitten entstehenden Auswirkungen werden wie in Abbildung 73 beispielsweise für Emissionen aufsummiert:

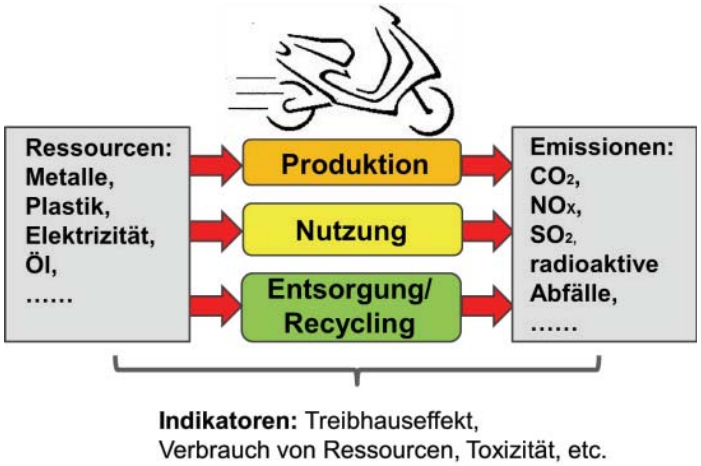


Abbildung 73: Visualisierung einer Ökobilanz. Alle Inputs (Ressourcenverbrauch) und alle Outputs (Emissionen, Produkte, Abfälle) für die Produktion, Nutzung und Entsorgung eines Produkts oder einer Dienstleistung (z.B. Personentransport) werden analysiert.

Die ein- und ausgehenden Energie- und Massenströme können Auswirkungen in drei Hauptkategorien haben:

- Auswirkungen auf die Gesundheit
- Auswirkungen auf das Ökosystem
- Auswirkungen auf die nicht-erneuerbaren Ressourcen

Für die Bewertung dieser Auswirkungen existieren verschiedene Methoden der Wirkungsabschätzung. Die Wirkung wird mit Indikatoren quantifiziert.

Der wohl am häufigsten verwendete Indikator ist das Treibhauspotential, es gibt jedoch viele weitere Methoden der Abschätzung von Umweltwirkungen wie beispielsweise:

- Humantoxizität (Human toxicity CML01 HTP)
- Photochemische Oxidation (Photochemical oxidation CML01 POCP)
- Landnutzung (Land competition CML01 LUC)
- Eutrophierung (Eutrophication CML01 EP)
- Kumulierter Energieaufwand (Cumulative energy demand CED weiter aufgeteilt in fossil, nuklear...)
- Kumulierter Exergieaufwand (Cumulative exergy demand CExD Ressourcenverbrauch Metalle, Mineralien)
- Ecoindicator 99 (H/A)

In diesem Projekt wurde die Umweltauswirkung für verschiedene Fahrzeuge bezüglich vier Wirkungskategorien und dafür gängige Indikatoren ausgewertet.

- Erderwärmung: Auswertung gemäss gängiger Methodik des International Panel for Climate Change (IPCC 2007 GWP 100a V1.02). Der Indikator [kg CO_2-äq] ist ein Mass für den Beitrag zum Treibhauseffekt/zur globalen Erwärmung.
- Menschliche Gesundheit: Auswertung gemäss der Methodik Recipe Endpoint (H) V1.07 / World ReCiPe H/A. Der Indikator ist ein Mass für Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit (Human Health). Die Masseinheit [DALY] (Disability Adjusted Life Years) ist in Ökobilanzen gängig, um Beeinträchtigungen der Gesundheit darzustellen, ausgedrückt in reduzierten Lebenserwartungsjahren.
- Ökosystem: Auswertung gemäss der Methodik Recipe Endpoint (H) V1.07 / World ReCiPe H/A. Der Indikator bezeichnet Auswirkung auf das Ökosystem (Ecosystem). Die Einheit [species.yr] ist ein Mass für die Umweltbelastung durch Nutzung des Ökosystems (einer Fläche), indem der potentielle Anteil der durch die Nutzung verlorengegangenen Arten berechnet wird (gemessen als Arten mal Jahr).
- Ressourcen: Auswertung gemäss der Methodik Recipe Endpoint (H) V1.07 / World ReCiPe H/A. Dies ist ein Indikator für nicht-erneuerbaren Ressourcenverbrauch (Resources). Die Einheit [$] drückt den Kostenanstieg aus, der durch die Nutzung zunehmend knapper natürlicher nicht-erneuerbarer Ressourcen (Energie und Mineralien) entsteht. Durch die knapper werdenden Vorkommen (niedrigere Konzentration in der Erdkruste) muss immer mehr investiert werden, um energetische oder mineralische Ressourcen zur Verfügung zu stellen.

Es existieren auch Methoden, welche die Hauptkategorien Gesundheit, Ökosystem und Ressoucen zu einem einzigen Indikator zusammenfassen (vollaggregierende Ökobilanzen). Wissenschaftlich nicht korrekt, jedoch im allgemeinen Sprachgebrauch häufig verwendet wird der Gesamtindikator als ‚die Ökobilanz' bezeichnet.

Um zu einem Gesamtindikator zu gelangen, müssen Auswirkungen gewichtet werden, womit wissenschaftliche Methoden durch soziale Massstäbe ergänzt werden müssen. Ist es beispielsweise schlimmer, zusätzliches Kupfer in Elektrofahrzeugen zu verwenden (erhöhter nicht-erneuerbarer Ressourcenkonsum) oder Emissionen durch Verbrennungsmotoren (Gesundheitsauswirkungen) ausgesetzt zu sein? Deshalb sind diese sogenannt vollaggregierenden Methoden gemäss der ISO-Norm zu LCA nicht zu verwenden. Obwohl die Schweizerische Gesetzgebung teilweise mit vollaggregierenden Methoden arbeitet, wird im Rahmen des Forschungsprojekts – so wie in der ISO-Norm empfohlen – auf die Anwendung verzichtet.

Annahmen für Nutzungs- bzw. Lebensdauer:

Die Ergebnisse der Ökobilanzberechnung hängen stark von der festgelegten Lebensdauer der Fahrzeuge und deren Komponenten ab. Je höher die Umweltauswirkungen durch die Komponentenherstellung sind, desto schlechter ist die Gesamtbilanz bei einem frühen Ausfall. Bei Elektrofahrzeugen ist die Lebensdauer der Batterie und der Leistungselektronik besonders relevant. Für die Lebensdauer (hier in Fahrleistung ausgedrückt) verschiedener Komponenten in den verschiedenen Fahrzeugklassen wurden folgende Annahmen getroffen:

	Fahrrad	**E-Bike**	**E-Scooter**	**E-Auto**
Fahrzeug	15'000 km	15'000 km	50'000 km	150'000 km
Chassis, Motor, Elektronik	15'000 km	15'000 km	50'000 km	150'000 km
Reifen	4'000 km	4'000 km	5'000 km	30'000 km
Batterien	-	15'000 km	50'000 km	150'000 km

Tabelle 21: Angenommene Lebensdauer von Komponenten in verschiedenen Fahrzeugkategorien.

6.3.1 E-Scooter-Umweltauswirkungen im Vergleich

Um die E-Scooter-Inventardaten zu testen und anzuwenden, wurden die Umweltauswirkungen verschiedener Personentransportmöglichkeiten berechnet und miteinander verglichen. Die Bezugsgrösse war jeweils ein Personenkilometer, und es wurden die oben beschriebenen Methoden und Indikatoren verwendet. Bei Elektrofahrzeugen wurde mit dem schweizerischen Strommix an der Steckdose des Konsumenten gerechnet (148 g CO_2-Äquivalente pro Kilowattstunde Strom).

6.3.1.1 Treibhausgaspotenzial

Im Folgenden ist der Vergleich Treibhausgasemissionen (THG) von E-Scooters im Vergleich mit anderen Fahrzeugen dargestellt (s. Abbildung 74).

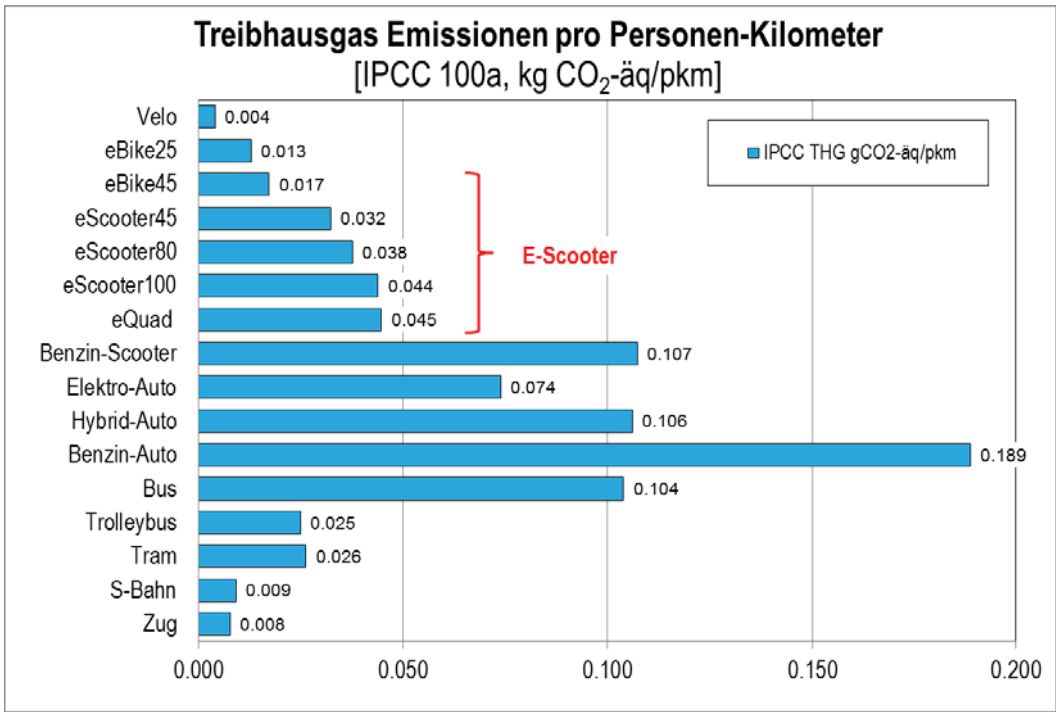


Abbildung 74: Treibhausgas Emissionen pro Personen-Kilometer für verschiedene Fahrzeugkategorien des motorisierten Individualverkehrs und des öffentlichen Verkehrs.

Der Vergleich der Fahrzeuge zeigt unter anderem, dass:

- die THG-Emissionen eines E-Scooters 32 bis 45 CO_2-äq./pkm betragen,
- ein Benzin-Scooter (107g/km) etwa 3 Mal mehr THG-Emissionen als ein eScooter80 (38g/km) verursacht,
- ein Benzin-Auto (189g/km) 5 Mal mehr THG-Emissionen als ein eScooter80 verursacht und über 10 Mal mehr als ein eBike45,
- ein eBike25 (13g/km) und ein eBike45 (17g/km) weniger THG-Emissionen pro Personen-km verursacht als ein Trolleybus oder Tram (25 bzw. 26g/km),
- alle E-Scooters, also auch die autobahntauglichen eScooter100 (44g/km), weniger als halb so viele THG-Emissionen verursachen als ein mit Diesel angetriebener Bus (104g/km)

Die Gesamtemissionen in Abbildung 74 können auf interessierende Komponenten und Lebensabschnitte aufgeteilt werden, wie die Antriebsbatterie oder die Treibstoffherstellung, um damit deren Verhältnis zur gesamten Umweltbelastung beurteilen zu können.

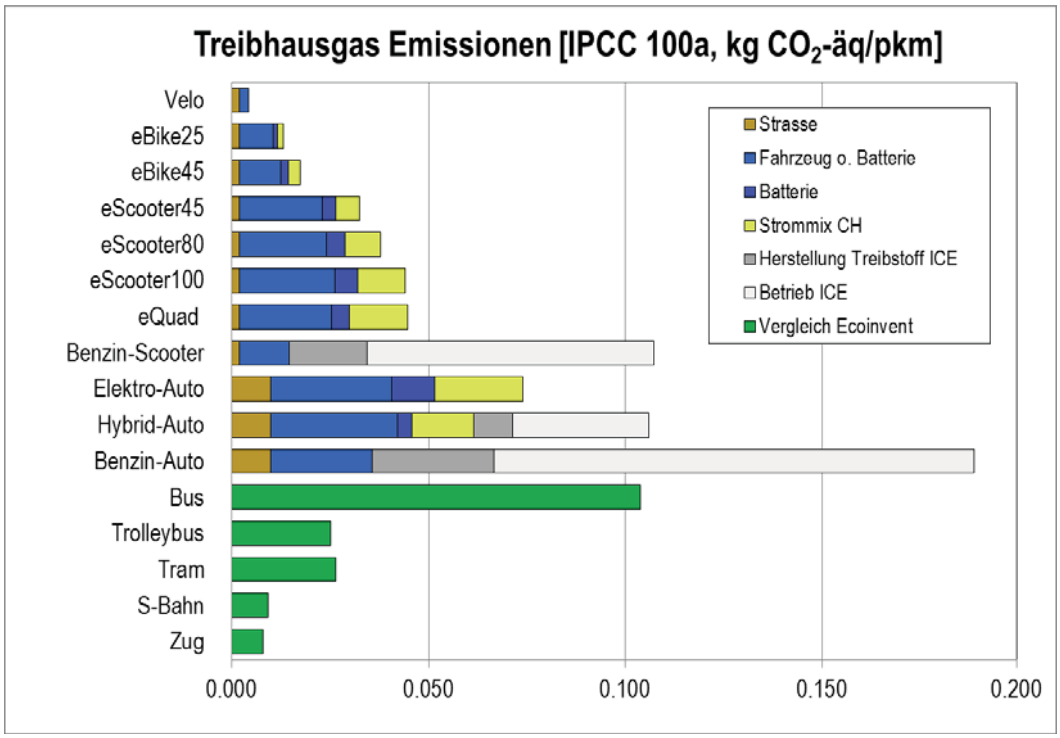


Abbildung 75: Differenziert dargestellte Treibhausgasemissionen pro Personen-Kilometer für verschiedene Fahrzeugkategorien des Individualverkehrs und des öffentlichen Verkehrs.

Hier wird beispielsweise sichtbar, dass:

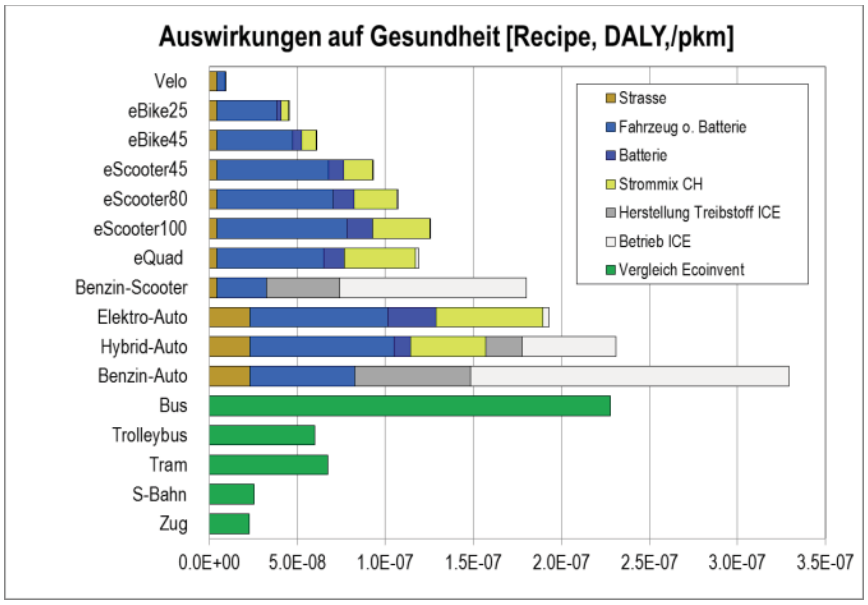
- die Herstellung eines E-Scooters ca. ¾ und der Betrieb mit dem relativ ‚sauberen' CH-Strom nur etwa ¼ der gesamten THG-Emission verursacht.
- bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor wie Benzin-Scooters und Benzin-Autos durch den Treibstoffverbrauch am meisten Treibhausgase durch deren Betrieb freigesetzt werden.
- die Herstellung eines E-Scooters mehr THG-Emissionen verursacht als die Herstellung eines Benzin-Scooters, diese Mehrbelastung im Betrieb der Fahrzeuge während der Lebensdauer aber mehr als wettgemacht wird.
- E-Bikes sehr tiefe Klimaauswirkungen haben, etwa gleich wie die Eisenbahn.
- E-Scooters fast so klimafreundlich sind wie Tram oder Trolleybus.

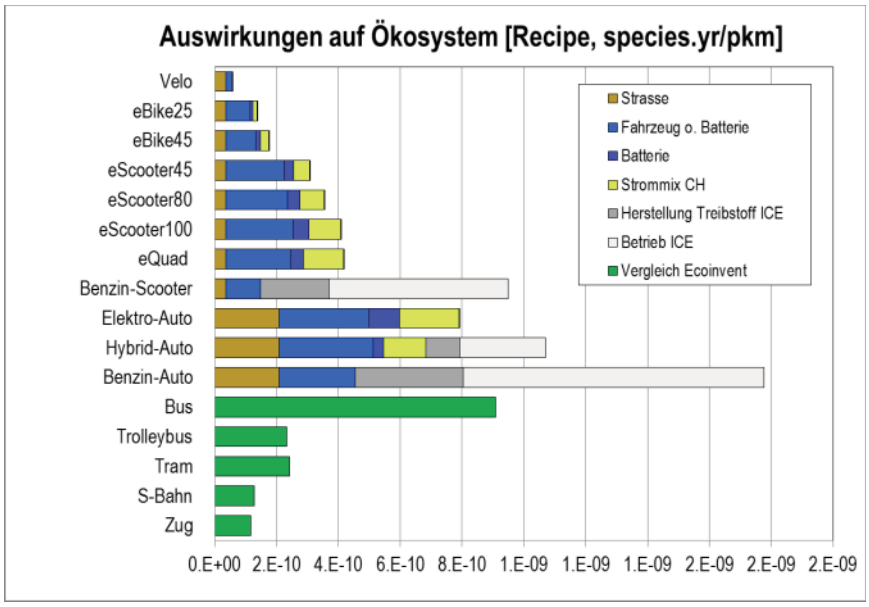
Elektrisch angetriebene Zweiradfahrzeuge sind aus dieser Sicht also ähnlich klimafreundlich wie elektrisch angetriebener öffentlicher Verkehr. Diese auf den ersten Blick überraschende Erkenntnis lässt sich damit erklären, dass Tram, Trolleybus, S-Bahn und Zug pro Passagier ähnlich viel Masse und Infrastruktur beanspruchen, wie ein elektrisches Zweiradfahrzeug. Der elektrisch angetriebene öffentliche Verkehr ist dann sehr effizient, wenn die Auslastung hoch ist und kaum Umwege gefahren werden müssen. Ein elektrisch angetriebenes 2-Rad fährt demgegenüber nie leer und eher auf der kürzest möglichen Strecke.

Werden (elektrische) Individualfahrzeuge schwerer, wie z.B. bei einem Personenwagen, und werden sie zudem dünn belegt, steigt der Material- und Energiebedarf pro Person so stark an, dass elektrisch angetriebener öffentlicher Verkehr bezüglich Klimafreundlichkeit deutlich vorteilhafter wird.

6.3.1.2 Gesundheits- und Ökosystemschäden sowie Ressourcenverbrauch

Nebst Treibhausgas-Emissionen interessieren auch andere Umweltaspekte, welche wir für die drei aggregierten Hauptkategorien Gesundheit, Ökosystem und Ressourcenverbrauch gemäss der aktuellen Methodik (ReCiPe Endpoint (H) 1.07 /World) untersucht haben (s. Abbildung 76).





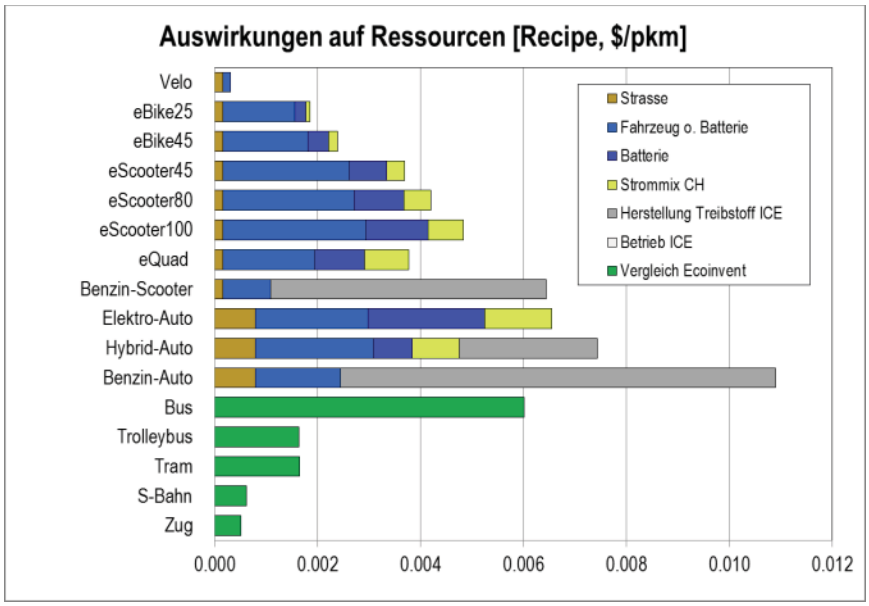


Abbildung 76: Auswirkungen verschiedener Fahrzeugkategorien auf Gesundheit, Ökosystem und Ressourcen.

Die Resultate dieser Untersuchung zeigen in allen Kategorien ein ähnliches Muster wie bei den Treibhausgasen. Die Auswirkungen auf das Ökosystem sind praktisch deckungsgleich wie für die Treibhausgase. Bei den Auswirkungen auf die Gesundheit und besonders bei den Auswirkungen auf den Ressourcenverbrauch steigen die Auswirkungen der Elektro-Fahrzeuge im Vergleich zum öffentlichen Verkehr etwas stärker an.

Weiter wird sichtbar, dass:

- ein E-Bike wegen der zusätzlichen Komponenten und Ressourcen (Batterie, Elektrizität, Elektronik) mehrfach grössere Umweltauswirkungen als ein konventionelles Fahrrad verursacht.
- die Batterie (dunkelblau) besonders beim Ressourcenverbrauch v.a. wegen der Kupfer- und Aluminiumprimärproduktion einen deutlichen Einfluss hat, was bei gesättigten Märkten durch Recycling gemildert werden kann.
- die Umweltauswirkungen der Elektrofahrzeuge in der Nutzungsphase durch die Verwendung von CH-Strom in allen Kategorien gering ist
- ein Benzin-Scooter in den drei Hauptkategorien höhere Umweltauswirkungen als ein E-Scooter aufweist. Die Auswirkungen des Benzinverbrauchs sind dabei dominant.

6.3.1.3 Umweltauswirkungen im Vergleich mit einem Benzin-Auto

Werden die Ökobilanzresultate in den vier untersuchten Kategorien zusammengefasst und relativ zum Ergebnis eines Benzinautos dargestellt, resultiert die Abbildung 77.

Die Darstellung aller Umweltkategorien erlaubt eine ganzheitlichere Interpretation als es bei der Wahl eines einzelnen Indikators möglich wäre. Es wird sichtbar, dass:

- ein Benzin-Auto in allen Kategorien die höchsten Umweltauswirkungen aufweist.
- ein Benzin-Roller ähnlich abschneidet wie ein batteriebetriebenes Auto, ein Plug-In Hybridauto oder ein dieselbetriebener Bus
- ein E-Scooter relativ zum Auto bei Treibhausgas- und Ökosystemauswirkungen besser abschneidet als bei Gesundheits- und Ressourcenauswirkungen, in allen Kategorien aber insgesamt deutlich tiefer liegt.
- ein E-Scooter Umweltauswirkungen im ähnlichen Bereich wie Tram oder Trolleybus erreicht, ein E-Bike sogar an S-Bahn oder Zug herankommt.

Im Anhang zu Kap. 6.3.1 finden sich auch Darstellungen relativ zu einem eScooter80, zu einem Tram und zu einem dieselbetriebenen Bus.

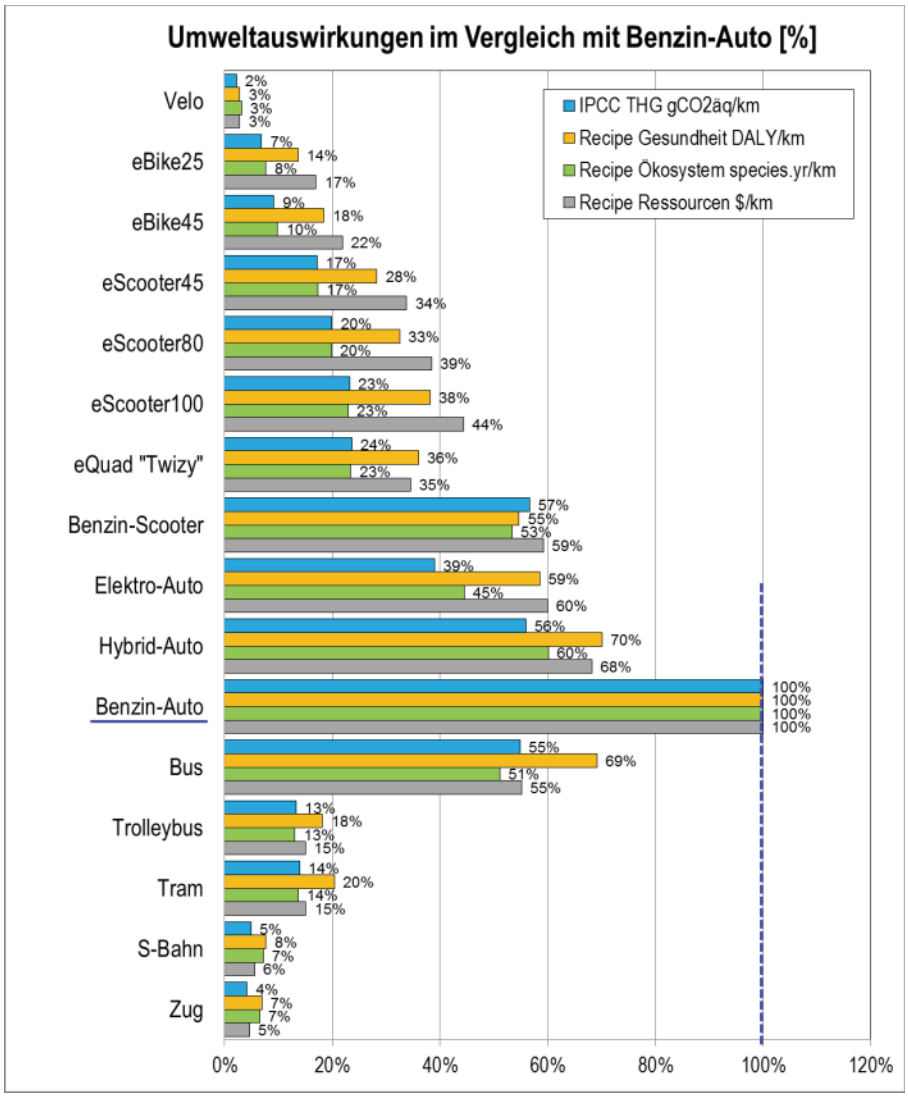


Abbildung 77: Darstellung der Umweltauswirkungen in vier Kategorien von verschiedenen Fahrzeugen relativ zu einem Benzin-Auto.

6.3.2 THG-Emissionen eines Arbeitsweges bei unterschiedlichem Modal Split

Die Ausarbeitung von Ökobilanzen für verschiedene individuelle und öffentliche Verkehrsmittel ermöglicht die Betrachtung verschiedener Szenarien für reale Mobilitätsfragen. Verschiedenste mögliche Fragen können damit beantwortet werden, wie z.B.:

- Wie verändert sich der CO_2-Fussabdruck eines Haushalts, wenn nebst oder statt dem Personenwagen ein E-Scooter beschafft wird?
- Nach wie vielen Kilometern, die mit einem E-Scooter statt mit einem Benzin-Auto gefahren werden, hat sich der Bauaufwand für einen E-Scooter amortisiert?
- Kann es aus Umweltsicht sinnvoll sein, ein E-Bike zu fahren statt den öffentlichen Verkehr zu benutzen?

Nachfolgend wird folgende Frage anhand eines realen Beispiels detailliert betrachtet:

- Welches ist die CO_2-ärmste Variante für eine bestimmte Pendlerstrecke?

6.3.2.1 Pendlerstrecke eines Modellhaushalts

Als reales Beispiel soll eine Pendlerstrecke mit Wohnort Zuckenriet SG und Arbeitsort St. Gallen betrachtet werden (s. Abbildung 78-84). Je nach Wahl des Verkehrsmittels variiert die Distanz:

Die direkteste Verbindung mit kürzester Distanz von 19km lässt sich über kleine (Velo-)Wege mit Velo (Annahme 20km/h) oder E-Bike (mit 25 bzw. 45km/h) erzielen.

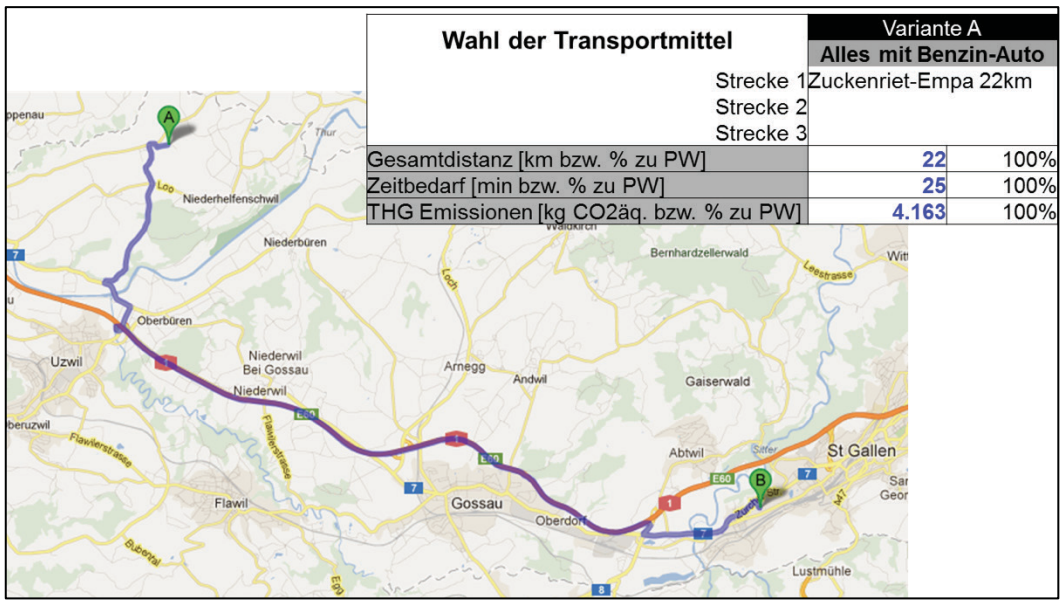
Nur unwesentlich weiter, nämlich 20km, muss über Hauptstrassen mit einem E-Roller oder Benzin-Roller (max. 80km/h) gefahren werden.

Über die Autobahn mit einem Benzin-Auto ist die Strecke mit 22km etwas länger.

Wenn man den öffentlichen Verkehr nimmt, müssen je nachdem zusätzliche Distanzen zu und von Haltestellen bzw. Bahnhöfen eingerechnet werden. Im diesem Beispiel bedeutet dies 32km via die nähere Haltestelle Uzwil (21km Regionalzug) bzw. 45km via Haltestelle Wil mit 31km Schnellzugsverbindung.

Es ist offensichtlich, dass längere Fahrstrecken auch zu höheren Umweltauswirkungen und längeren Fahrzeiten führen. Umgekehrt lassen sich trotz längeren Strecken durch höhere Transportgeschwindigkeiten Zeitvorteile erzielen. In der Variantenanalyse interessiert also nicht nur die Umweltauswirkung, sondern auch die mögliche Fahrzeit.

Variante A: *Alles mit dem Benzin-Auto (Grundvariante)*



Wahl der Transportmittel	Variante A Alles mit Benzin-Auto	
Strecke 1	Zuckenriet-Empa 22km	
Strecke 2		
Strecke 3		
Gesamtdistanz [km bzw. % zu PW]	22	100%
Zeitbedarf [min bzw. % zu PW]	25	100%
THG Emissionen [kg CO2äq. bzw. % zu PW]	4.163	100%

Abbildung 78: Pendlervariante A, mit Benzin-Auto.

Variante B: *Alles mit öffentlichem Verkehr: Postauto bis Wil, Schnellzug bis St. Gallen, Trolleybus bis Arbeitsort*

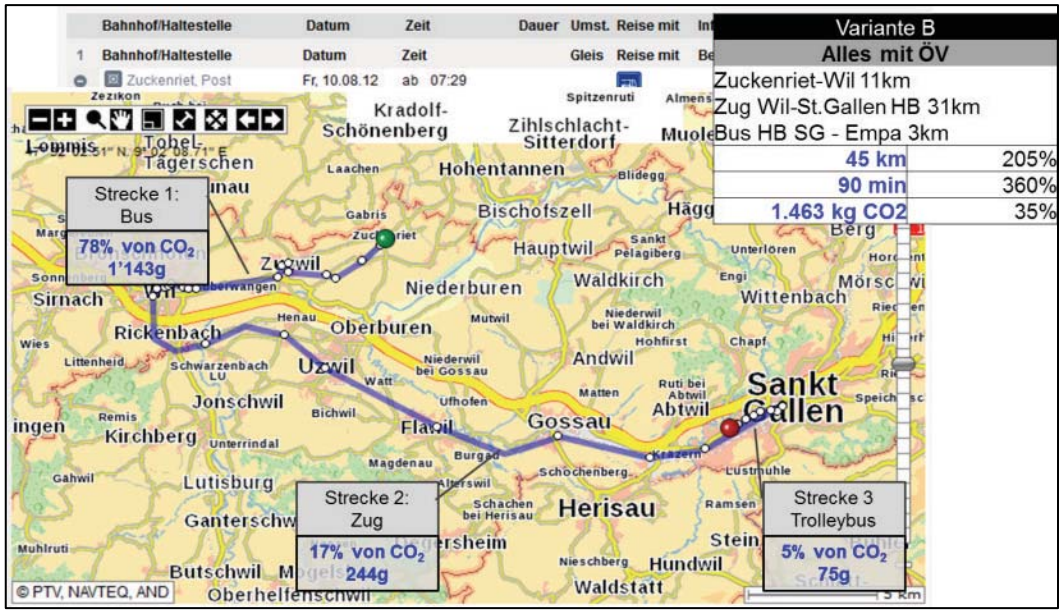


Abbildung 79: Pendlervariante B, ausschliesslich mit öffentlichen Verkehrsmitteln.

Variante C: *Mit schnellem E-Bike (45km/h) zum Bahnhof, Rest öffentlicher Verkehr*

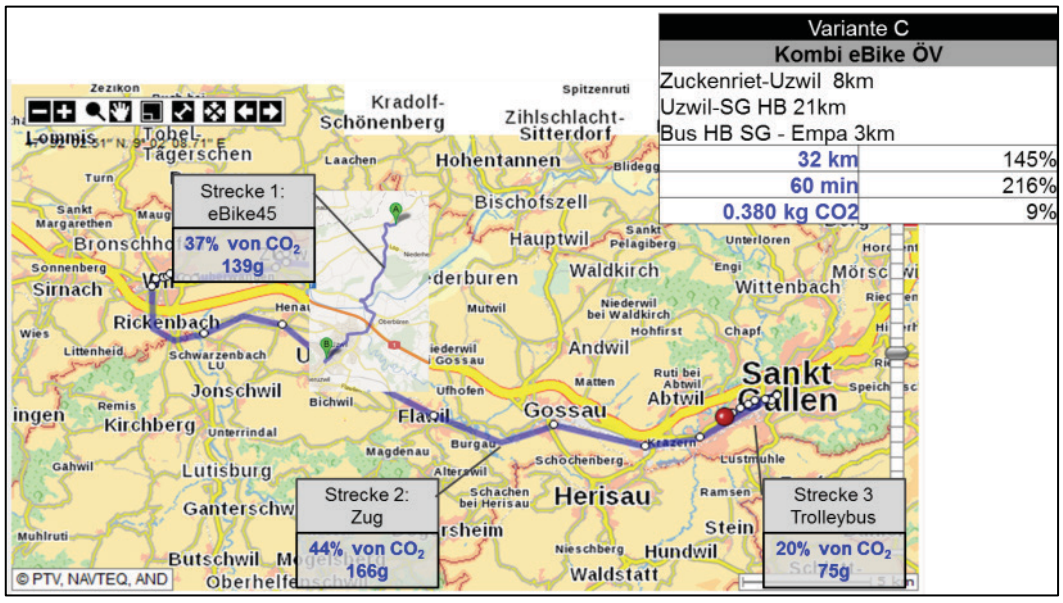


Abbildung 80: Pendlervariante C, mit schnellem E-Bike zum Bahnhof.

Variante D: *Mit schnellem E-Bike (45km/h) direkt zum Arbeitsort*

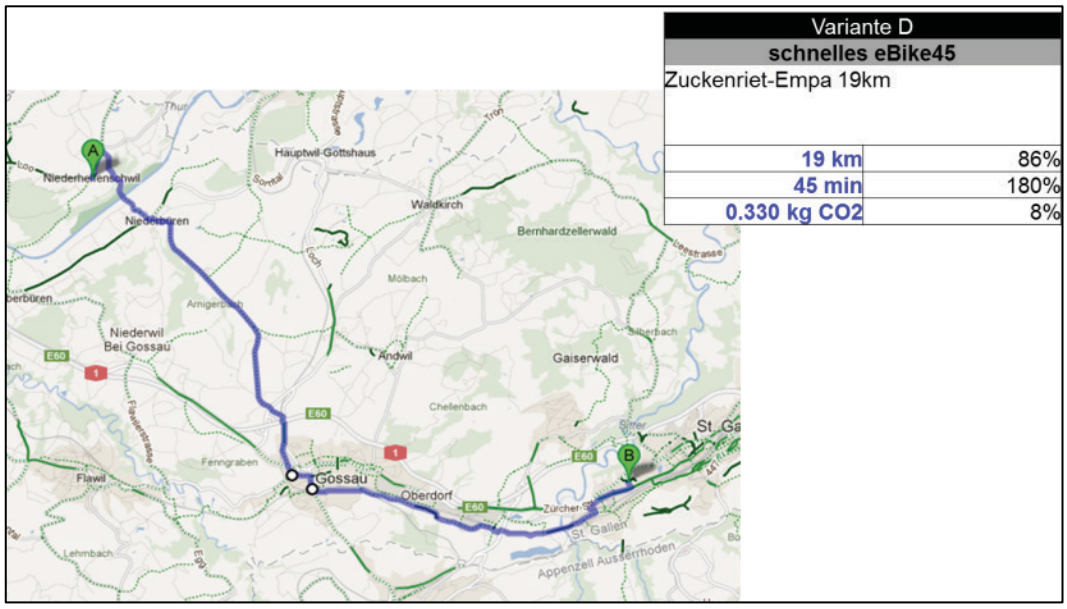


Abbildung 81: Pendlervariante D, mit schnellem E-Bike.

Variante E: *Mit E-Roller über Landstrasse*

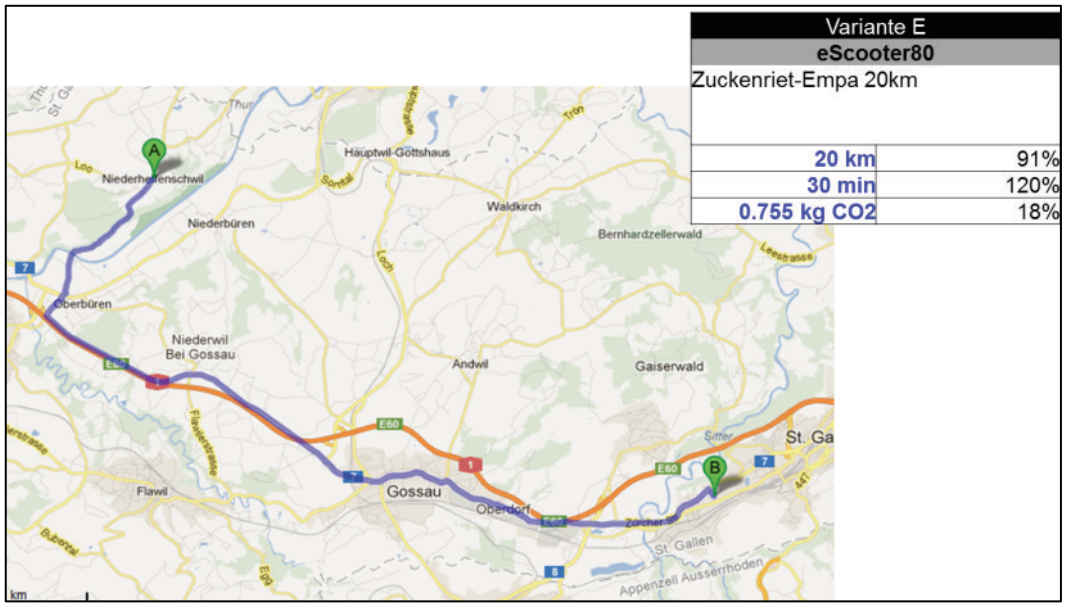


Abbildung 82: Pendlervariante E, mit E-Roller.

Variante F: *Mit Benzin-Roller über Landstrasse*

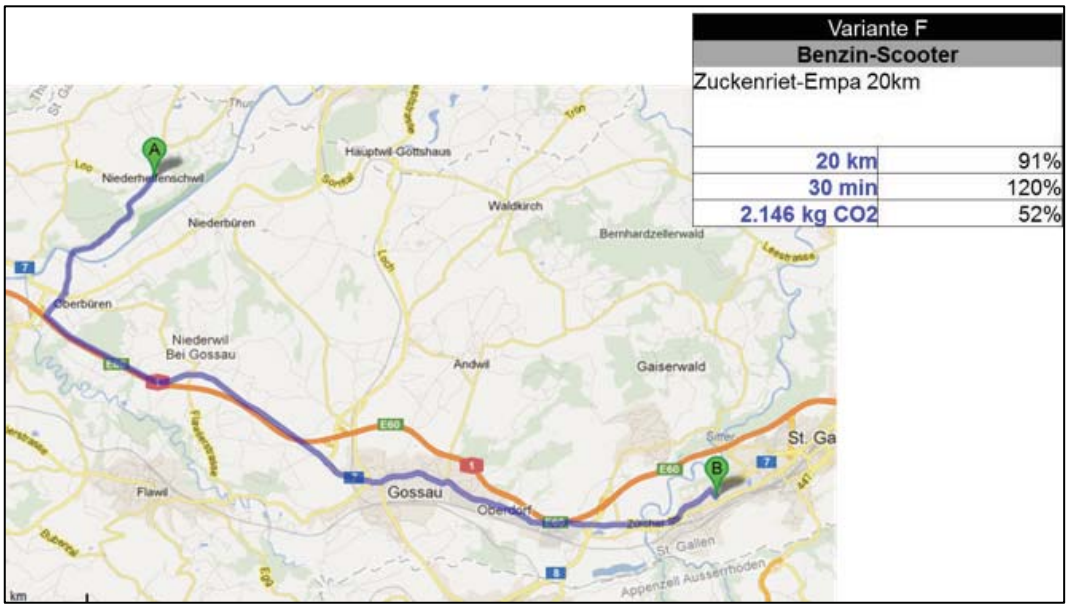


Abbildung 83: Pendlervariante F, mit Benzin-Roller.

Variante G: *Alles sportlich mit dem Velo (20km/h, ohne Berücksichtigung des Kalorienverbrauchs)*

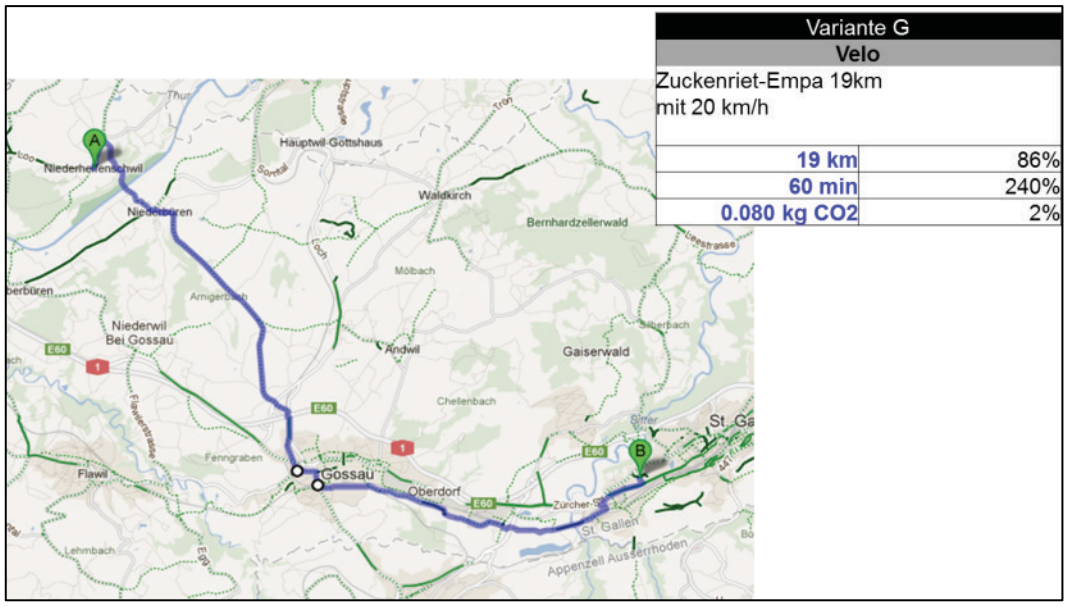


Abbildung 84: Pendlervariante G, sportlich mit dem Velo.

6.3.2.2 Auswertung der Variantenbetrachtungen für eine reale Pendlerstrecke:

Tabelle 22 zeigt das Ergebnis des Variantenvergleiches in absoluten Zahlen für Distanz, Zeitbedarf und Treibhausgas-Emissionen.

Variante	A	B	C	D	E	F	G
	Alles mit Auto	Alles mit ÖV	Kombi eBi-ke45&ÖV	Alles mit eBike45	Alles mit eScoo-ter80	Alles mit Benzin-Scooter	Alles mit Velo
Gesamtdistanz [km]	22	45	32	19	20	20	19
Zeitbedarf [min.]	25	90	60	45	30	30	60
THG Emissionen [kg CO_2äq.]	4.16	1.46	0.38	0.33	0.75	2.15	0.08

Tabelle 22: Zusammenstellung der Ergebnisse einer Pendlerstrecke bezüglich Zeitbedarf und Treibhausgas-Emissionen.

Die Varianten werden in graphischer Form gut vergleichbar (s. Abbildung 85). Als Referenzvariante (100%) wurde A (Benzin-Auto) gewählt.

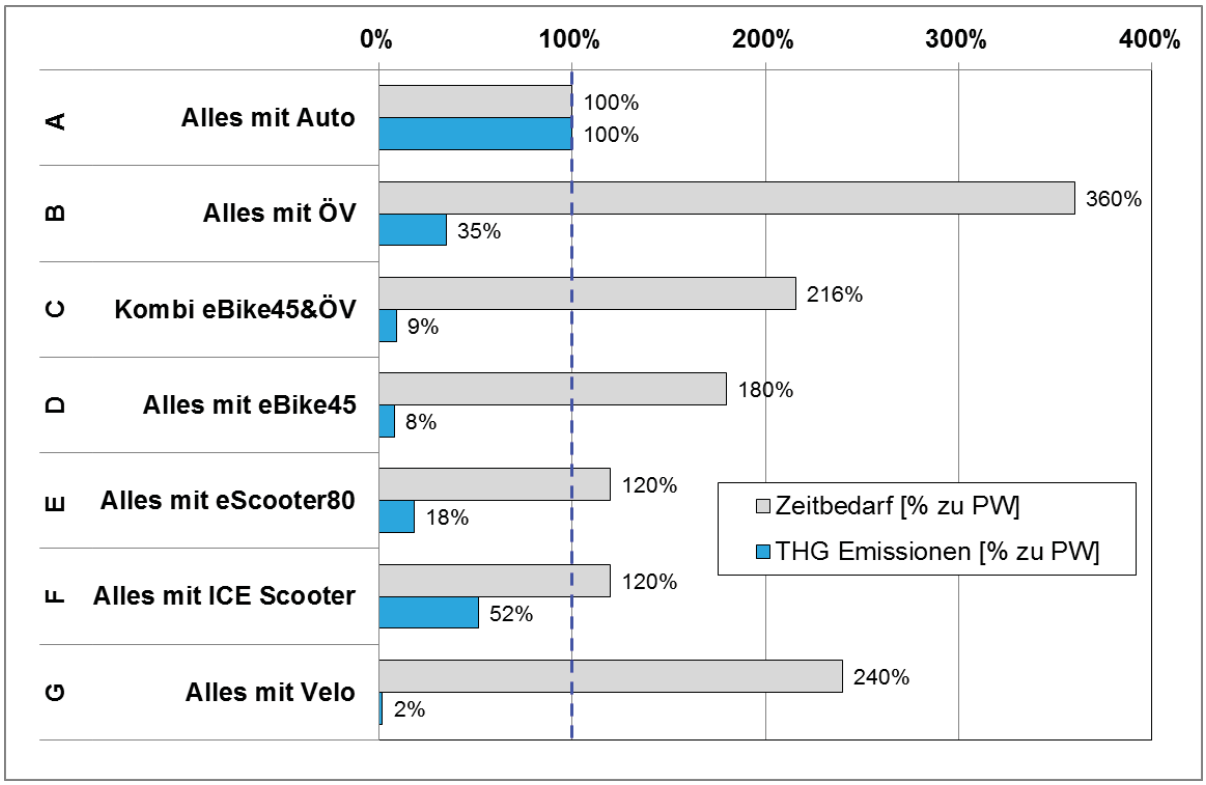


Abbildung 85: Zeitbedarf und Treibhausgas-Emissionen von verschiedenen Mobilitätsvarianten einer Pendlerstrecke im Vergleich zur Referenzvariante A mit dem Benzin-Auto.

Aus Abbildung 85 ergeben sich einige interessante Erkenntnisse, z.B.:

- Variante A (Benzin-Auto) hat von allen verglichenen Varianten mit deutlichem Abstand die höchsten Treibhausgas-Emissionen bei gleichzeitig kleinstem Zeitaufwand.
- Eine Halbierung der CO_2-Emissionen bei 20% mehr Zeitaufwand ermöglicht Variante F, ein Benzin-Scooter.
- die Treibhausgas-Emissionen lassen sich in Variante E mit einem E-Roller um über 80% senken und dies mit ebenfalls 20% mehr Zeitaufwand.
- Interessant sind die Varianten C (eBike45 zum Bahnhof) und D (alles mit eBike45) mit einem schnellen Elektrovelo. Bei beiden Varianten braucht man etwa die doppelte Zeit wie mit dem Benzin-Auto, die Treibhausgas-Emissionen lassen sich dafür um über 90% reduzieren.
- Bei Variante B (alles mit öffentlichem Verkehr) erstaunt das im Vergleich eher schlechte Ergebnis bezüglich Treibhausgas-Emissionen (ein Drittel des Benzin-Autos, aber doppelt so viel wie mit einem E-Roller). Dies rührt daher, dass die Strecke zum Bahnhof mit einem Die-

sel-Postauto zurückgelegt wird. Gleichzeitig ist der Zeitbedarf bei dieser Variante deutlich am höchsten.

- Variante G mit dem Velo (und mit einer sportlichen Fahrgeschwindigkeit von 20km/h) hat, unter Vernachlässigung des Kalorienbedarfs des Fahrers, die mit Abstand tiefsten Treibhausgas-Emissionen sowie erstaunlicherweise einen kleineren Zeitaufwand als mit Variante B ausschliesslich öffentlicher Verkehr.

Zusammenfassung Kapitel 6.3

Ökobilanzbetrachtungen sind sehr spezifisch und lassen viele relevante Phänomene wie z.B. induzierten Verkehr aus gewachsenen Strukturen (Zersiedelung und längere Fahrstrecken) unberücksichtigt. Trotzdem können Ökobilanzen wertvolle Planungs- und Entscheidungsgrundlagen liefern.

E-Scooter zu fahren lohnt sich bezüglich Umweltauswirkungen im Vergleich mit praktisch allen anderen gerechneten Varianten – selbst die Beförderungsmittel des ÖV können schlechter abschneiden als E-Scooter (z.B. wegen Umwegen oder tiefer Belegung).

Wie bereits hinreichend bekannt ist, stellt die 'Sauberkeit' des verwendeten Stroms einen der wichtigsten Einflussfaktoren dar. Ist er 'sauber', übersteigt der Umweltschaden der Fahrzeugherstellung denjenigen des Fahrzeugbetriebs bei weitem.

Der z.T. erhebliche Herstellungsaufwand von E-Scooters führt zu langen 'Amortisationszeiten', v.a. wenn das Gefährt als Zweitfahrzeug verwendet wird.

7. Nutzungsverhalten

Kapitel 6 hat aufgezeigt, dass E-Scooters vom eScooter45 bis zum E-Quad im Vergleich zu den meisten anderen motorisierten Individualverkehrsmitteln und teilweise sogar gegenüber dem ÖV ökologisch besser abschneiden (bei Personenkilometern als Vergleichsbasis). Ob dieses Potential genutzt werden kann, ist davon abhängig, wie die Nutzer von E-Scooters diese in ihren Mobilitätsalltag integrieren. Insbesondere stellen sich die Fragen, welche Verkehrsmittel ersetzt werden und ob zusätzliche Wege zurückgelegt werden. Im Arbeitspaket ‚Nutzungsverhalten' wird deshalb der Fokus auf die Nutzer, deren Mobilitätsverhalten und deren Umgang mit den E-Scooters gelegt. Ziele dieses Arbeitspakets sind:

1) Beschreibung der E-Scooter-Fahrer und des Einsatzes der E-Scooters in der Praxis.

2) Analyse des Einflusses des E-Scooters auf das Mobilitätsverhalten und auf den Fahrzeugpark der E-Scooter-Fahrer.

3) Analyse des Energieverbrauchs der E-Scooters in der Praxis und dessen Zusammenhang zum Ladeverhalten der E-Scooter-Fahrer.

Für die Bearbeitung dieser Ziele wurde eine Befragung bei 55 E-Scooter-Fahrern in der Deutsch- und Westschweiz durchgeführt. Es wurden einerseits ein schriftlich auszufüllender Fragebogen (welcher Ziele 1 und 2 abdeckt) und andererseits ein E-Scooter-Tagebuch mit Verbrauchs- und Ereignisprotokoll (Ziel 3) versandt. Detaillierte Angaben zum methodischen Vorgehen und zu den Erhebungsinstrumenten finden sich in Kapitel 2.5. Wir fassen ausserdem die Ergebnisse einer studentischen Arbeit zusammen, in der eine Subgruppe unseres Samples zu den Gründen für den Umstieg vom Benzin- auf den E-Scooter befragt worden ist.

In Kapitel 7.1 wird die Stichprobe beschrieben, in Kapitel 7.2 werden die genauen Fragestellungen zu den Zielen 1 und 2 mit den dazugehörigen Ergebnissen aus dem Fragebogen dargelegt. In Kapitel 7.3 wird die studentische Arbeit zusammengefasst und in Kapitel 7.4 werden die Ergebnisse aus den E-Scooter Tagebüchern erläutert.

7.1 Beschreibung der Stichprobe

Von 2011 bis 2013 sind der Fragebogen und die E-Scooter-Tagebücher an 75 E-Scooter-Fahrer versandt worden. 55 dieser Fahrer haben die Unterlagen retourniert, was einer Rücklaufquote von 73% entspricht.

Die 55 Probanden fahren E-Scooters von 20 verschiedenen Marken. Ein Überblick ist in Abbildung 86 zu finden. Am stärksten vertreten sind Vespino (10 E-Scooters), Vectrix (8), vR (7) und Govecs (6). Die meisten Marken sind jedoch nur mit ein bis zwei Fahrzeugen vertreten.

Weitere detaillierte Angaben zu den E-Scooter-Fahrern in unserer Stichprobe finden sich in Kapitel 7.2.1.

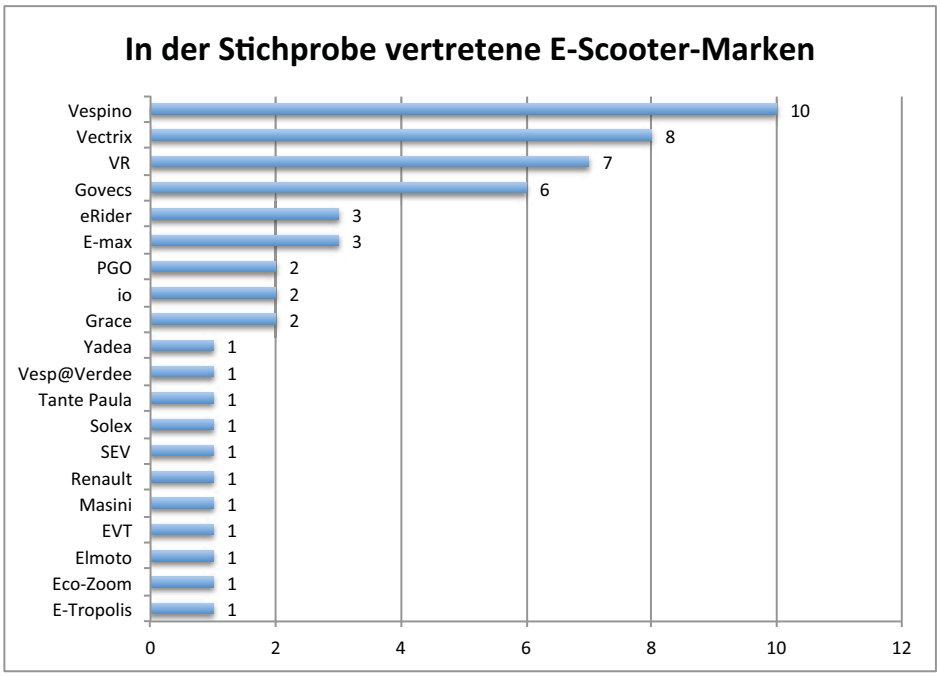


Abbildung 86: in der Stichprobe vertretene E-Scooter-Marken.

7.2 E-Scooter-Fahrer und ihr Mobilitätsverhalten

Insgesamt 55 E-Scooter-Fahrer in der Deutsch- und Westschweiz sind dazu befragt worden, wie sie ihren E-Scooter im Alltag einsetzen, wie dieser ihr Mobilitätsverhalten verändert hat und wie sie mit dem Scooter zufrieden sind. Es sollten folgende Forschungsgegenstände resp. -fragen bearbeitet werden:

- Demographische Beschreibung der E-Scooter-Fahrer
- Beschreibung des Einsatzes der E-Scooters in der Praxis (Weglänge, -dauer, -zwecke)
- Gründe für den Kauf und Zufriedenheit mit dem E-Scooter
- Veränderung des Mobilitätsverhaltens:
  - Verkehrsmittel-Substitution wegbezogen: Welche Verkehrsmittel werden bezogen auf die einzelnen Wege ersetzt?
  - Zusatzverkehr: Werden mit dem E-Scooter Wege zurückgelegt, die ohne E-Scooter nicht zurückgelegt worden wären?
- Veränderung des Fahrzeugparks:
  - Verkehrsmittel-Substitution bezogen auf Fahrzeugpark: Welche Fahrzeuge werden im Fahrzeugpark des Haushaltes ersetzt?
  - Grösse des Fahrzeugparks: wird der E-Scooter als zusätzliches Fahrzeug gekauft?

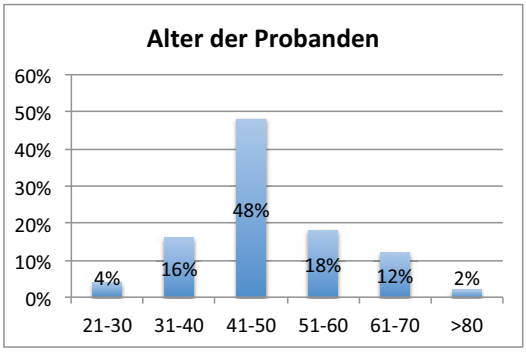
In Kapitel 7.2.1 werden die E-Scooter-Fahrer und die Haushalte beschrieben, Kapitel 7.2.2 geht auf die Gründe für den E-Scooter-Kauf und die Zufriedenheit der Fahrer ein, in Kapitel 7.2.3 wird der Einsatz der E-Scooters dargestellt, in Kapitel 7.2.4 wird die Veränderung des Mobilitätsverhaltens und in Kapitel 7.2.5 die Veränderung des Fahrzeugparks beschrieben.

Die Methodik der Befragung ist in Kapitel 2.5 erläutert.

7.2.1 Beschreibung der E-Scooter-Fahrer und der Haushalte

Mit 87% sind Männer in der Stichprobe deutlich übervertreten. Damit ist der Männeranteil nochmals deutlich höher als beim Grossversuch in Mendrisio (siehe dazu Buwal 2004), wo er bei 62% lag. Das

Alter beträgt im Schnitt 49 Jahre, wobei die Altersgruppe der 41 bis 50-Jährigen mit Abstand am stärksten vertreten ist (48% aller Probanden, s. Abbildung 87).



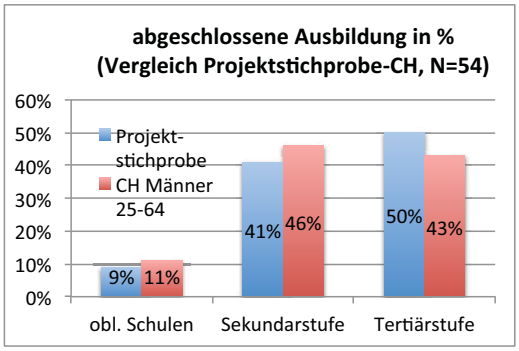


Abbildung 87 (links): Alter der Probanden (N=55)
Abbildung 88 (rechts): Ausbildung der Probanden (N=55) im Vergleich zur ganzen Schweiz.

Der Bildungsstand der Probanden liegt etwas über dem schweizerischen Durchschnitt: 50% der Probanden haben eine Ausbildung auf Tertiärstufe abgeschlossen, in der gesamten Schweiz sind es 43%[1] (siehe Abbildung 88)[2]. Es zeigt sich aber, dass auch Personen mit tieferer Ausbildung bei der Verbreitung der E-Scooters eine wichtige Rolle spielen: 41% der Probanden haben eine Ausbildung auf Sekundarstufe (v.a. Berufslehre) abgeschlossen (CH: 46%), 9% haben nach der obligatorischen Schule keine weitere Ausbildung abgeschlossen (CH: 11%).

Wie das Bildungsniveau ist auch das Einkommen der Probanden im Vergleich zur gesamten Schweiz überdurchschnittlich (erhoben wurde das Haushalts-Bruttomonatseinkommen). Es ist auch hier ein breites Spektrum von Einkommensklassen vertreten, die Haushalte mit hohem Einkommen sind aber übervertreten. 55% der Haushalte verdienen mehr als 10'000 CHF pro Monat, 26% mehr als 14'000 CHF, wobei der schweizerische Durchschnitt des Haushalts-Bruttoeinkommens im Jahr 2011 9’604 CHF betrug (BFS 2013: 10). Noch deutlicher zeigen die Quintilgrenzen, dass das Einkommen in unserer Stichprobe über dem schweizerischen Durchschnitt liegt: während die unterste Quintilgrenze in der Schweiz bei 4’226 CHF liegt, liegt sie in der Stichprobe bei über 6’000 CHF[3]. Auch die oberste Quintilgrenze liegt in der vorliegenden Stichprobe mit >14'000 CHF deutlich über dem gesamtschweizerischen Wert von 10'503 CHF (s. Tabelle 23).

	Quintilgrenzen im Sample (Bereich[3])	Quintilgrenzen ganze Schweiz 2011
Grenze 1./2. Quintil	6-8’000 CHF	4’226 CHF
Grenze 2./3. Quintil	8-10'000 CHF	6’974 CHF
Grenze 3./4. Quintil	10-12'000 CHF	8’576 CHF
Grenze 4./5. Quintil	>14'000	10’503 CHF

Tabelle 23: Quintilgrenzen des Haushalts-Bruttomonatseinkommens im Sample und in der ganzen Schweiz.[4]

Zu beachten ist hier, dass die Probanden vorwiegend in städtischen Regionen wohnen, in denen das Ausbildungsniveau und das Einkommen über dem Schweizerischen Durchschnitt liegen. Es ist also

[1] Für Daten zur Schweiz siehe http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/15/01/key/blank/01.html (abgerufen am 12.12.2013).

[2] Verglichen wurde mit dem Bildungsstand aller Schweizer Männer von 25 bis 64 Jahren, da diese Gruppe am ehesten dem Sample des E-Scooters-Forschungsprojekts entspricht.

[3] Anhand der vorliegenden Daten können für die Quintilgrenzen lediglich Bereiche angegeben werden, da das Einkommen kategorial und nicht kontinuierlich erhoben worden ist.

[4] Die Daten zur ganzen Schweiz beruhen auf den Angaben in BFS 2012a. Dort liegen für die Quintilgrenzen Durchschnittswerte für die Jahre 2006-2009 vor, welche für diesen Bericht anhand der Daten zum durchschnittlichen Haushalts-Bruttoeinkommen auf das Jahr 2011 hochgerechnet wurden (durchschnittliches Haushalts-Bruttoeinkommen über die Jahre 2006-2009: 9117 CHF, 2011: 9604 CHF).

denkbar, dass Einkommen und Ausbildungsniveau in unserem Sample ziemlich genau den regionalen Durchschnitt repräsentieren.

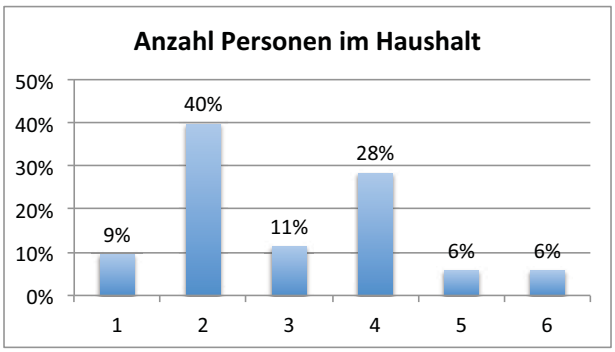


Abbildung 89: Haushaltsgrösse der befragten Haushalte (N=55).

Im Durchschnitt leben in den Haushalten drei Personen (s. Abbildung 89). Den grössten Anteil machen mit 40% die Zweipersonen-Haushalte aus, gefolgt von den Vierpersonen-Haushalten mit 28%.

Die Wohnorte der Probanden liegen zu einem grossen Teil in städtischem Gebiet (s. Abbildung 90). Da es vor allem grosse Städte sind, die den Kauf von E-Scooters subventionieren und somit die Adressen für das Grundsample lieferten, darf diese Erkenntnis nicht überbewertet werden.

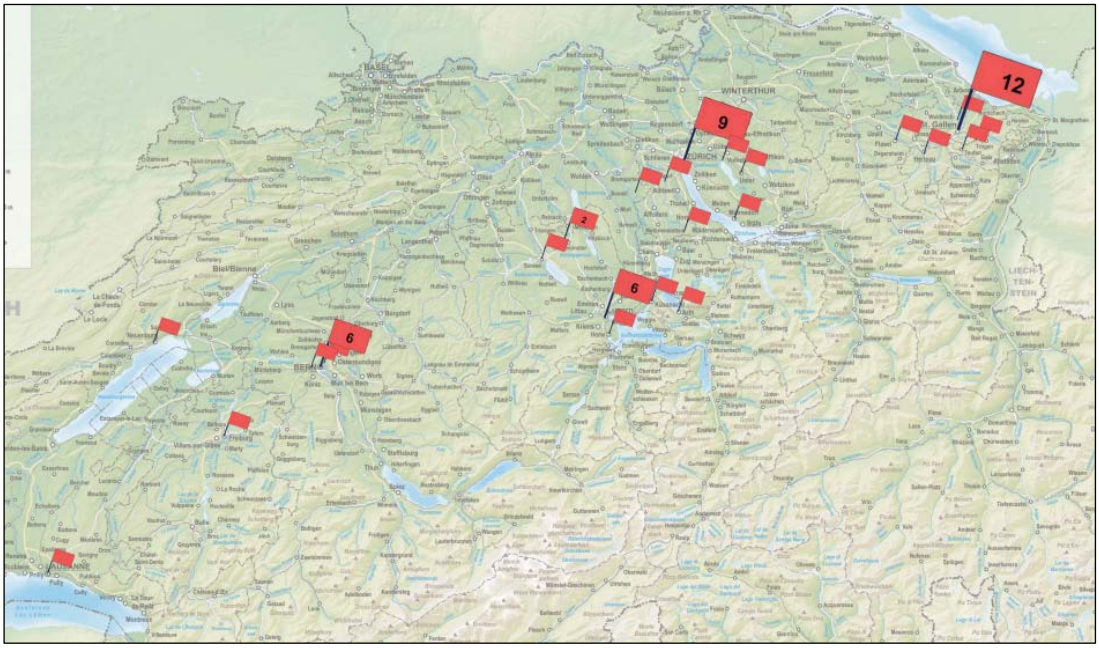


Abbildung 90: Wohnorte der Probanden. (Quelle: eigene Darstellung, Karte Wikipedia[1])

Die E-Scoooter-Haushalte besitzen im Schnitt 1.1 Autos. 20% besitzen kein Auto, 60% eines und 20% mehr als eines. Damit liegt der Autobesitz leicht unter dem schweizerischen Durchschnitt (21% kein Auto, 49% ein Auto, 30% mehr als ein Auto, siehe BFS 2012b). In Bezug auf den Velobesitz und noch mehr bei den E-Bikes liegen die Haushalte deutlich über dem schweizerischen Durchschnitt: 55% der Haushalte verfügen über mehr als drei Velos (CH: 25%) und 20% der FES-Haushalte verfügen über ein E-Bike (CH: 2.3%).

82% der Haushalte besitzen ein oder mehrere Halbtax-Abonnements, 24% ein oder mehrere GA. Direkte Vergleiche mit den BFS-Daten sind hier nicht möglich, da dort lediglich die Anzahl Abos pro

[1] http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Reliefkarte_Schweiz.png; Datei verwendbar in freier Lizenz (CC-BY-SA), Urheber: Tschubby.

Person und nicht pro Haushalt ausgewiesen wird (38.5% der Einzelpersonen in der Schweiz besitzen ein Halbtax, 9.8% ein GA).

47% der befragten Personen geben an, in den letzten fünf Jahren regelmässig mit einem Roller oder Motorrad unterwegs gewesen zu sein.

22% der befragten Personen sind Mitglied einer Car-Sharing-Organisation. Dies dürfte deutlich über dem schweizerischen Durchschnittswert liegen (es liegen zwar keine direkten Vergleichszahlen vor, die mit Abstand grösste Car-Sharing-Organisation der Schweiz, Mobility, zählt jedoch lediglich ca. 100'000 Kunden, was ca. 2% der Schweizer Bevölkerung entspricht[1]).

7.2.2 Gründe für den E-Scooter-Kauf und Zufriedenheit mit dem E-Scooter

Die Probanden wurden nach den zwei wichtigsten Gründen für den E-Scooter-Kauf befragt. Bei 78% gehört die ‚Umwelt' zu diesen zwei Gründen (s. Abbildung 91). Darauf folgen mit grossem Abstand ‚grössere Mobilität', ‚Geräuschlosigkeit' und ‚Fahrspass', die von jeweils ca. 30% der Befragten genannt wurden. ‚Aktion/finanzielle Unterstützung' und ‚Image wurden noch von ca. 10-20% der Personen genannt, wogegen ‚Schnelligkeit' für kaum jemanden ein entscheidender Kaufgrund war (2%).

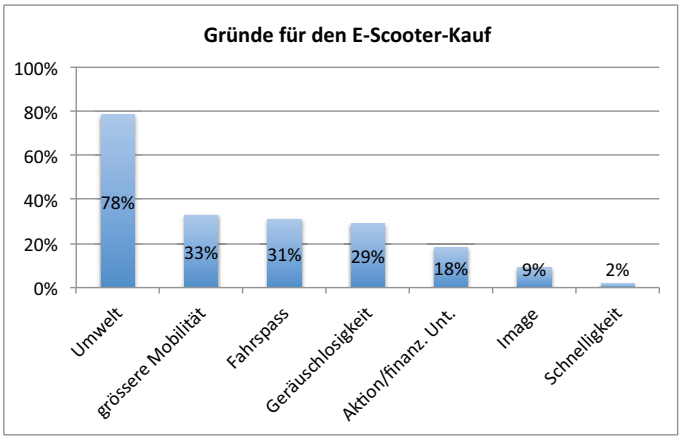


Abbildung 91: Gründe für den E-Scooter-Kauf (N=55).

93% der befragten Personen geben an, dass sie mit dem E-Scooter ‚zufrieden' (40%) oder ‚sehr zufrieden' (53%). Nur jeweils 4% sind ‚nicht zufrieden' oder ‚gar nicht zufrieden' (s. Abbildung 92).

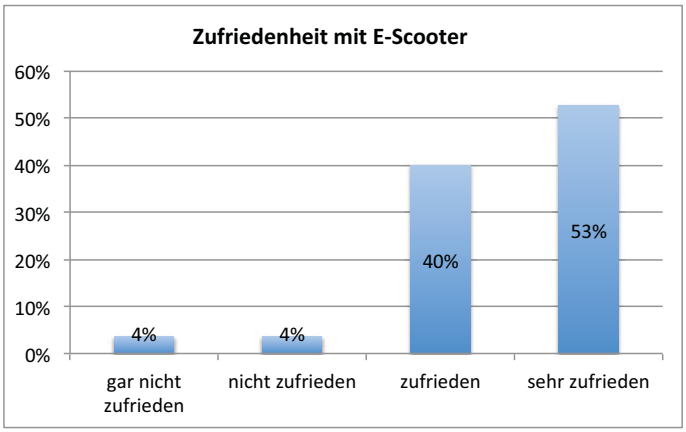


Abbildung 92: Zufriedenheit mit E-Scooter (N=55).

[1] siehe http://www.mobility.ch/de/pub/servicenavigation/ueber-mobility/ueber-uns.htm (abgerufen am 18.8.2013).

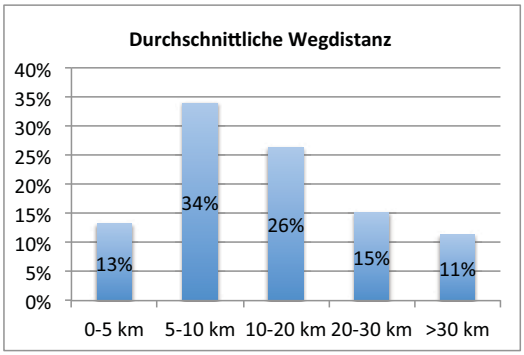
7.2.3 Einsatz der E-Scooters

7.2.3.1 Länge, Dauer, Geschwindigkeit der Fahrten

Die E-Scooter-Fahrer sind mit dem E-Scooter im Schnitt pro Weg 15 Kilometer und 25 Minuten unterwegs. Sowohl bei Distanz als auch bei Dauer der Wege liegt eine breite Streuung vor: 13% der Fahrer legen pro Weg im Durchschnitt weniger als 5 Kilometer zurück, 11% mehr als 30 Kilometer. 34% der Fahrer fahren im Durchschnitt pro Weg 5-10 Kilometer weit (Abbildung 93). 17% sind weniger als 10 Minuten unterwegs, 4% mehr als 60 Minuten. 33% sind zwischen 15 und 30 Minuten pro Weg unterwegs (s.

Abbildung 94).

Die durchschnittliche Geschwindigkeit pro Weg zeigt ein ähnliches Bild: 8% sind langsam mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 10-20 km/h unterwegs, 16% schnell mit über 50 km/h. Dazwischen gibt es eine grosse Gruppe (45%), die mit 30-50 km/h unterwegs ist (s. Abbildung 95).



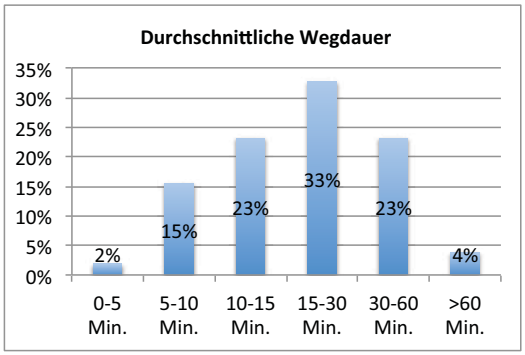


Abbildung 93 (links): Durchschnittliche Wegdistanz (N=53).
Abbildung 94 (rechts): Durchschnittliche Wegdauer (N=52).

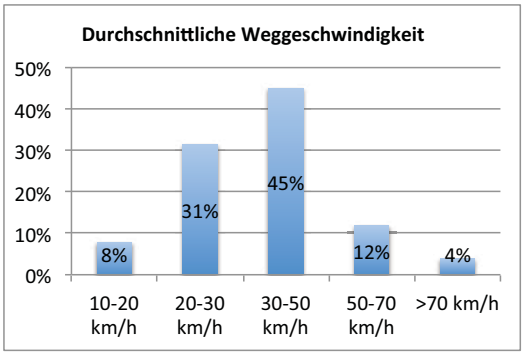


Abbildung 95: Durchschnittliche Weggeschwindigkeit (N=51).

7.2.3.2 Häufigkeit und jahreszeitliche Verteilung

Abbildung 96 zeigt, in welcher Zeitspanne die sechs Fahrten, die die E-Scooter-Fahrer in ihr Tagebuch eintragen mussten, ausgeführt worden sind (Hin- und Rückfahrt zählen einzeln). Rund ein Drittel der Fahrer hat die Tagebuchfahrten innerhalb einer Woche absolviert, knapp die Hälfte brauchte dafür zwei bis vier Wochen und fast jeder fünfte mehr als einen Monat. Gemäss diesen Angaben steht also nur eine Minderheit der E-Scooters im täglichen Einsatz (mehrmaliger Gebrauch pro Woche).

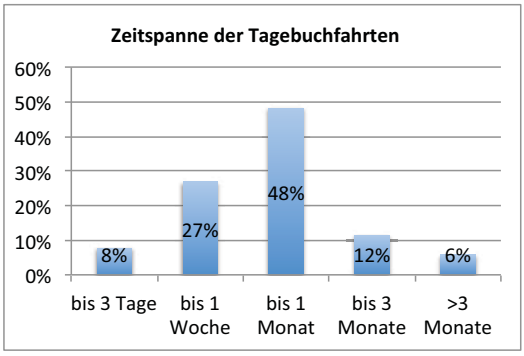


Abbildung 96: Zeitspanne der Tagebuchfahrten.

Nebst den sechs Tagebuchfahrten wurde erhoben, wie die E-Scooter-Fahrer ihre Kilometer-Leistung im Sommer- und im Winterhalbjahr einschätzen. Gemäss diesen Einschätzungen werden die E-Scooters im Sommer fast doppelt soviel gefahren wie im Winter[1].

7.2.3.3 Einsatzzweck

Die 55 Befragten haben insgesamt Angaben zu 328 Scooter-Fahrten gemacht. 54% dieser Fahrten waren Arbeitswege, 23% Freizeitwege, 13% Wege für Service und Begleitung und 9% dienten geschäftlichen Zwecken (s. Abbildung 97).

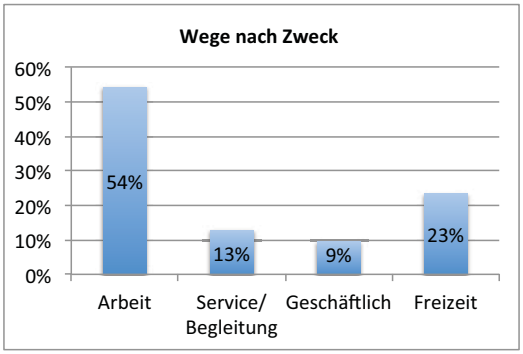


Abbildung 97: Wege nach Zweck (N=328 Wege).

7.2.3.4 Nutzung des E-Scooters durch weitere Personen

Für das Sommerhalbjahr geben 27% der befragten Personen an, dass ihr E-Scooter auch von anderen Personen genutzt wird. Bei zwei Dritteln dieser Befragten (= 10 Befragte) wird er nur in geringem Ausmass von anderen Personen genutzt (Fremdnutzung weniger als 25% der Eigennutzung). Im restlichen Drittel gibt es zwei Fälle, in denen die Fremdnutzung etwa 50% der Eigennutzung entspricht, einen Fall mit 100% und zwei Fälle mit 300%.

Für das Winterhalbjahr geben lediglich 10% der Befragten (= 4 Befragte) an, dass ihr E-Scooter auch von anderen Personen genutzt wird, darunter zwei Fälle mit sehr geringer Fremdnutzung (weniger als 10% der Eigennutzung) und zwei Fälle mit sehr hoher Fremdnutzung (300% der Eigennutzung).

Insgesamt kann also festgehalten werden, dass die E-Scooters nur in geringem Mass durch weitere Personen genutzt werden.

[1] Aussagen zu der absoluten Fahrleistung sind anhand dieser Daten nicht möglich, da die Probanden die Frage teilweise falsch verstanden haben und die Daten deshalb nur eingeschränkt für Berechnungen genutzt werden können.

7.2.4 Veränderung des Mobilitätsverhaltens

7.2.4.1 Verkehrsmittel-Substitution

In diesem Kapitel wird die Frage beantwortet, welche Verkehrsmittel durch den E-Scooter, bezogen auf die einzelnen Wege, ersetzt worden sind.

Hätte den Befragten kein E-Scooter zur Verfügung gestanden, hätten sie fast die Hälfte der berichteten Fahrten mit dem Auto (32%) oder dem Benzin-Motorrad/-Roller (14%) zurückgelegt. 35% der E-Scooter-Fahrten haben ÖV-Fahrten ersetzt und 9% Fahrrad-Fahrten. 5% der Fahrten wären ohne E-Scooter nicht unternommen worden (s. Abbildung 98).

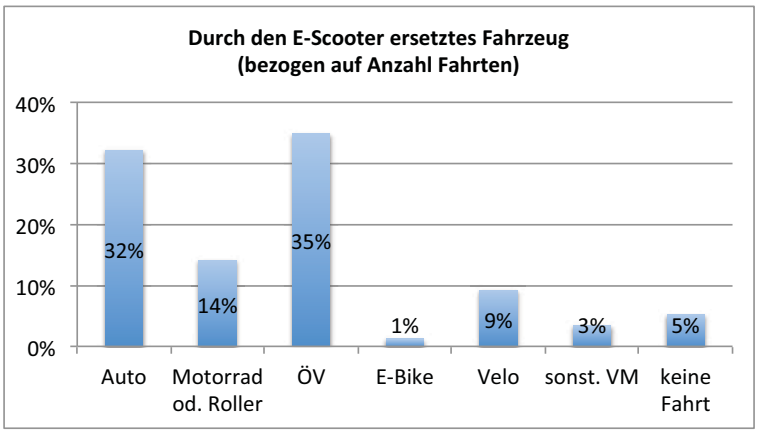


Abbildung 98: Durch den E-Scooter ersetztes Fahrzeug (Fahrten in Prozent, N=327 Fahrten).

Betrachtet man statt der Anzahl der Fahrten die zurückgelegte Strecke in Kilometern, ergibt sich folgendes Bild: 61% der zurückgelegten Kilometer wären ohne E-Scooter mit dem Auto (42%) oder dem Benzin-Motorrad/-Roller (19%), 32% mit dem ÖV und 4% mit dem Velo zurückgelegt worden (s. Abbildung 99)[1].

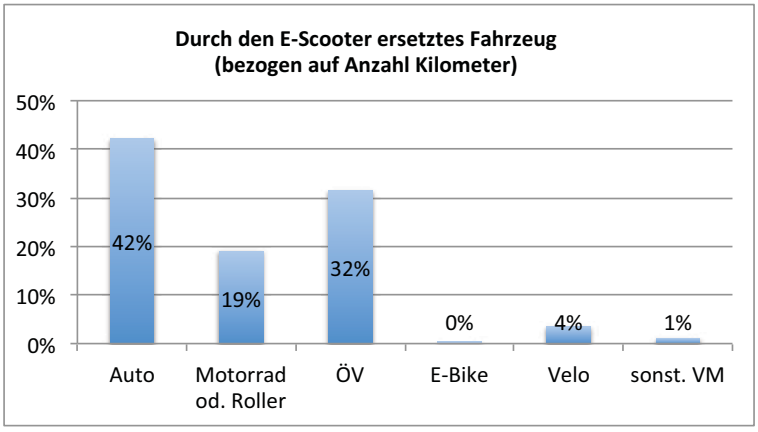


Abbildung 99: Durch E-Scooter ersetzte Fahrzeug-Kilometer (Anzahl Kilometer in %, N=3675 km).

[1] Zu beachten ist hier, dass sich diese Berechnungen nur auf jene 91% der Fahrten beziehen, deren Länge sich durch den E-Scooter nicht verändert hat (siehe Kap. 7.2.4.2), denn nur hier liegen auch für die hypothetischen Fahrten (also jene Fahrten, die stattgefunden hätten, wenn kein E-Scooter zur Verfügung gestanden hätte) exakte Kilometerangaben vor. Da nur 9% der Fahrten unberücksichtigt bleiben, ergeben sich gute Näherungswerte.

7.2.4.2 Fahrleistung

In diesem Kapitel geht es um die Frage, wie die Anschaffung des E-Scooters die Fahrleistung der befragten Personen beeinflusst hat. Dazu muss geklärt werden, ob die Anschaffung des E-Scooters zu veränderten (kürzeren/längeren) oder zusätzlichen Wegstrecken geführt hat[1].

Es zeigt sich, dass 91% der mit dem E-Scooter getätigten Fahrten in genau der Form auch ohne E-Scooter getätigt worden wären. In 3% der Fälle wäre ohne E-Scooter eine kürzere Fahrt unternommen worden, in 1% ein längere und in 5% keine Fahrt (s. Abbildung 100). Dabei geht wohl ein grosser Teil der letzteren 5% auf Testfahrten zurück, die nur in der Phase nach Kauf des E-Scooters durchgeführt wurden. Der Kauf des E-Scooters hat also bei den Befragten, wenn überhaupt, nur in sehr geringem Mass zu einer Zunahme der Fahrleistung geführt.

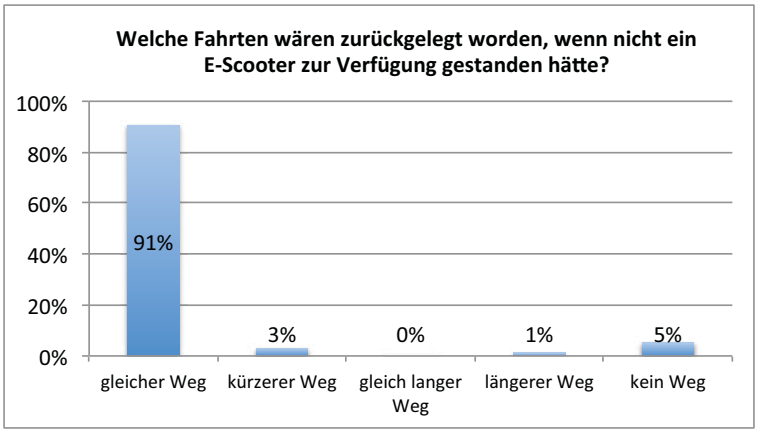


Abbildung 100: Welche Fahrten wären zurückgelegt worden, wenn nicht ein E-Scooter zur Verfügung gestanden hätte? (N=327 Fahrten).

7.2.5 Veränderung des Fahrzeugparks

7.2.5.1 Verkehrsmittel-Substitution bezogen auf Fahrzeugpark

In diesem Kapitel wird die Frage beantwortet, welche Verkehrsmittel durch den E-Scooter bezogen auf den Fahrzeugpark eines Haushalts ersetzt worden sind.

49% der befragten Personen geben an, dass sie den E-Scooter als Ersatz für ein anderes Verkehrsmittel gekauft haben. In 22% dieser Fälle ist ein Auto ersetzt worden und in 70% ein Benzin-Roller oder -Motorrad (11% resp. 35% bezogen auf alle Probanden).

42% der befragten Personen geben an, dass sie sich ein anderes Fahrzeug gekauft hätten, wenn sie sich keinen E-Scooter gekauft hätten. In all diesen Fällen hätten diese Personen einen Benzin-Roller oder ein Benzin-Motorrad gekauft.

7% der befragten Personen geben an, dass der E-Scooter ein ÖV-Abonnement ersetzt hat (1x Halbtax, 3x Verbund-Abo; 2x ganzes Jahr, 2x nur während Sommerhalbjahr).

7.2.5.2 Grösse des Fahrzeugparks

Insgesamt ist der E-Scooter bei 73% der befragten Personen entweder Ersatz für ein bereits vorhandenes Fahrzeug, oder diese Personen hätten sich ein anderes Fahrzeug gekauft, wenn sie nicht den E-Scooter angeschafft hätten (diese Zahl ergibt sich, weil sich die in Kapitel 7.2.5.1 beschriebenen

[1] Interessant wäre auch die Frage ob der Kauf des E-Scooters dazu geführt hat, dass bestimmte Fahrten nicht mehr ausgeführt werden (bspw. Freizeitfahrten, die wegen der gegenüber Benzin-Rollern geringeren Reichweite nicht mehr möglich sind). Mit dem in dieser Studie verwendeten Fahrtenprotokoll, das auf der Erhebung von tatsächlich durchgeführten Fahrten basiert, ist die Beantwortung dieser Frage leider nicht möglich.

Gruppen teilweise überschneiden). Bei 73 % der befragten Personen hat der E-Scooter also zu keiner Vergrösserung des Fahrzeugparks geführt, bei 27% ist das Gegenteil der Fall[1].

Zusammenfassung Kapitel 7.2

Im Verlauf des vorliegenden Forschungsprojektes konnten 55 E-Scooter-Fahrer zu ihrem Mobilitätsverhalten befragt werden. Der Männeranteil liegt bei 87%, das Durchschnittsalter bei 49 Jahren. Die Probanden weisen bei Bildung und Einkommen leicht überdurchschnittliche Werte auf.

93% der Fahrer sind mit dem E-Scooter ‚zufrieden' oder gar ‚sehr zufrieden'.

Eine durchschnittliche E-Scooter-Fahrt ist 15 km und 25 Minuten lang, wobei eine breite Streuung vorliegt. 54% der Fahrten sind Arbeitswege, 23% Freizeitwege, 13% Wege für Service und Begleitung und 9% dienten geschäftlichen Zwecken.

Der Kauf des E-Scooters hat nur in sehr geringem Mass zu einer Zunahme der Fahrleistung geführt: Nur 5% der Fahrten wären ohne E-Scooter nicht ausgeführt worden, wobei es sich dabei wohl zu einem Grossteil um Testfahrten handelt.

Die E-Scooter-Fahrten haben fast zur Hälfte Fahrten mit dem Auto (32%) oder dem Benzin-Motorrad/-Roller (14%) ersetzt. 35% der E-Scooter-Fahrten haben ÖV-Fahrten ersetzt und 9% Fahrrad-Fahrten.

Bei 11% der Probanden ist durch den E-Scooter-Kauf ein Auto ersetzt worden, bei 35% ein Benzinroller oder -Motorrad.

Insgesamt geben 73% der befragten Probanden an, dass sie den E-Scooter als Ersatz oder an Stelle eines anderen Verkehrsmittels gekauft haben. Nur bei 27% der Probanden hat der E-Scooter-Kauf zu einer Vergrösserung des Fahrzeugparks geführt.

7.3 Gründe für den Umstieg vom Benzin-Roller/-Motorrad auf den E-Scooter

Im Sommer 2012 wurde im Rahmen einer studentischen Arbeit die Frage bearbeitet, wie Fahrer von Motorrädern/Rollern mit konventionellem Antrieb zum Umstieg auf den E-Scooter bewegt werden können (Kälin et al. 2012). Zu diesem Zweck wurde mit 13 Probanden aus dem vorliegenden Sample, welche ganz oder teilweise vom benzinbetriebenen Motorrad/Roller auf den E-Scooter umgestiegen sind, ein Leitfaden-Interview geführt (siehe auch Kap. 2.5.3).

Mittels qualitativer Inhaltsanalyse arbeitete die Studentengruppe acht Faktoren heraus, die für den Umstiegs-Entscheid bedeutsam gewesen sind (je nach Proband in unterschiedlicher Kombination):

- Probefahrt: Die Probefahrt ermöglichte das Erleben eines neuen Fahrgefühls, welches für viele Probanden entscheidend zum Umstiegsentscheid beigetragen hat. (Kälin et al. 2012: 53)
- Umwelt: Bei mehreren der befragten E-Scooter-Fahrern spielten Umwelt-Aspekte beim Kaufentscheid eine Rolle. Der E-Scooter wird von der Mehrheit der Fahrer als ein ökologisch sinnvolles Verkehrsmittel betrachtet. Fünf Fahrer stellen allerdings in Frage, ob der E-Scooter die bessere Ökobilanz aufweist als ein Benzin-Roller/-Motorrad. Die diesbezüglich eindeutigen Ergebnisse aus dem vorliegenden Forschungsbericht (s. Kap. 6) müssen noch bekannt gemacht werden.
- Geräuschlosigkeit: Die Geräuschlosigkeit trägt mit zum neuen Fahrgefühl bei, das von den interviewten Fahrern mit Verben wie ‚schweben', ‚fliegen' oder ‚gleiten' beschrieben und als durchwegs positiv bewertet wird. Keiner der Fahrer vermisst das Motorengeräusch.

[1] Offen bleibt hier allerdings, ob der E-Scooter-Kauf dazu führt, dass zu einem späteren Zeitpunkt ein vorhandenes Fahrzeug verkauft und nicht ersetzt wird.

- Gesamtkosten: der Anschaffungspreis für die E-Scooters wird von den meisten Fahrern zwar als sehr hoch bewertet (oder gar als ‚an der Schmerzgrenze'), in Bezug auf die Gesamtkosten hegen jedoch die meisten Fahrer die Hoffnung, dass der E-Scooter nicht schlechter abschneidet als ein Benzin-Roller/-Motorrad.
- Entdeckergeist: Mehrere Fahrer offenbaren eine gewisse Freude und Stolz daran, zu den Pionieren auf dem Gebiet der Elektromobilität zu gehören. Dies ist typisch für die sogenannten Erstkäufer und zeigt, dass sich die Entwicklung des E-Scooter-Markts noch in einem frühen Stadium befindet.
- Subventionen, Aktionen: Sechs Fahrer geben an, dass ein durch Aktionen oder Subventionen reduzierter Anschaffungspreis massgebend zum Kaufentscheid beigetragen hat.
- Als weitere wichtige Faktoren nennen die Autoren das Bedürfnis, weg vom Benzin-Motor zu kommen, und das grundsätzliche Interesse an Technik.

Insgesamt entsteht folgendes Bild: Es sind bei den dreizehn befragten E-Scooter-Fahrern ethische Überlegungen (Umweltfreundlichkeit, Verzicht auf Benzin), Pioniergeist, das Interesse an der Technik, das neue Fahrgefühl (welches v.a. durch Probefahrten vermittelt werden kann) und die Relativierung der hohen Anschaffungskosten (durch Subventionierung und die Hoffnung auf tiefe Betriebskosten), welche in unterschiedlichen Ausprägungen und Kombinationen dazu beigetragen haben, dass sie sich für den Kauf eines E-Scooters entschlossen haben, trotz den damit noch verbundenen Nachteilen (hohe Anschaffungskosten; geringe Reichweite, Unsicherheiten bzgl. Lebensdauer, Zuverlässigkeit, Betriebskosten; Ladeproblematik etc.). Obwohl die Fragestellung der hier zusammengefassten Arbeit darauf abzielte, den Umsteigeprozess von ehemaligen Benzin-Roller-Fahrern zu untersuchen, ist davon auszugehen, dass die gefundenen Ergebnisse auch für andere Zielgruppen gültig sind.

Im zweiten Teil der Arbeit, in dem es darum ging, eine Werbekampagne für E-Scooters zu entwerfen, kommen die Autoren denn auch zum Schluss, dass sich eine solche Kampagne nicht ausschliesslich an Fahrer von Benzin-Rollern richten sollte, sondern an ein grösseres Publikum. In Zusammenarbeit mit einem Experten für Mobilitätsmarketing erarbeitete die Autorengruppe folgende inhaltlichen Schwerpunkte für eine zukünftige E-Scooter-Werbekampagne:

- Der E-Scooter ist ein optimales Stadtverkehrsmittel.
- Die Fahrt auf dem E-Scooter garantiert ein spezielles Fahrerlebnis.
- Die Möglichkeit einer Testfahrt soll kommuniziert werden.
- Die Geräuschlosigkeit des Gefährts ist ein Vorteil und selten eine Gefahr.
- Der E-Scooter hat tiefe Unterhaltskosten.

Gemäss dem Marketingexperten sei der Schwerpunkt der Kampagne vor allem zu Beginn auf die emotionale Komponente (spezielles Fahrerlebnis) zu legen. Nebst diesen inhaltlichen Grundlagen stehen auch die Transkripte der Interviews als Basis für eine mögliche zukünftige Werbekampagne zur Verfügung.

7.4 Fahrleistungen gemäss E-Scooter-Tagebüchern

Die vom Projekt erfasste E-Scooter-Flotte wuchs langsam und erbrachte daher (noch) keine statistisch belastbaren Zahlen bezüglich Zuverlässigkeit und Lebensdauer (vgl. Kap. 4.1.1). Für die Verbrauchsdaten sind jedoch genügend Datensätze[1] (ca. 2'700) eingegangen, um verlässliche statistische Auswertungen zu machen.

[1] Ein Datensatz entspricht einer Zeile im E-Scooter Tagebuch. Dies kann eine Fahrt, eine Ladung oder auch beides sein.

Bis 2013 nahmen ca. 60 Fahrzeuge[1] an der Fahrleistungs- und Zuverlässigkeitserhebung teil. Daraus sind 47 auswertbare (d.h. qualitativ genügend bis gut ausgefüllte) Tagebücher von 16 verschiedenen Fahrzeugmarken und 27 Fahrzeugmodellen eingegangen. Die erhaltenen Daten beschreiben:

- ca. 65'000km Fahrstrecke
- ca. 2'500 Fahrten
- ca. 1'800 Akku-Ladungen
- ca. 4'300kWh Netzenergiebezug (entspricht ca. 400 Liter Benzinäq.)
- 7.25kWh/100km Durchschnittsverbrauch 'Strom'
- 0.8l/100km Durchschnittsverbrauch 'Benzin'

Die 47 E-Scooter wurden zwecks besserer Vergleichbarkeit in drei Gruppen eingeteilt, welche sich an den Fahrzeugklassen und den Führerausweiskategorien orientieren, deren Hauptmerkmal aber die Höchstgeschwindigkeit ist (und somit die Tauglichkeit der Fahrzeuge für Fahrten innerorts, ausserorts oder auf Autobahn):

- Gruppe 1 ‚45km/h': 13 Fahrzeuge
- Gruppe 2 ‚80km/h': 17 Fahrzeuge
- Gruppe 3 ‚100km/h': 17 Fahrzeuge

Die schwereren und schnelleren E-Scooters sind also in der Überzahl. Es schien, dass der Anteil der Gruppe 3 im Verlauf der Erhebungen zugenommen hat, aber die Zahlen der letzten Periode widersprechen gemäss Abbildung 101 diesem Trend.

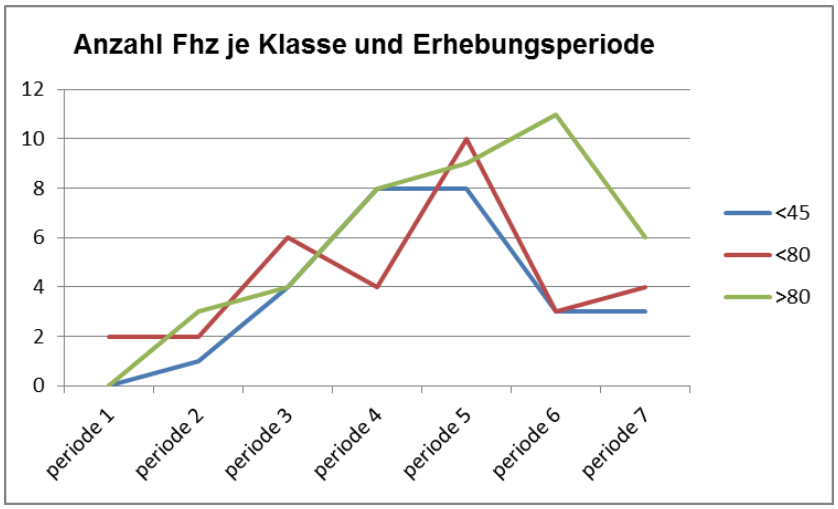


Abbildung 101: Die Entwicklung der Anzahl teilnehmender Fahrzeuge nach Gruppen über die 7 Erhebungsperioden.

Die erfreuliche Qualität der Tagebuchdaten lassen vielfältige statistische Untersuchungen zu, wovon hier einige Resultate gezeigt werden (weitere finden sich im Anhang zu Kap 7.4).

Abbildung 102 zeigt die Verteilung aller erfassten Fahrstrecken. Dazu werden jeweils alle Fahrstrecken, die im selben 5km-Fenster liegen (engl. 'bin') gezählt und die Anzahl wird als Balken im Diagramm eingezeichnet.

[1] Alle Datensätze beziehen sich auf ein bestimmtes Fahrzeug. Die Befragten sind die Halter und/oder Nutzer eines oder mehrerer Fahrzeuge. Mehrere Fahrzeuge können von der gleichen Marke und Modell sein.

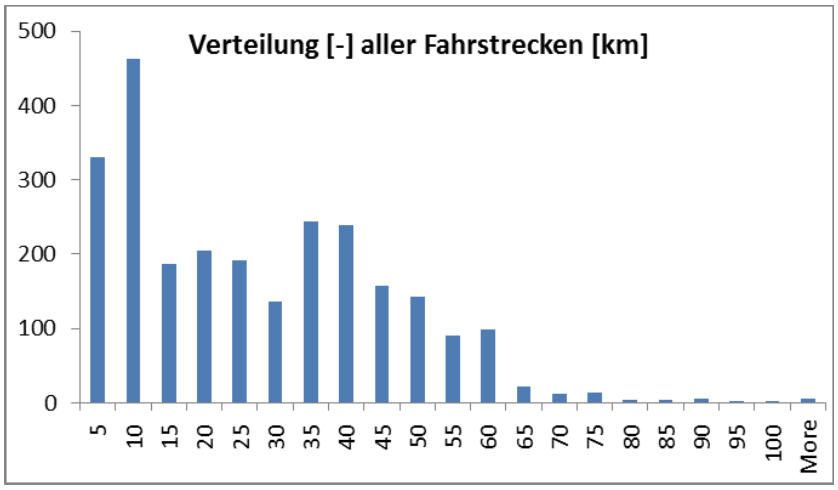


Abbildung 102. Histogramm aller Fahrstrecken.

Die Vermutung ist, dass die schwächsten E-Scooter der Gruppe 1 (45km/h), z.B. E-Bike 45 wie ‚Grace', eher nur für Kürzeststrecken eingesetzt werden, was zu dieser Verteilung führen könnte. Das Histogramm aller Fahrten der Gruppe 1 E-Scooter in Abbildung 103 bestätigt diese Vermutung.

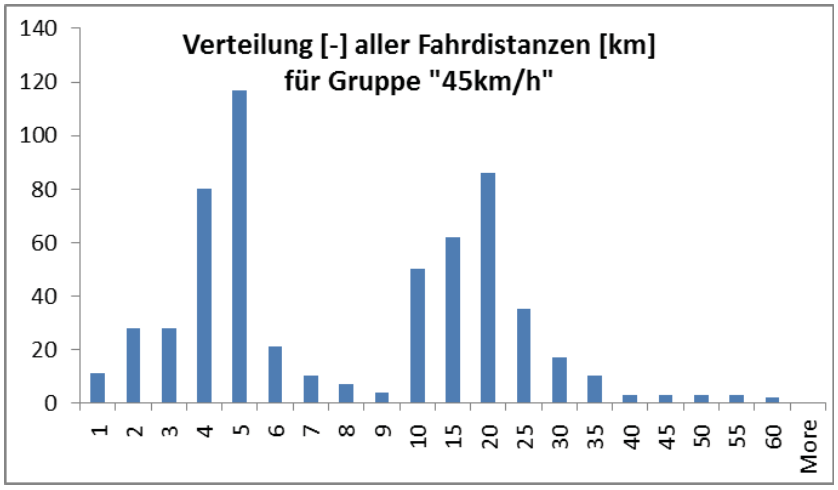


Abbildung 103. Histogramm aller Fahrstrecken der E-Scooters der Gruppe 1. Die Zählungen sind aufgeteilt in unterschiedliche 'bins': bis 10km sind es 1km-Schritte , darüber bis 60km sind es 5km-Schritte.

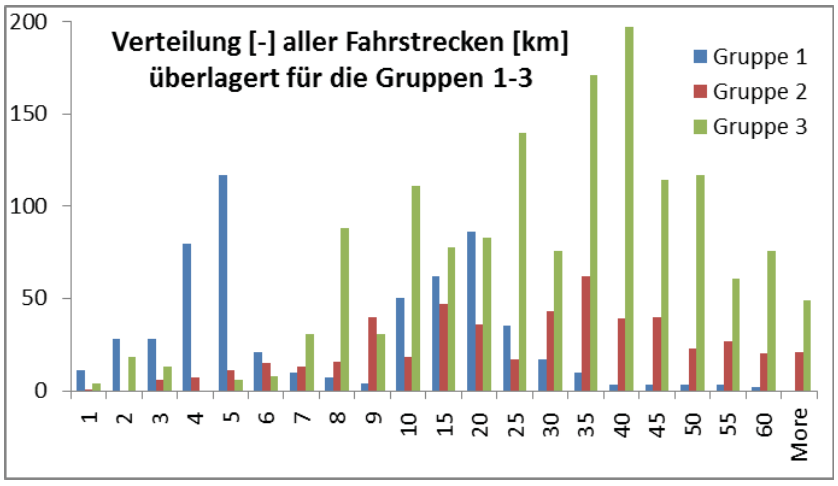


Abbildung 104: Überlagerte Histogramme aller Fahrstrecken der E-Scooters der Gruppen 1 bis 3.

Abbildung 103 zeigt zwei sehr ausgeprägte Spitzen bei Fahrstrecken von 5km und 20km. Interessant ist nun der Vergleich mit den anderen beiden, schnelleren und schwereren Gruppen. Abbildung 104 zeigt nochmals die Verteilung der E-Scooters der Gruppe 1 (blaue Balken); die E-Scooters der Gruppe 2 (rote Balken) zeigen eine gleichmässigere Verteilung, aber ebenfalls mit einem doppelten Maximum bei 15 und 35km; die E-Scooters der Gruppe 3 (grüne Balken) zeigen eine deutliche Spitze bei 40km und lassen erkennen, dass sie die Fahrstreckenzahl dominieren (Gr1 580, Gr2 502 und Gr3 1'472, total 2'554 Fahrstrecken). Die Einteilung der Fahrzeuge in drei (‚Geschwindigkeits'-)Gruppen scheint sich nur bedingt in ihren Fahrstrecken widerzuspiegeln. In der Verteilung der Fahrstrecken gibt es drei Häufungen: bei 4-5, 15-12 und 35-40 km. Die erste wird fast ausschliesslich mit Fahrzeugen der Gruppe 1, die zweite mit Gruppe 1 und 2 und die letzte mit Gruppe 2 und 3 gefahren.

Eine jahreszeitliche Unterscheidung (Sommer/Winter) zeigte eine kleinere zurückgelegte Gesamtstrecke im Winter als im Sommer, dies obwohl für die Erhebung die kalte Periode 7 Monate dauerte, die warme Periode jedoch nur 5 Monate (s. Abbildung 105).

- 40 Sommer-Erhebungen (Mai-Sept mit ca. 38'000km, aufgeteilt Gruppe 1 4'000km, Gruppe 2 8'500km und Gruppe 3 25'500km)
- 39 Winter-Erhebungen (Okt-Apr mit ca. 28'000km, aufgeteilt Gruppe 1 4'000km, Gruppe 2 4'000km und Gruppe 3 20'000km)

Die nächsten Grafiken zeigen die Verteilung der Energiebezüge aller Fahrzeuge. Das Absicht ist ähnlich wie beim Erfassen der Fahrstrecken: einerseits einen Überblick über das Ladeverhalten der Nutzer zu gewinnen und andererseits abzuschätzen, ob sich die Gruppeneinteilung auch beim Ladeverhalten wiederholt.

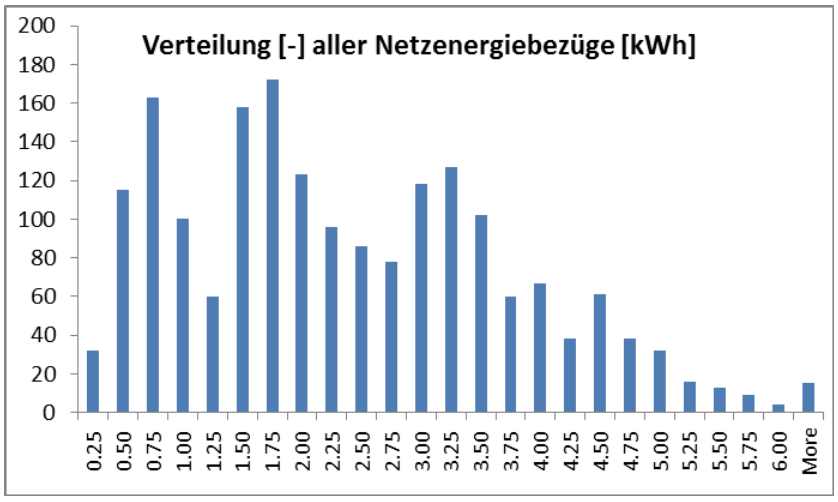


Abbildung 105: Histogramm der Netzenergiebezüge aller Ladungen.

Abbildung 105 zeigt die Verteilung der Netzenergiebezüge aller Ladungen. Dazu werden jeweils alle Netzenergiebezüge, die im selben 0.25kWh-Fenster liegen, gezählt und die Anzahl wird als Balken im Diagramm eingezeichnet. Die Verteilung hat drei deutliche Häufungen bei 0.75, 1.75 und 3.25kWh. Die Vermutung ist hier, dass sich, falls oft vollgeladen wird, im Wesentlichen die Verteilung der Batteriekapazitäten widerspiegelt. Dem ist jedoch nicht so: die Ladestrategien der Nutzer sind sehr unterschiedlich und die meisten fahren die Batterie niemals leer, um sie nachher wieder vollzuladen. Deshalb zeigt die Abbildung 106 den Netzenergiebezug relativ zur jeweiligen Batteriekapazität, d.h. die Abszissenwerte zeigen, wie viele Prozente der nominalen Batteriekapazität nachgeladen wurden.

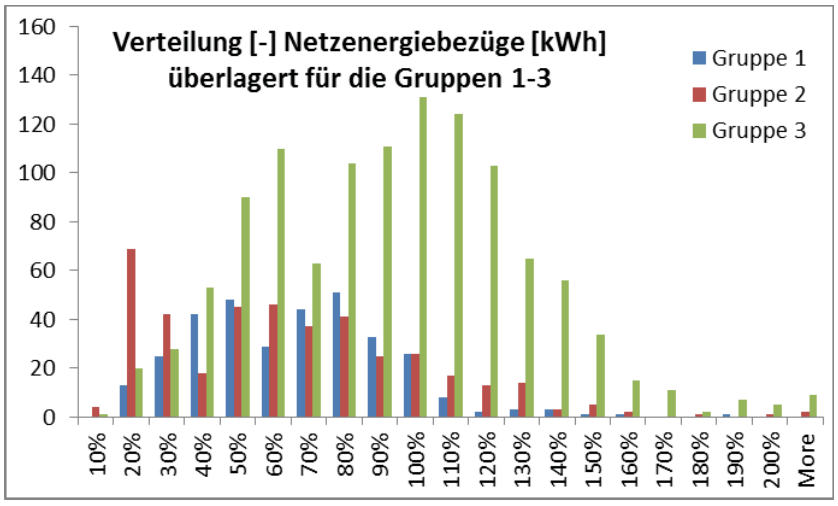


Abbildung 106: Histogramm der Netzenergiebezüge aller Ladungen der E-Scooters der Gruppen 1 bis 3.

Was sofort auffällt, ist die erstaunlich grosse Anzahl Ladungen die höher als 100% waren, ja einige sogar über 200%, d.h. die Batterien wurden 1-2mal überladen! Wie ist das möglich? Hier wird offensichtlich, was in Kap. 6.1 erläutert wurde: der Netzenergiebedarf kann deutlich höher sein, als der Fahrenergiebedarf bzw. die Batteriekapazität, falls die Lade- und Stillstandsverluste hoch sind. Diese werden hier bei all den Nutzern deutlich sichtbar, welche eine Vollzyklen-Ladestrategie (d.h. Batterie meist leeren und dann vollladen) vorziehen. Es zeigt sich, dass es solche in allen drei Gruppen gibt, aber ausgesprochen deutlich in Gruppe 3 – oder ist hier ein weiterer spezieller Effekt ausschlaggebend?

Die Gruppen 1 und 2 laden sehr ähnlich: eine flache Verteilung mit einer Häufung bei 50-80%. Für die Gruppe 1 gibt es eine zweite Häufung bei ca. 20% – etliche Nutzer der schwächsten E-Scooter laden häufig nur sehr wenig nach; ihre Batterie ist daher meist praktisch vollgeladen (SOC >80%). Die Gruppe 3 zeigt zwei Häufungen bei 60% und bei 100%, wobei viele Ladungen z.T. weit über 100% liegen. Eine nähere Untersuchung zeigt (z.B. Abbildung 108), dass die Gruppe 3 von ‚Vectrix VX-1' und ‚VR One E' dominiert ist. Da es sich um ähnliche Fahrzeuge mit jedoch unterschiedlichen Batterien (VX1 nutzt NiMH und VROne nutzt Li_Ion) handelt, könnte die Batterie ein Grund für die höheren Verluste sein. Um dies zu untersuchen, werden in Abbildung 107 die Dichteverteilungen[1] der Netzenergiebezüge aller Ladungen, von je 6 Modellen ‚Vectrix VX-1' und ‚VR One E' sowie als Vergleich ‚Vespino E3' (ein Gruppe 2 Fahrzeug mit LiFePO4 Batterie) dargestellt.

Im interessierenden Ladebereich >100% zeigen die Dichteverteilungen deutliche Unterschiede: ‚VR One E' fällt vom absoluten Maximum bei 110% rasch ab. ‚Vectrix VX-1' hat nach dem absoluten Maximum bei 100% ein weiteres Maximum bei 120% und klingt dann allmählich ab. ‚Vespino E3' hat nach dem absoluten Maximum bei 100% ein weiteres Maximum bei 130% und bricht dann sofort ab.

Als Mass für einen quantitativen Vergleich verwenden wir hier die erkennbaren relativen Verluste, d.h. die gesamte Energiemenge des Überladens bezogen auf die gesamte Ladeenergie. Dazu wird für alle Ladungen, welche höher als die Batteriekapazität sind, die Summe der Überladeanteile bestimmt und durch die Gesamt-Batteriekapazität dividiert. Dieser Anteil ist:

- 20% für ‚Vectrix VX-1' (verwendet NiMH)
- 10% für ‚VR One E' (verwendet Li-Ion)
- 12% für ‚Vespino E3' (verwendet LiFePO)
- 19% für alle E-Scooter, die Blei (Pb) Batterien verwenden

[1] Die Verteilung ist so skaliert, dass die Summe aller Werte 1 ergibt.

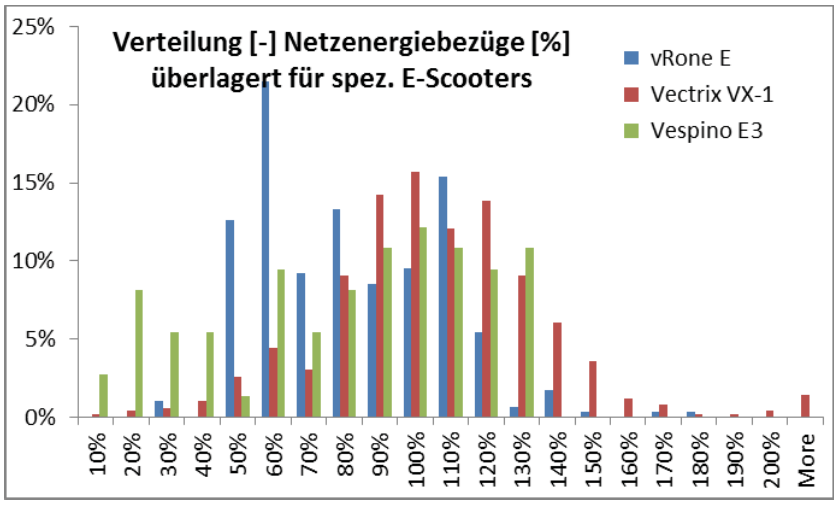


Abbildung 107: Histogramm (Dichte) der Netzenergiebezüge aller Ladungen aller (je 6) Modelle ‚Vectrix VX-1', ‚VR One E' und ‚Vespino E3'.

Obwohl selbstverständlich das Ladeverhalten einen grossen Einfluss haben kann, sind die eben beschriebenen Fahrzeugverluste für moderne Li-Technologien lediglich halb so gross wie bei den älteren Pb und NiMH Technologien. Diese Resultate unterstützen den Ruf nach effizienteren Technologien, speziell für Batterien und ihre Lade- und Überwachungselektronik.

Die nächsten Auswertungen behandeln den Fahrzeugenergiebedarf. Abbildung 108 zeigt den Netzenergiebezug pro 100km Fahrt für alle teilnehmenden Fahrzeuge (im Folgenden, nicht ganz korrekt, auch als 'Verbrauch' bezeichnet). Die Reihenfolge der Fahrzeuge folgt aufsteigend zuerst den drei Gruppen und dann dem Verbrauch.

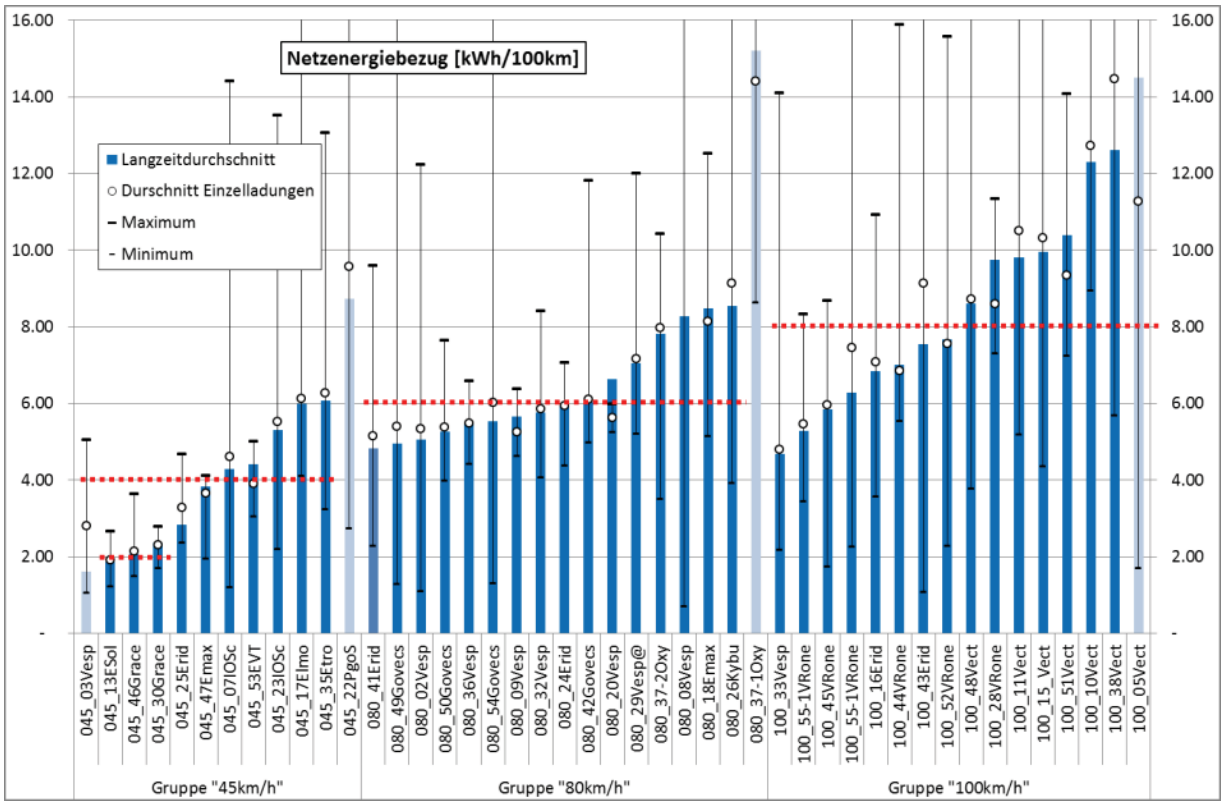


Abbildung 108: Auswertung der Netzenergiebezüge aller beteiligten Fahrzeuge.

Es sind einerseits der Gesamtverbrauch (blauer Balken = Gesamtbezug pro Gesamtfahrstrecke), und andererseits der durchschnittliche Momentanverbrauch und dessen Streuung (schwarz/weisser Punkt = Bezug pro Fahrstrecke zwischen den einzelnen Ladungen) aufgetragen. Die Unterscheidung Gesamtverbrauch und Momentanverbrauch erlaubt Rückschlüsse auf spezifische Lade- und Fahrverhalten, wie z.B. lange Standzeiten mit Nachladungen und ohne Fahrten.

Die Unterschiede zwischen Gesamtverbrauch und Momentanverbrauch sind gering, obschon die Streuung der Momentanverbräuche erheblich ist. Das liegt einerseits in der Natur der Sache (der Momentanverbrauch ist ein Differentialwert und damit sehr empfindlich auf kleinste Abweichungen in den Zeitreihen), aber auch am unterschiedlichen Ladeverhalten der Teilnehmer: z.B. wenn jemand nicht immer volllädt, ergeben sich grosse Unterschiede in den Momentanverbräuchen.

Ein Hauptergebnis dieser Auswertung sind die durchschnittlichen Netzenergiebezüge eines E-Scooters in den drei vorgeschlagenen Gruppen (in Abbildung 108 eingezeichnet als rot gestrichelte horizontale Linie):

- Gruppe 1 (45 km/h): durchschnittlich 4kWh/100km Energiebezug ab Steckdose
- Gruppe 2 (80 km/h): durchschnittlich 6kWh/100km Energiebezug ab Steckdose
- Gruppe 3 (100 km/h): durchschnittlich 8kWh/100km Energiebezug ab Steckdose

Die schnellen E-Bikes stiessen erst spät zu den Teilnehmern dieser Erhebung. Die drei untersuchten Fahrzeuge zeigen einen deutlich tieferen Netzenergiebezug und sollten daher einer eigenen Gruppe angehören:

- Gruppe 0 (bis 45km/h): durchschnittlich 2kWh/100km Energiebezug ab Steckdose

Datenausreisser konnten durch die Analyse der Rohdaten gut interpretiert werden. Als Beispiel dafür werden in Tabelle 24 die aufgehellten Balken aus Abbildung 108 erläutert.

045_03Vesp	Das Fahrzeug wurde jeweils nach 15 - 45 km geladen. Das Messgerät mit schlechter Auflösung mass immer jeweils 0.5kWh. Dadurch entstand ein systematischer Rundungsfehler, der rechnerisch einen zu geringen Verbrauch ergibt.
045_22PgoO	Das Fahrzeug nutzt eine Pb Batterie, was mit langen Stand- und Ladezeiten hohe Verluste erwarten lässt. Zudem gab es hier mit dem Ladegerät oft Probleme.
080_37-1Oxy	Das Fahrzeug legt zwischen den Ladungen nur Kürzeststrecken von 4-8 km zurück. Vermutlich hängt es die restliche Zeit am Ladegerät was zu diesen hohen Energiebezügen führt. Der gleiche Betrieb nutzt an einem anderen Standort ein identisches Fahrzeug, welches mit einer völlig anderen Ladestrategie gefahren wird und welches unter 8kWh/100km benötigt!
100_05Vectr	Dieses Fahrzeug nutzt eine NiMH Batterie mit relativ hohen Stillstandsverlusten. Die Erhebungen umfassen auch längere Stillstandszeiten, wodurch diese Verluste in diesem Falle dominant wurden.

Tabelle 24: Erläuterungen zu Abbildung 108.

Häufig vernimmt man, dass der Strombedarf eines Elektrofahrzeugs im Winter deutlich höher sei als im Sommer. Wenn keine elektrische Heizung betrieben wird, kann diese Aussage so kaum stimmen. E-Scooters haben im Gegensatz zu E-Autos keine elektrischen Zusatzverbraucher wie Heizung, Lüftung und Klimaanlage. Der Energiebedarf für den Antrieb bleibt unabhängig von der Temperatur ungefähr konstant (Einflüsse der Fahrbahnoberfläche (Regen, Schnee) und veränderter Luftdichte sind hier vernachlässigt). Hingegen sollte bei Kälte ein Einfluss auf die Reichweite messbar sein, da die Batteriespannungen im Winter tiefer liegen und die Fahrzeugelektronik früher wegen Unterspannung die Stromentnahme abriegelt. Der Grund dafür, dass ein E-Scooter in der Kälte weniger weit fährt, ist die deutlich geringere entnehmbare Energie der Batterie. Dieses Verhalten wurde uns von etlichen Testfahrern bestätigt. Eine systematische Erfassung der Reichweite war nicht möglich. Erst eine genaue Anzeige der verbleibenden Batterieladung würde eine aussagekräftige Reichweitenanalyse erlauben, aber nur ein E-Scooter der gesamten Testflotte verfügt über eine solche Anzeige. Daher war der Tagebucheintrag dieser Werte freiwillig und nur zwei der Teilnehmer haben dazu Werte abgeliefert.

Die Auswertung des Sommer- und Winterverbrauchs in Abbildung 109 zeigte keinen signifikanten Unterschied der Verbräuche und bestätigt somit unsere Annahme. Obwohl die Reichweite abnimmt, bleibt die Effizienz und damit der Energiebezug pro 100km weitgehend gleich.

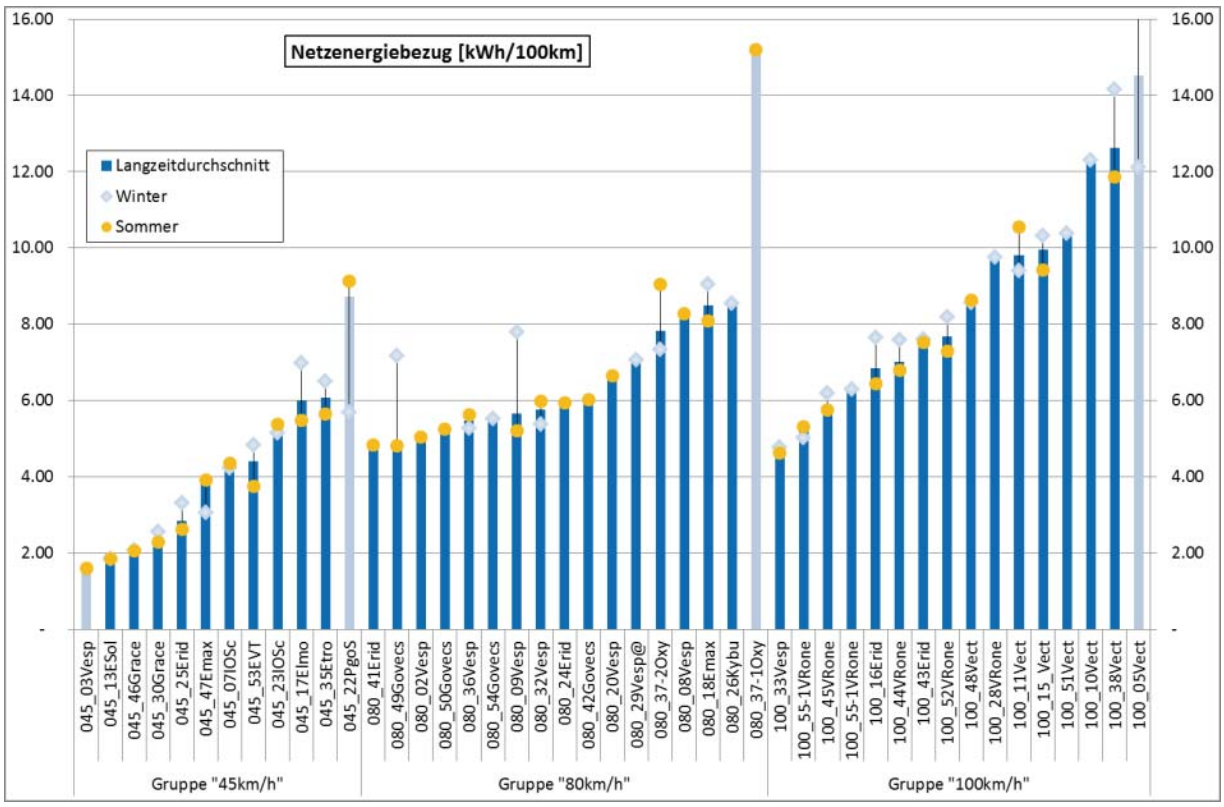


Abbildung 109: Auswertung der Netzenergiebezüge im Sommer und Winter. Gleich wie in der vorherigen Abbildung sind die Gesamtdurchschnittsverbräuche (blaue Balken = Gesamtverbrauch / Gesamtfahrstrecke) aufgetragen. Überlagert sieht man die Durchschnittsverbräuche zwischen allen einzelnen Sommer- bzw. Winter-Batterieladungen aufgetragen. Es zeigt sich kein eindeutiges Verhalten, z.B. dass, wie oft behauptet, alle Winterbezüge höher seien als die Sommerbezüge. Die Grafik zeigt, dass der Winterverbrauch oft niedriger ist als der Gesamtdurchschnitt und sogar tiefer als der Sommerverbrauch.

Zusammenfassung Kapitel 7.4

Die durchschnittlichen Netzenergiebezüge (Energiebezug ab Steckdose) aus den E-Scooter-Tagebüchern entsprechen gut den modellierten Werten:

- E-Scooter bis 45km/h: 2kWh/100km (schnelle E-Bikes)
- E-Scooter ca. 45km/h: 4kWh/100km
- E-Scooter ca. 80km/h: 6kWh/100km
- E-Scooter ca. 100km/h: 8kWh/100km

Der Fahrenergiebedarf konnte nicht erhoben werden, weil keines der untersuchten Fahrzeuge mit einer dafür geeigneten Anzeige ausgerüstet war. Aus den Versuchen auf dem Rollenprüfstand und den Untersuchungen zu Ladegeräten (siehe Kapitel 6.2.1 und 6.2.2) lässt sich ableiten, dass der Fahrenergiebedarf wegen der hohen Ladeverluste deutlich niedriger ist und in folgenden Bereichen liegt:

- E-Scooter bis 45km/h: 1-2kWh/100km (schnelle E-Bikes)
- E-Scooter ca. 45km/h: 2-4kWh/100km
- E-Scooter ca. 80km/h: 4-6kWh/100km
- E-Scooter ca. 100km/h: 6-8kWh/100km

Die Energiebezugsdaten aus den E-Scooter Tagebüchern zeigen keinen eindeutigen Verbrauchsanstieg im Winter. Im Gegensatz zu E-Fahrzeugen mit klimatisierter Fahrerkabine bleibt der Gesamtenergiebedarf für die Fahr- und Ladeverluste aufgrund der fehlenden Heizung etwa konstant. Bei Kälte verringert sich jedoch die entnehmbare Batteriekapazität, wodurch die Reichweite sinkt.

Ältere Batterietechnologien wie NiMh und Pb aber auch verlustreiche Lade- und Überwachungsgeräte in Kombination mit ungünstigen Ladestrategien können bei modernen Li-Bat zu deutlich höheren Verbräuchen führen.

8. Synthese

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus den verschiedenen Arbeitspaketen zusammengeführt und diskutiert. Die Ausführungen sind nach den wichtigsten Aspekten und Erkenntnissen aus der vorliegenden Studie gegliedert.

8.1 Zahlreiche Hindernisse für eine rasche Verbreitung der E-Scooters in der Schweiz

Der Verkauf von E-Scooters ist weltweit (abgesehen von China) zurzeit noch auf sehr tiefem Niveau. Die globale Marktbeobachtung (s. Kap. 3) zeigt, dass eine grössere Verbreitung lediglich in China stattgefunden hat. Ein wichtiger Grund dafür ist sicherlich das Verbot von Benzin-Rollern in einigen chinesischen Städten (bspw. Peking, Guangzhou). In der Schweiz und in Europa ist die Marktdurchdringung mit E-Scooters noch sehr gering (s. Abbildung 15 S. 71).

Im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojekts wurden verschiedene Gründe für die (noch) geringe Diffusion eruiert:

- *Kleine, unbekannte Importeure mit kleinem Budget und ungenügende Qualität einiger Produkte*

Die meisten der heute in der Schweiz angebotenen E-Scooter-Marken sind asiatischer Provenienz. Dabei fällt auf, dass die heutigen E-Scooter-Importeure in der Schweiz mehrheitlich kleine, in der Motorrad-Branche wenig bekannte Unternehmen sind (s. Kap. 3). Diese verfügen über kein bestehendes und gut funktionierendes Händlernetz, was eine unabdingbare Voraussetzung für die erfolgreiche Einführung neuer Produkte ist. Zudem stehen ihnen nur kleine Werbebudgets zur Verfügung, d.h. sie können ihren Händlern weder professionell gestaltetes Werbe- und Kommunikations-Material zur Verfügung stellen noch weitere attraktive Verkaufsförderungs-Angebote (z. B. Rabatte) machen. Oft gewähren sie ihren Händlern nur geringe Margen, was sich auf die Händler-Motivation negativ auswirkt. Die Erfahrungen der letzten Jahre haben ausserdem gezeigt, dass die in China und anderen asiatischen Ländern produzierten E-Scooters den qualitativen Anforderungen des europäischen Marktes noch nicht genügen.

In jüngster Zeit zeichnet sich nun eine positive Veränderung dieser Situation ab: Erstens haben sich Importeure, die ‚billige' E-Scooters aus China einführten und über kein Händlernetz verfügten, aus dem Schweizer Markt zurückgezogen. Zweitens kann aus verschiedenen Medienmitteilungen im Herbst 2013 entnommen werden, dass globale Motorradhersteller im nächsten Jahr E-Scooters auf den Markt bringen werden (z.B. Elektro-Maxi-Scooter von BMW[1]). Diese Marktakteure verfügen über grosse und etablierte Händlernetze und besitzen das Vertrauen ihrer Händler – so wären beispielsweise Unsicherheiten in Bezug auf Fahrzeuggarantie und Ersatzteil-Lieferungen für E-Scooters geklärt. Die Marktankündigungen dieser grossen Anbieter haben nicht nur auf die Verkäufer, sondern auch auf potenzielle Käufer einen positiven Einfluss, da sie die Wahrnehmbarkeit der Produkte erhöhen. Sie stärken die Funktion ‚Strategische Lenkung und Orientierung' des Technischen Innovations-Systems (s. Kapitel 3.3). Für Europa und die Schweiz ist ebenfalls von Bedeutung, dass E-Scooters allmählich auch in Taiwan populär werden, denn die taiwanesische Roller-Industrie arbeitet auf qualitativ hohem Niveau und ist daher nahe am europäischen Markt. Es wird eine Frage der Zeit sein, bis auch in Europa qualitativ hochstehende E-Scooters aus Asien angeboten werden. Ein solcher Markteintritt kann die Verbreitung von E-Scooters in Europa massgeblich beeinflussen, d.h. das Angebot an E-Scooters könnte attraktiver werden.

[1] Vgl. http://www.autobild.de/artikel/bmw-c-evolution-iaa-2013-4370396.html (abgerufen am 12.12.2013).

- *Skepsis der Händler gegenüber dem Produkt*

Eine diffusionstheoretische Betrachtung der gegenwärtigen Marktsituation zeigt, dass die Händler zentrale Akteure im Verbreitungsprozess sind. E-Scooters werden in der Schweiz zurzeit von sehr wenigen Motorrad- oder Velohändlern angeboten. Eine wichtige Voraussetzung für die Etablierung von E-Scooters auf dem Markt ist daher die Überzeugung der Händler. Die Befragungen der Zweirad-Händler zeigen nun aber (s. Kap. 3), dass diese gegenüber E-Scooters eher skeptisch eingestellt sind. Ein Grund dafür liegt im mangelnden Vertrauen der Händler in die Qualität und Konkurrenzfähigkeit der Fahrzeuge sowie in die Verlässlichkeit der heutigen E-Scooter-Importeure. Fast alle Händler fordern – teilweise sicher auch aus Unkenntnis oder ungenügendem Wissen – eine technologische Weiterentwicklung des Produkts.

Ein zweiter Grund für die Skepsis der Händler ist ökonomischer Art: Die Margen der Händler sind gering, und unsere Befragung der Händler zeigt zudem, dass beim Verkauf eines E-Scooters ein erheblicher Mehraufwand durch den höheren Informationsbedarf (bspw. wegen Wissenslücken) entsteht. Der Verkauf eines E-Scooters ist derzeit für einen Händler wenig rentabel.

- *Fehlender persönlicher Vorteil*

Unsere Untersuchungen zeigen, dass für den Einzelnen der persönliche relative Vorteil (Zusatznutzen) der E-Scooters gegenüber Benzin-Rollern gering ist. Für die bisherige Käuferschaft steht der gesellschaftliche Nutzen im Vordergrund (weniger Schadstoff- und Lärm-Emissionen). Die heutigen E-Scooter-Nutzer geben die Umweltfreundlichkeit (z.B. reduzierter CO_2-Ausstoss) und die Geräuschlosigkeit als wichtige Vorteile gegenüber dem Benzin-Roller an (s. Kap. 7). Die potenziellen Käufer gehen aufgrund des höheren Anschaffungspreises von generell höheren Kosten für E-Scooters aus – wie unsere Analysen zeigen, nicht immer zu Recht (s. Kap. 4.1.2). Auch gelten E-Scooters bisher kaum als trendige Lifestyle-Produkte. So werden E-Scooters nicht als neue Fahrzeuge, sondern als (teurer) Ersatz für herkömmliche Roller gesehen und müssen sich gegen deren Mainstream-Stärken behaupten (s. Kap. 3.3). Diese empirischen Befunde decken sich wiederum mit Erkenntnissen aus der Diffusionstheorie: Erstnutzer/Erstanwender einer ökologischen Innovation (sog. Innovatoren) sind vor allem Personen mit hohem Umweltbewusstsein. Bei den nachfolgenden Adoptergruppen ‚frühe Übernehmer' und ‚späte Mehrheit' spielt jedoch der Faktor Umwelt eine weniger zentrale Rolle, für diese muss das Produkt eindeutigere persönliche Vorteile bieten. Auch die vergleichende Analyse mit dem TIS-Ansatz (s. Kap. 3.3) hat ergeben, dass der fehlende – bzw. bis anhin nicht wahrgenommene – persönliche Nutzen des E-Scooters ein Hauptgrund für die unterschiedlichen Verbreitungspfade von E-Bikes und E-Scooters ist.

- *Kosteneinsparungen werden (noch) nicht wahrgenommen*

Es liegen erst wenige Angaben zu den Betriebskosten von E-Scooters vor (s. Kap. 4.1.2). Die Untersuchungen weisen aber darauf hin, dass im Vergleich zu den Benzin-Rollern nebst deutlich geringeren Energie- auch mit tieferen Service- und Wartungskosten zu rechnen ist. Dieser ökonomische Vorteil ist vielen Akteuren (Händler, potentielle Käufer) nicht bekannt. Folglich dominiert in der Kostendiskussion der höhere Anschaffungspreis von E-Scooters gegenüber Benzin-Rollern (vgl. nächster Punkt).

- *Hoher Anschaffungspreis*

Der Anschaffungspreis eines E-Scooters ist im Vergleich zu einem Benzin-Roller hoch: ein E-Scooter kann mehr als doppelt so teuer wie ein Benzin-Roller mit vergleichbarer Leistung und Ausstattung sein (vgl. Tschopp 2013). Diese Preisunterschiede werden in verschiedenen Gemeinden teilweise durch finanzielle Anreize (10-25% des Kaufpreises) verringert (vgl. Kap. 5). Es kann davon ausgegangen werden, dass beim Markteintritt grosser Motorrad-Hersteller die Stückkosten gesenkt und die E-Scooters daher preiswerter werden.

- *Unklarheiten/Unsicherheiten bezüglich Batterieentsorgung und -recycling*

Gemäss geltendem Recht müssen die Verkäufer ihren Kunden einfache, sichere und gesetzeskonforme Entsorgungsmöglichkeiten anbieten können (s. Kap. 4). Die Befragung der Händler (s. Kap. 3) hat jedoch gezeigt, dass diese nur unzureichend über die Zuständigkeiten und Abläufe bei der Entsorgung bzw. dem Recycling von E-Scooter-Batterien informiert sind. Solche Unklarheiten und Unsicherheiten sind diffusionshemmende Faktoren.

- *Umbau der Rollerflotte der Post hat noch wenig Signalwirkung auf andere Unternehmen*

Die schweizerische Post hat 2008 begonnen, ihre gesamte Benzin-Rollerflotte von ungefähr 7'000 Fahrzeugen durch E-Scooters zu ersetzen. Die bisherigen Erfahrungen der Post mit zurzeit über 4'500 Fahrzeugen zeigen, dass die Fahrzeuge sehr zuverlässig funktionieren. Die Post wird diesbezüglich von anderen schweizerischen Unternehmen jedoch (noch) nicht als Vorbild wahrgenommen und nachgeahmt. Mögliche Gründe dafür sind die für Unternehmen zu wenig relevanten Fahrzeugkosten, die tiefe Erneuerungsrate der Fahrzeugflotten und der postspezifische Einsatzzweck.

- *Schwaches politisches Commitment und keine starken Lobbies*

Ein Hauptmerkmal des bestehenden Technologischen-Innovations-Systems für E-Scooters ist gemäss unserer Analyse die schwach ausgeprägte Funktion ‚Schaffung von Legitimität' (s. Kap. 3). Das heisst, dass das Thema E-Scooters in den Medien kaum präsent ist, dass kein starkes politisches Commitment erkennbar ist (beispielsweise ein klares Setzen auf E-Scooters in einer Strategie für den Agglomerationsverkehr der Zukunft) und keine Lobbygruppen existieren, die Druck in dieser Richtung erzeugen könnten.

8.2 E-Scooters sind aus ökologischer Perspektive wünschenswert

Unsere Untersuchungen des Nutzerverhaltens zeigen, dass der breite Einsatz von E-Scooters aus einer ökologischen Perspektive wünschenswert wäre, und dass diese Fahrzeuge in nachhaltigen Mobilitätskonzepten eine wichtige Rolle spielen könnten.

- *E-Scooters sind energieeffizient und umweltschonend*

Die Analyse der Mobilitätserhebungen (s. Kap. 7) zeigt, dass 61% der E-Scooter-Kilometer alternativ mit dem Auto oder dem Benzin-Motorrad zurückgelegt worden wären. Aus den Tagebüchern ist die durchschnittliche Jahresfahrleistung aller Teilnehmer (N=45) 2'230 km und die aller Teilnehmer die Daten länger als ein Jahr erhoben (N=12), 2'623 km. Nimmt man daraus eine Jahresfahrleistung von 2'500 km an, ergibt dies eine Einsparung von 1'500 Auto- oder Motorradkilometern.

Zum Vergleich: Die Jahresfahrleistung von 2‘500 km entspricht sehr genau dem E-Scooter-Einsatz in den Deutschschweizer Partnergemeinden des Grossversuchs mit Leicht-Elektromobilen 1995-2001 (vgl. Buwal 2004). Untersuchungen zum Mobilitätverhalten von E-Bike-Nutzern im gleichen Kontext zufolge ersetzen E-Bike-Fahrer jährlich rund 600 km Autofahrten (und in einem ähnlichen Ausmass ÖV- und Fahrradkilometer). Mit dem E-Scooter werden daher in weit höherem Mass Auto- und Motorrad-Fahrten ersetzt als mit dem E-Bike.

Auch tätigten unsere Probanden mit dem E-Scooter kaum zusätzliche Fahrten. Über 90% der mit dem E-Scooter zurückgelegten Wege wären auch ohne Elektroroller getan worden (s. Kap. 7). Man kann also davon ausgehen, dass E-Scooter keinen nennenswerten Mehrverkehr erzeugen.

Weiter konnte gezeigt werden, dass sich Fahren mit E-Scooters bezüglich Umweltauswirkungen im Vergleich zu praktisch allen anderen Motorfahrzeugen lohnt. Selbst der ÖV kann schlechter abschneiden als E-Scooters, dies wegen Umwegen oder tiefer Belegung. Dabei ist jedoch die Erzeugung des zum Fahren verwendeten Stroms ein wichtiger Einflussfaktor, der in eine Gesamtbetrachtung einbe-

zogen werden muss. Ist der Strom ‚sauber', überragt der Umweltschaden der E-Scooter-Herstellung beim heutigen Stand der Rohstoffbeschaffung und des Rohstoffrecyclings denjenigen des Betriebs bei weitem (s. Abbildung 77 S. 149).

Diese Ergebnisse zum Energieverbrauch und zu den Umweltauswirkungen stellen wertvolles Grundlagenwissen einerseits für weiterführende Forschungsarbeiten und andererseits für politische Unterstützung und Fördermassnahmen dar (s. auch Kap. 8.3).

- *E-Scooter als Pendlerfahrzeug für kurze und mittlere Strecken*

Unsere Probanden haben mit ihren E-Scooters vor allem kurze und mittlere Strecken in der Stadt und den Agglomerationen zurückgelegt: pro Weg wurden durchschnittlich 15 Kilometer mit dem E-Scooter gefahren. Die Auswertung der Tagebücher zeigt auch, dass die Reichweite der Fahrzeuge für den grössten Teil der Einsätze ausreicht (s. Kap. 7).

Gemäss Mikrozensus 2011 (BFS 2011) sind in der Schweiz rund 3.7 Millionen Menschen Arbeitspendler[1], die pro Tag rund 14-15 km zurücklegen, wobei das am meisten genutzte Fahrzeug der Personenwagen (53%) ist. Angenommen, alle Schweizer Auto- und Motorrad-Pendlerfahrten würden durch E-Scooter-Fahrten ersetzt, so könnten beträchtliche Umweltauswirkungen verhindert werden: die Untersuchung zeigt, dass die Treibhausgas-Emissionen eines E-Scooters (pro Personen-Kilometer) im Vergleich zum Benzin-Roller rund drei Mal kleiner und im Vergleich zum Benzin-Auto sogar fünf Mal kleiner sind (s. Kap. 6.3.1). Es würde nicht nur eine beträchtliche Reduktion der Treibhausgas-Emissionen erreicht, sondern hätte auch positive Auswirkungen auf das Ökosystem und die Ressourcen (s. Kap. 6.3.1).

8.3 Ungenügender Fördermix

Mit staatlichen Fördermassnahmen sollen die Entwicklung, Markteinführung und Marktdurchdringung von politisch erwünschten Technologien gezielt gefördert werden. Auf globaler Ebene fällt auf, dass bis anhin im Vergleich zur entschiedenen Förderung von Elektroautos nur sehr wenig Mittel in die Förderung von E-Scooters geflossen sind. Eine wichtige Rolle dürften dabei die Interessen der grossen Automobilkonzerne spielen, welche natürlich primär Autos verkaufen möchten. Darüber hinaus fällt aber auch das mangelnde Bewusstsein der staatlichen Stellen für die Substituierung von Autoverkehr in Ballungsräumen durch E-Scooters auf. Als Folge davon wird die Elektromobilität mit E-Scooters in den allermeisten staatlichen Förderprogrammen stiefmütterlich behandelt.

In der Schweiz sieht die Situation nicht grundsätzlich anders aus, aber immerhin unterstützen der Bund, einzelne Kantone und Gemeinden die Verbreitung von Elektrozweirädern seit rund zehn Jahren, teilweise auch länger.[2] Die Analyse der E-Scooter-Fördermassnahmen legt dar, dass vor allem finanzielle Anreize (in Form von Subventionen) sowie Kommunikations- und Diffusionsinstrumente (v. a. in Form von Ausstellungen) im Vordergrund stehen.

Die Beurteilung verschiedener Ausstellungen und Messeauftritte (s. Kap. 5) zeigt, dass diese Kommunikations- und Diffusionsinstrumente kompetent und effizient eingesetzt wurden, dass aber die effektive Zahl der E-Scooter-Verkäufe nicht gesteigert werden konnte. Beispielsweise gelang es den E-Scooter-Ausstellungen an der Swiss-Moto nicht, nennenswerte Impulse für den Markt zu geben und die Marktentwicklung zu beschleunigen. Entscheidend dürfte dabei neben den unter 8.1 genannten Gründen gewesen sein, dass der Schweizer Markt aus Sicht der grossen Anbieter zu unbedeutend ist.

In Deutschland werden im Rahmen der vielfältigen Förderprogramme ähnliche Kommunikations- und Diffusionsinstrumente eingesetzt. Die sozialwissenschaftliche Begleitforschung zur staatlichen För-

[1] Arbeitspendler sind Erwerbstätige, die einen fixen Arbeitsort ausserhalb ihre Wohngebäudes haben (BFS 2011).

[2] Vgl. beispielsweise das Förderprogramm NewRide (www.newride.ch).

derpolitik in der Modellregion Rhein-Main (vgl. Begleitforschung Rhein-Main 2011) zeigte u.a. zwei wichtige Zusammenhänge auf:

- Je besser die potenziellen Nutzer über die Technologie informiert sind, desto höher ist die Akzeptanz.
- Nutzer der Demonstrationsvorhaben (Ausstellungen mit Probefahren, etc.) sehen die Elektromobilität positiver als Nicht-Nutzer.

Die Beurteilung der weiteren Förderinstrumente führt zum Schluss, dass die in den letzten Jahren in der Schweiz gewählte Förderstrategie, die sich eng an die erfolgreiche E-Bike-Förderung anlehnt und ausschliesslich auf Pull-Massnahmen abstellt, ihre Ziele letztlich nicht erreicht hat. Der praktizierte Mix von Fördermassnamen – Kommunikationsmassnahmen gekoppelt mit finanziellen Anreizen – ist deshalb gezielt mit Push-Massnahmen zu koppeln, wie z.B. eine regelmässige Abgasprüfung oder strengere Emissionsvorschriften für Benzin-Roller und Mofas. Finanzielle Anreize für E-Scooters halten wir beim gegenwärtigen Stand der Marktentwicklung nach wie vor für sinnvoll. Das Projektteam schlägt jedoch vor, eher hohe, aber zeitlich befristete und mengenmässig gedeckelte Subventionen einzusetzen, da diese die Markteinführung am ehesten beschleunigen würde. Damit kann kurzfristig ein starker Impuls gegeben werden, ohne dass langfristig nicht marktfähige Strukturen aufgebaut würden (s. Kap. 5).

8.4 Fahrzeugzuverlässigkeit, Ladeinfrastruktur und Verkehrssicherheit

Ein wichtiges Ziel des Forschungsprojekts ist die Untersuchung von Aspekten wie Fahrzeugzuverlässigkeit, Ladeinfrastruktur und Verkehrssicherheit. Diese wurden mit Hilfe systematisch erhobener Angaben von heutigen E-Scooter-Fahrern untersucht.

- *Fahrzeugzuverlässigkeit*

Die Auswertung der 57 in den Tagebüchern notierten reparaturbedürftigen Schadenereignisse zeigt, dass Störungen am häufigsten bei den elektrischen Anlagen (23) und der Fahrzeugbatterie (20) vorkommen, gefolgt von mechanischen Problemen (14; s. Kap. 4).

Gemäss Händleraussagen ist die Zuverlässigkeit der heute eingesetzten Komponenten deutlich gestiegen und die Anzahl Garantiefälle gesunken. Damit E-Scooters sich auf dem Markt durchsetzen, muss die Fahrzeugzuverlässigkeit jedoch weiter verbessert werden, um das Produkt-Vertrauen bei Händlern und Interessierten zu stärken. Dies wiederum kann zu einer gesteigerten Nachfrage führen. Hier sind vor allem die Hersteller und Importeure gefordert.

- *Batterieeigenschaften*

Die in den Tagebüchern dokumentierten 20 Schadensfälle auf Grund der Fahrzeugbatterie zeigen bei weiterer Aufschlüsselung, dass oftmals die Lade- und Schutzgeräte versagten. Für die häufig eingesetzten Li-Ionen Batterien bedeutet dies in der Folge auch eine Beschädigung der Batteriezellen. Dies könnte weitreichende Folgen haben, im Extremfall bis zum Fahrzeugbrand. In der Schweiz gibt es bis heute keine offiziellen Statistiken oder Aufzeichnungen zu Elektrofahrzeugbränden. Solche könnten mithelfen, die Diskussion um Batteriebrände zu versachlichen. Gemäss Literaturdaten ist das Versagen von Li-Ionen Zellen sehr selten, und die Technologie gilt statistisch gesehen als sehr zuverlässig (s. Kap. 4), entsprechend zeigen erste Untersuchungen bei Elektro-Autos (Tesla), dass hier Fahrzeugbrände eher seltener sind.

Li-Ionen sind wie alle Batterien empfindlich auf extreme Kälte. Unsere Untersuchungen haben gezeigt (Kap. 7), dass die Reichweite in der kalten Jahreszeit deutlich abnimmt, der Energieverbrauch jedoch nicht zunimmt. Das bedeutet, dass die aus der Batterie ladbare sowie entnehmbare Energiemenge mit der Temperatur stark sinkt.

- *Ladeinfrastruktur*

Unsere Ergebnisse (s. Kap. 4) zeigen, dass Ladestationen für Elektrofahrzeuge in der Schweiz nur zögerlich installiert werden. Öffentliche Ladestationen bei Zweirad-Abstellplätzen haben zurzeit in erster Linie eine psychologische Funktion, nämlich auf E-Scooters aufmerksam machen. Ein ausgewiesenes Bedürfnis danach sehen wir nicht, weil zum einen die mit E-Scooters zurückgelegten Distanzen kaum länger als 30 – 40 km sind und zum andern die Zweiradabstellplätze häufig so stark belegt sind, dass es schwierig ist, rund um die Ladestation herum Platz für E-Scooters zu reservieren. Die Ladeinfrastruktur für E-Scooters ist deshalb – im Gegensatz zu derjenigen von Elektroautos – auf ‚zu Hause' oder auf den Arbeitsplatz auszulegen.

Interessant sind die Entwicklungen in Taiwan: hier wird eine Einheitsbatterie entwickelt, um so Batteriewechselstationen aufbauen zu können. Damit würde die Ladeinfrastruktur vereinfacht und die Anforderungen an die Reichweite reduziert. Aus unserer Sicht ist ein derartiges System in Europa aufgrund der höheren erforderlichen Batteriekapazitäten und der breiten Angebotspalette, welche die Entwicklung einer Einheitsbatterie erschweren, höchstens langfristig denkbar.

- *Verkehrssicherheit*

Die Verkehrssicherheit ist beim Motorradfahren ein wichtiges Thema: grundsätzlich gehören Motorräder wie E-Scooters zur Fahrzeugkategorie mit den höchsten Unfallraten. Einer der wichtigsten Risikofaktoren ist die ungenügende motorradspezifische Fahrer-Erfahrung und technische Fahrfertigkeit (als Folge ungenügender Aus- und Weiterbildung). Die Auswertung unserer Nutzerbefragung (s. Kap. 7) zeigt, dass die Hälfte der heutigen E-Scooter-Fahrer geübte Fahrer mit langjähriger Fahrerfahrung sind. Die andere Hälfte der Probanden verfügt über keine Roller-Erfahrungen. Interessant ist, dass keine der befragten Personen (N=55) über Kollisionsunfälle berichtet.

Beim Motorradfahren ist das sportliche und schnelle Fahren eine wichtige Unfallursache (s. Kap. 4). E-Scooters hingegen werden nicht aus Gründen der ‚Schnelligkeit' gekauft, sondern (zurzeit) aus ‚Umweltgründen' (s. Kap. 7). Es ist jedoch denkbar, dass bei einer erfolgreichen Markteinführung von E-Scooters die Unfallhäufigkeit mit diesen Fahrzeugen ansteigt.

8.5 Ökobilanzen als wichtige Datengrundlage

Ökobilanzen spielen als Datengrundlage eine wichtige Rolle in der Entscheidungsfindung zur Förderung von elektrischer Mobilität; speziell für E-Scooters gab es noch viele offene Fragen und Unsicherheiten. Ein Ziel des Forschungsprojekts war deshalb, Ökoinventare für alle relevanten Komponenten des Antriebsstrangs und Chassis von E-Scooters zu erstellen. Als Ergebnis unserer Arbeiten stehen Ökoinventare für alle relevanten Komponenten des Antriebsstrangs und Chassis von E-Scooters für die freie Nutzung zur Verfügung[1]. Es zeigte sich, dass für wichtige Komponenten wie beispielsweise die Elektromotoren generische und skalierbare Datensätze genügen. Z.B. ist das Treibhausgaspotenzial pro Kilogramm aller untersuchten Elektromotoren über deren gesamten Lebenszyklus in etwa gleich, unabhängig von Nennleistung, Drehmoment und Konstruktionsprinzipien. Das spiegelt die Tatsache wider, dass der hauptsächliche Umweltschaden durch die Masse der verbauten Materialien bestimmt wird.

Im Projekt wurden zudem die Lärmemissionen als ein neuer und für die Elektromobilität relevanter Indikator theoretisch weiterentwickelt. Wie sich zeigt, hat der E-Scooter im städtischen Raum gegenüber dem Benzin-Roller deutliche Vorteile in Bezug auf Lärmemissionen. Diese Vorteile sollten in städtischen Mobilitätskonzepten stärker gewichtet werden, da die Lärmauswirkungen im städtischen Bereich an Bedeutung gewinnen werden: In der Schweiz sind rund 1.3 Millionen Personen übermässigem Lärm ausgesetzt, und die wichtigste Lärmquelle ist der Strassenverkehr (BAFU 2013).

[1] In ecoinvent, MS Excel und in der Ökobilanzanwendung SimaPro (vgl. Kap. 6.2).

Die heutigen E-Scooter-Nutzer haben keine gravierenden Probleme mit der Geräuschlosigkeit (s. Kap. 4.3.3): zwei Drittel der Befragten geben an, dass sich durch das Fehlen des Motorgeräusches nie oder nur selten gefährliche Situationen mit Fussgängern oder anderen Verkehrsteilnehmenden ergeben. Auch weist die Befragung der Subgruppe ‚ehemalige Motorradfahrer und heutige E-Scooter-Fahrer' (s. Kap. 7.3) darauf hin, dass gerade die Geräuschlosigkeit ein bedeutsamer Faktor für den Umstiegs-Entscheid ist. Gemäss den Probanden ist das ‚Schweben', ‚Fliegen' oder ‚Gleiten' ein durchwegs positiv bewertetes Fahrgefühl.

8.6 Erhöhter Energiebedarf durch schlechte Qualität der Ladegeräte

Im Gegensatz zum benzinbetriebenen Fahrzeug, wo praktisch der gesamte eingefüllte ('geladene') Tankinhalt für den Antrieb zur Verfügung steht, haben batteriebetriebene Fahrzeuge sehr wohl Ladeverluste. Der Energiebedarf von E-Scooters addiert sich daher aus mehreren Komponenten:

1) Der aus der Batterie bezogene Fahrenergiebedarf, der dem Benzinverbrauch eines Benzin-Rollers entspricht und die Verluste des gesamten Antriebsstrangs einschliesst.

2) Die ab Steckdose bezogene Energie, welche über ein verlustbehaftetes Ladegerät und Batterieüberwachungssystem eine ebenfalls verlustbehaftete Batterie lädt.

In den Untersuchungen konnte aufgezeigt werden (s. Kap. 6.1), dass diese Lade-Wirkkette 10 - 30% Zusatzverluste aufweist. Demnach ist grundsätzlich zwischen dem ‚Energiebedarf ab Batterie' für die Reichweite und dem ‚Energiebedarf ab Steckdose' für die Betriebskosten zu unterscheiden.

Diese Untersuchung weist auf ein erhebliches Verbesserungspotenzial bei den Ladegeräten und den Batteriemanagementsystemen hin. Bei einer steigenden Nachfrage nach E-Scooters sollten die Qualität und Effizienz dieser Geräte verbessert werden, damit keine unnötigen energetischen Verluste, aber auch keine Schäden entstehen.

8.7 Die Rolle von E-Scooters in einem nachhaltigen Mobilitätskonzept

E-Scooters können offensichtlich eine wichtige Rolle als Elemente einer nachhaltigen Mobilität spielen und sollten in künftigen Mobilitätskonzepten mehr beachtet werden. Wegen ihres geringen Energieverbrauchs und ihrer geringen negativen Umweltauswirkungen, weil sie viel weniger Lärmemissionen verursachen, weil sie in verstopften Innenstädten wenig Platz brauchen und zu den schnellsten Verkehrsmitteln zählen, weisen sie gegenüber anderen Motorfahrzeugen wichtige Vorteile auf. Wir schlagen vor, dass sich die Diffusions-Anstrengungen vor allem auf die zwei Gruppen ‚Pendler' und ‚Flotten-Betreiber' konzentrieren. Für Pendler, welche insbesondere in Agglomerationen und während besonders verkehrsintensiven Tageszeiten unterwegs sind, besteht ein hohes Potential zur Verlagerung ihrer Autofahrten auf den E-Scooter. Ein weiteres grosses und ungenutztes Potenzial sehen wir im Bereich des Geschäftsverkehrs in Agglomerationen: Flottenbetreiber sollten vermehrt für den möglichen Einsatz von E-Scooters sensibilisiert werden. Dabei sollten auch die ökonomischen Vorteile von E-Scooters gegenüber anderen Motorfahrzeugen aufgeführt werden (s. Kap. 4.1.2).

Die Einsatzmöglichkeiten von E-Scooters werden zudem durch eine Erweiterung/Ausweitung der schweizerischen Fahrzeugklassen vergrössert: Seit ca. drei Jahren fanden bedeutende Veränderungen auf dem Fahrzeugmarkt statt, welche neue Fahrzeugklassen entstehen liessen: neue 3- oder 4-rädrige Elektro-Motorfahrzeuge wurden in der Schweiz homologiert und zum Kauf angeboten, welche auch unter den Begriff E-Scooter gefasst wurden. In der Schweiz ist beispielsweise der dreirädrige E-Scooter von Kyburz bekannt, da dieses Fahrzeug von der Schweizer Post eingesetzt wird. Auch der vierrädrige Twizy von Renault kann im weitesten Sinn auch dem Fahrzeugsegment ‚E-Scooter' zugeordnet werden, da er zulassungstechnisch als Quad gilt und mit einem Motorradführerschein gefahren werden darf.

9. Empfehlungen

In diesem Kapitel präsentieren wir die wichtigsten Empfehlungen (Top-10) für die Praxis, die wir aus den Ergebnissen unseres interdisziplinären Forschungsprojekts ‚E-Scooter' ableiten. Aus unserer Sicht sind es die zentralen Elemente der weiteren Förderung von E-Scooters, und wir halten in der gegenwärtigen Phase der E-Scooter-Verbreitung eine möglichst rasche Umsetzung der Empfehlungen für wichtig.

Empfehlung 1: Ein politisches Netzwerk aufbauen.

Unsere Untersuchungen zeigen, dass die Verbreitung von E-Scooters aus einer ökologischen Perspektive wünschenswert ist, und dass diese Fahrzeuge in nachhaltigen Mobilitätskonzepten eine wichtige Rolle spielen können. Es ist jedoch kein eindeutiges politisches Commitment für E-Scooters (etwa im Rahmen einer zukunftsweisenden Verkehrsstrategie für die Agglomerationen) zu erkennen, und es gibt keine starken Lobby-Gruppen, die entsprechenden politischen Druck aufbauen könnten.

⇨ Wir empfehlen daher den interessierten Kreisen den Aufbau eines politischen Netzwerkes, um Kräfte und Mittel zu bündeln. Dieses Netzwerk könnte sich in politische Debatten einbringen und dadurch den Druck erhöhen, dass E-Scooters in zukunftsorientierten Verkehrskonzepten einen angemessenen Platz erhalten und auch Push-Massnahmen in den Fördermix Eingang finden (beispielsweise eine Verschärfung der gesetzlichen Emissions-Standards für herkömmliche Motorräder[1]).

Empfehlung 2: Vertrauen schaffen.

Für eine schweizweite Verbreitung von E-Scooters sind sowohl bei der Technik als auch beim Anschaffungspreis noch bedeutende Fortschritte notwendig. Priorität sollte die technische Weiterentwicklung haben. Unsere Untersuchungen zeigen aber auch, dass sich die Zuverlässigkeit der heute eingesetzten E-Scooter-Komponenten in den letzten Jahren stark verbessert hat. Zentral ist, dass diese Fortschritte deutlich kommuniziert werden, um noch existierende Hemmschwellen (Misstrauen, Skepsis) bei Händlern und potenziellen Nutzern abzubauen.

⇨ Wir empfehlen Herstellern und Importeuren, die globale technische Entwicklung der E-Scooters weiterzuverfolgen und die dabei gewonnenen Informationen aktiv in der Schweizer Motorradbranche zu verbreiten. Die technischen Verbesserungen und Neuerungen sollten zielgruppengerecht kommuniziert und in den Fachmedien der Motorradbranche diffundiert werden.

Empfehlung 3: Verbesserungen einfordern.

Die durchgeführte Marktanalyse offenbart, dass einerseits das gegenwärtige E-Scooter-Verkaufsvolumen in der Schweiz sehr bescheiden ist, und dass andererseits die global tätigen Motorradhersteller bisher noch nicht auf dem E-Scooter-Markt aktiv sind. Wir regen daher für engagierte und interessierte E-Scooter-Händler eine Bottom-up-Strategie an:

⇨ Wir empfehlen den E-Scooter-Händlern, ihr Wissen (z.B. in Bezug auf Kundenbedürfnisse) den Hersteller-Firmen für die Weiterentwicklung der E-Scooters anzubieten. Falls der direkte Kontakt von Händlern zu Hersteller-Firmen nicht möglich sein sollte, muss der Weg über andere Akteure (Importfirmen, NewRide) gewählt werden, damit eine Verbesserung der Produkte eingefordert werden kann.

[1] Der Bundesrat beabsichtigt, die europäische Neuregelung in der Schweiz ab 2016/17 zu übernehmen: Die neuen EU-Vorschriften enthalten neben einer wirksamen Absenkung der Emissionsgrenzwerte auch neue, zusätzliche Anforderungen bezüglich On-Board-Diagnosesysteme, Dauerhaltbarkeit oder Verdampfungsemissionen. Die Neuregelung ist nur für die ab 2017 neu zugelassenen Motorräder vorgesehen.
(vgl. http://www.parlament.ch/d/suche/seiten/geschaefte.aspx?gesch_id=20134006, abgerufen am 2.12.2013)

Empfehlung 4: Interessierte Händler identifizieren und ansprechen.

Die Beobachtung des heutigen E-Scooter-Netzwerkes zeigt, dass die Akteure noch keine langfristigen Kooperationen gebildet haben. Der Austausch und das Zusammenspiel zwischen den Akteuren – notwendige Faktoren für die Diffusion von Innovationen – haben daher noch kaum stattgefunden.

⇨ Für den Auf- und Ausbau des E-Scooter-Händlernetzes empfehlen wir, die Zielgruppe derjenigen Händler verstärkt anzusprechen, die ökonomische und strategische Vorteile im Nischenmarkt anvisieren. Unsere Untersuchung deutet darauf hin, dass hierfür interessierte oder affine Fachhändler identifiziert und angesprochen werden sollten, die nicht in einer Markenbindung mit grossen Motorrad-Anbietern stehen. Diese Nischenmarkthändler können Fahrrad-, Motorrad-, Auto- oder Elektrofahrzeug-Händler sein. Ziel ist, diese Händler von neutralen Plattformen (z.B. NewRide) über die Entwicklung von E-Scooters zu informieren und ihnen E-Scooter-Wissen zu vermitteln.

Empfehlung 5: Über Recycling und Entsorgung der Batterien informieren.

Aus unseren Untersuchungen geht weiter hervor, dass in Bezug auf die Handhabung der E-Scooter-Batterien noch grosser Informationsbedarf besteht.

⇨ Wir empfehlen, die Händler auf die Vorschriften zu Lagerung, Transport und Entsorgung von Batterien aufmerksam zu machen (Sicherheitsvorkehrung). Sobald ein ausreichendes Verkaufsvolumen von E-Scooters existiert, dürfte dies von den Importeuren/Herstellern übernommen werden, da das Management der Batterieentsorgung deren Pflicht ist. Als Zwischenlösung sollten jedoch andere Akteure (z.B. NewRide, EnergieSchweiz, Inobat) diese Informationsarbeit leisten.

Empfehlung 6: Über korrektes Laden informieren.

Das korrekte Laden bewirkt eine deutliche Verbesserung der Batterielebensdauer und mehr Sicherheit.

⇨ Wir empfehlen, bei Händlern und Nutzern Verhaltensregeln zum Laden von E-Scooter-Batterien bekannt zu machen. Dafür könnten beispielsweise von einer neutralen Plattform wie NewRide Weiterbildungskurse für interessierte oder affine Fachhändler angeboten werden.

Empfehlung 7: Finanzielle Anreize weiterführen.

Die bisherigen Fördermassnahmen (finanzielle Anreize, Informations- und Kommunikationsmassnahmen und Probefahrten) haben nicht genügt, um die Markteinführung von E-Scooters im erhofften Mass anzuregen. Angesichts der im Vergleich mit allen andern Motorfahrzeugen positiven Energie- und Umweltbilanz von E-Scooters ist die Weiterführung der Förderung seitens Politik und öffentlicher Verwaltung sinnvoll. Wir plädieren für eine Ausweitung des Fördermixes durch Einbezug weiterer Massnahmen, insbesondere auch Push-Massnahmen. Nebst Städten könnten auch Stromversorger vermehrt einbezogen werden, und die Schaffung eines separaten Fonds ist zu prüfen.

⇨ Wir empfehlen, die Markteinführung von E-Scooters weiterhin mit finanziellen Anreizen zu unterstützen. Wir plädieren für vergleichsweise eher hohe Subventionen (10-20% des Anschaffungspreises), die aber zeitlich befristet und bezüglich der Anzahl geförderter Fahrzeuge gedeckelt sind. Da die Händler in der Vertriebskette eine Schlüsselstelle einnehmen, wäre es auch sinnvoll, einen Teil der Subvention nach einem geeigneten System an die Händler auszubezahlen.

Empfehlung 8: Autopendler und Flottenbetreiber gezielt ansprechen.

Insbesondere in Agglomerationen und während besonders verkehrsreichen Tageszeiten (Pendlerfahrten) besteht ein hohes Potential zur Verlagerung von Autofahrten auf den E-Scooter.

⇨ Wir empfehlen der öffentlichen Hand auf den verschiedenen staatlichen Ebenen, bei der Förderung von E-Scooters auf die beiden Zielgruppen ‚Autopendler' und ‚Flottenbetreiber' zu fokussieren. Autopendler in Agglomerationen sollten gezielt angesprochen werden. Kurz- und mittelfristig

sehen wir zudem ein grosses ungenutztes Potenzial im Bereich des Geschäftsverkehrs in Agglomerationen. Der Fördermix sollte deshalb stärker auf die Bedürfnisse von Flottenbetreibern zugeschnitten sein.

Empfehlung 9: Wissen über E-Scooters umfassend kommunizieren.

Aus unseren Untersuchungen geht hervor, dass eine umfassende Kommunikation über alle Aspekte von E-Scooters wichtig ist.

⇨ Der Politik und der öffentlichen Verwaltung empfehlen wir, insbesondere auch zu kommunizieren, dass:

- beim Kauf eines E-Scooters hochwertige Produkte mit langer Lebensdauer gekauft werden sollen;
- für den Betrieb ‚sauberer' Strom verwendet werden soll;
- zwischen dem kosten- und umweltrelevanten Energiebezug ab Steckdose und dem reichweitenrelevanten Energiebedarf für das Fahren unterschieden werden muss;
- der Einsatz von E-Scooters das Mobilitätsverhalten positiv beeinflusst: rund zwei Drittel der ersetzten Kilometer sind Auto- und Motorradkilometer und E-Scooters verursachen keinen nennenswerten zusätzlichen Verkehr (und schneiden diesbezüglich deutlich besser ab als E-Bikes);
- die errechneten Ökobilanzen eindeutig zeigen, dass E-Scooters die Umwelt weniger belasten als herkömmliche Roller;
- verschiedene Städte und Elektrizitätswerke finanzielle Anreize bieten;
- bei Neubauten die Vorinstallationen für Ladestationen (Rohre einziehen) eingeplant werden sollten.

Empfehlung 10: In einer Imagekampagne den persönlichen Nutzen von E-Scooters hervorstreichen.

Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass für den Einzelnen der persönliche relative Vorteil (Zusatznutzen) der E-Scooters gegenüber Benzin-Rollern gering ist. Vielmehr gehen die potenziellen Käufer aufgrund des höheren Anschaffungspreises von generell höheren Kosten für E-Scooters aus – wie unsere Analysen zeigen nicht immer zu Recht. Auch gelten E-Scooters bisher kaum als trendige Lifestyle-Produkte. E-Scooters werden nicht als neue, sondern als (teurer) Ersatz für herkömmliche Roller gesehen und müssen sich gegen deren Mainstream-Stärken behaupten.

⇨ Wir empfehlen, dass der Bund eine schweizweite E-Scooter-Imagekampagne lanciert, um das neuartige positive Fahrerlebnis, die Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit und die Eignung für Pendlerfahrten bekannt zu machen. Auch die Erfolge und guten Erfahrungen von Unternehmen mit E-Scooters (beispielweise der Post oder KMUs) sollten aufgezeigt und kommuniziert werden.

Glossar

2Rad Schweiz: Der Branchenverband des Schweizer Fachhandels für Zweiradfahrzeuge (motorisiert und unmotorisiert).

AC-Elektromotor: Ein Wechselstrommotor - AC steht für 'alternating current'.

Anode: Entspricht einem Elektronenakzeptor bzw. verhält sich formal wie ein Oxidationsmittel. Die Anode (und die Kathode) gibt die Stromrichtung an: der Strom, der per Definition dem Elektronenfluss entgegengerichtet ist, fliesst somit immer aus der Anode. Dies hat nichts mit der Polarität zu tun: Plus- bzw. Minuspol beziehen sich auf die Potenzialdifferenz der Elektroden, also auf die Spannung. Somit ist bei einer aufladbaren Batterie die Anode beim Entladen der Minuspol und beim Laden der Pluspol.

Antriebsverlust: Die gesamten Energieverluste entlang des Antriebsstrangs (battery to wheel). Sie sind im Wesentlichen Funktionen der Fahrgeschwindigkeit, d.h. der Rad- und Motorendrehzahl. Die Motorverluste sind jedoch auch vom Drehmoment, d.h. vom Strom abhängig. Z.B. sind die Motorenverlust hoch, auch wenn man sehr langsam eine steile Steigung hinauf fährt.

Batteriekurzschluss, interner/innerer, externer/äusserer: Die Batterie erleidet einen internen Kurzschluss, wenn sich die Elektroden innerhalb der Zellen berühren und ein Kurzschlussstrom ungehindert fliessen kann. Dieser Strom kann in der Regel nicht mehr unterbrochen werden und führt zur Zerstörung der Zelle, evtl. sogar der Batterie. Ein externer Kurzschluss wird durch einen Isolationsfehler in der äusseren Verkabelung ausgelöst und kann mit Sicherungen unterbrochen werden.

Batteriemanagementsystem (BMS): Elektronisches System für die Überwachung und Konditionierung von Batterien. Speziell Lithium-Ionenbatterien bedürfen einer genauen Einhaltung ihrer Spezifikationen, wie zulässige Zellspannungen, Ströme und Temperaturen, um Schäden zu vermeiden. Eine Batterie ist bestenfalls so leistungsstark wie die schwächste Zelle. Aus diesem Grunde versucht ein BMS auch die Zellen untereinander so auszugleichen, dass alle dieselbe Ladung über ihre gesamte Lebensdauer halten können. In solchen Konditionierstrategien steckt z.T. viel spezifisches Know-how, wodurch leistungsfähige BMS oft sorgfältig eingestellt und nicht einfach zwischen verschiedenen Batterien austauschbar sind.

Bremsenergie: Kinetische Energie, die beim Bremsen dem Fahrzeug entzogen wird (siehe auch Rekuperation).

DC-Elektromotor: das ist ein Gleichstrommotor - DC steht für 'direct current'.

Disability Adjusted Life Years (DALY): Gängige Einheit, um Gesundheitsschäden auszudrücken.

Dynamik: Beschreibung der Raumbewegung und der entsprechenden Kräfte von Objekten.

Ecoinvent: Stellt Daten zur Berechnung von Ökobilanzen zur Verfügung.

Elektrische Wirk-, Blind-, Scheinleistung: Die elektrische Wirkleistung verrichtet Arbeit, d.h. sie liefert die eigentlich benötigte Energie. Die elektrische Blindleistung liefert die zum Umladen von Energiespeichern benötigte Energie, z. B. fliessen in einem Wechselspannungsnetz, das Speicher enthält, ständig Blindströme, die zwar im Zeitmittel keine Arbeit verrichten, aber in den Zuleitungen sehr wohl zu Verlusten führen. Die Scheinleistung ist die (komplexe) Summe der Wirk- und Blindleistung.

Elektrische Motoren (BLDC): Dies beschreibt einen bürstenlosen Gleichstrommotor, welcher heute sehr häufig in E-Bikes und E-Scooters eingesetzt wird. Der Begriff ist ungenau, denn eigentlich handelt es sich bei diesen Motoren meist um permanent erregte, blockkommutierte Synchronmotoren. D.h. der Stator muss mit Drehstrom beschickt werden, welchen ein Wechselrichter (WR) aus der Batteriegleichspannung erzeugen muss, und das Stator Drehfeld muss synchron mit den

Permanentmagneten des Rotors drehen. D.h. es braucht eine Positionsmessung des Rotors, um den WR zu steuern. Um den WR kostengünstig bauen zu können, verwendet man eine krude Methode zur Stromformung, eine Blockkommutierung, d.h. der Strom durch die Stator Windungen wird einfach ein und ausgeschaltet, anstatt ihn sanft zu dosieren.

Elektrische Motoren (Naben-, Scheibenläufer-, Innenläufer-, Aussenläufer-, Permanentmagnet-, bürstenlos Wechselstrom (AC)-, Synchron-, Asynchron-Motoren): Elektrische Motoren nutzen das gleiche Prinzip, welches jeder aus Erfahrung kennt: zwei Magnete, genauer gesagt ihre Magnetfelder, üben Kräfte aufeinander aus – sie ziehen sich an oder stossen sich ab. Dabei können diese Permanentmagnete (PM) und/oder Elektromagnete stromdurchflossene Drahtspulen oder Wicklungen sein, welche einfach umgepolt werden können. Damit lässt sich bei geschickter Anordnung ein kontinuierliches Drehmoment erzeugen. Man braucht dazu lediglich einen Rotor und einen Stator mit Magneten zu bestücken und diese im richtigen Moment umzupolen, damit der Rotor ständig dem Magnetfeld des Stators im Kreis herum folgt. Die Energieumwandlung durch diese drehenden Magnetfelder, oder Drehfelder, geschieht dabei im Luftspalt zwischen Rotor und Stator völlig geräuschlos, verlust- und emissionsfrei. Es gibt viele e-Motoren Typen, die sich vor allem durch ihre Bauformen unterscheiden. Meist sind Rotor und Stator zylindrisch ineinandergeschoben angeordnet. Ist der Rotor innen, spricht man von Innenläufer, sonst von Aussenläufer. Sind Rotor und Stator scheibenförmig nebeneinander auf der Welle angebracht, spricht man von Scheibenläufern. Ist entweder der Rotor oder Stator mit Permanentmagneten bestückt, spricht man von permanent erregten oder Permanentmagnet- oder PM-Motor. Geschieht die Stromumkehr der Spulen, auch Kommutierung genannt, mechanisch über Schleifkontakte und Bürsten, entsteht Verschleiss und Wartungsbedarf, weshalb man heute lieber elektronisch kommutiert - man spricht dann von bürstenlosen Elektromotoren. Anstatt einen Gleichstrom durch Umschalten umzupolen, kann man auch Wechselstrom verwenden. Dafür braucht es aber mehrere Phasen, d.h. auf dem Stator nachfolgende Wicklungen werden von getrennten und zeitlich verschobenen Wechselströmen durchflossen. Normalerweise verwendet man drei Phasen, um damit ein Drehfeld zu erzeugen. Solche Maschinen nennt man im Unterschied zu Gleichstrom- eben Wechselstrom-Motoren. Folgt der Rotor dem Stator mit der exakt gleichen Drehzahl, spricht man von Synchronmotoren. Herr Tesla erfand vor bald 130 Jahren eine weitere geniale Variante: Mit einer geschickten Konstruktion kann der Rotor dem Stator Drehfeld ganz ohne Permanentmagnete, Bürsten oder elektronische Kommutierung folgen; dies jedoch immer mit etwas Schlupf, ähnlich einer schleifenden Kupplung. Eine solche Maschine wird deswegen Asynchronmotor genannt.

Elektrische Motoren, Naben-: Aussenläufer, bei dem die Radnabe der Stator und der Rotor die Radfelge ist.

Elektrolyt: Flüssiges oder festes ionenhaltiges Material. In einem elektrischen Feld, z.B. zwischen den Elektroden einer Batterie, können sich diese Ionen bewegen und ermöglichen so einen Stromfluss.

Elektrosuisse: Fachverband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik.

Energiebedarf für Sicherheit und Komfort: Die erforderliche Energie um Sicherheit (Beleuchtung, Sicht, etc.) und Komfort (Klimatisierung, Information, etc.) zu gewährleisten.

Energieetikette: Obligatorisches Label für Personenfahrzeuge, Haushaltgeräte, etc., welches die Energieeffizienz des jeweiligen Produktes darstellt.

Fahrenergiebedarf: Die erforderliche Energie, um eine bestimmte Fahrstrecke zurückzulegen, d.h. Radenergiebedarf und Antriebsverluste zusammen. Dieser Wert entspricht am ehesten dem Kraftstoffverbrauch und kann über den spezifischen Verbrauch in diesen, z.B. als ‚Benzinäquivalente', umgerechnet werden.

Fahrzeugenergiebedarf: Die erforderliche Energie, um das Fahrzeug zu bewegen und alle Sicherheits- und Komfortsysteme zu betreiben.

Kathode: Gegenelektrode zur Anode (siehe Anode).

Kathodenmaterial: Heute unterscheiden sich Lithium-Ionenbatterien vor allem durch das aktive Material der positiven Elektrode, welches die Li-Ionen beim Entladen aufnimmt und beim Laden wieder abgibt. Folgende Materialien werden häufig verwendet:

Lithium-Eisenphosphat ($LiFePO_4$), ist ein natürlich vorkommendes Mineral aus der Familie der Olivine.

Lithium Kobaltoxid ($LiCoO_2$)

Lithium Manganoxid ($LiMn_2O_4$), dies gehört zur Mineraliengruppe des Spinell ($MgAl_2O_4$), ein Halbedelstein

Lithium Nickel-Mangan-Kobaltoxid ($LiNiMnCoO_2$)

Kinematik: Beschreibung der Raumbewegung von Objekten.

Ladeverluste: Die gesamten Energieverluste entlang der Wirkkette des Ladevorgangs (Ladegerät, Batteriezellen und Batteriemanagementsystem).

Mechanische Integrität: Die Form eines Gegenstandes bleibt stabil, so dass dessen Funktion gewährleistet werden kann.

Mobility Solution AG: Tochterunternehmen der Post, welche als Mobilitätsberaterin und –managerin agiert und sich auf das Flottenmanagement spezialisiert hat.

Netzenergiebezug (auch Netzenergiebedarf): Elektrische Energie, die insgesamt bezogen in der Batterie zwischengespeichert und zur Deckung des Fahrzeugenergiebedarfs benötigt wird. Sie umfasst also auch alle Ladeverluste.

NewRide: Plattform und Förderprogramm für Elektrozweiräder.

Ökobilanz (Life-Cycle-Assessment LCA): Analyse der Umweltauswirkungen eines Produktes von der Entstehung bis zur Entsorgung des jeweiligen Produktes.

PyroBubbles: Sie dienen dem präventiven Brandschutz.

Radenergiebedarf: Die durch alle Fahrzeugräder durch Traktion über eine bestimmte Fahrstrecke oder eine bestimmte Zeit ermöglichte Arbeit. Ohne Schlupf, d.h. kein Durchdrehen der Räder, entspricht sie dem Energiebedarf zur Überwindung aller Trägheiten und der Gravitation (konservative Kräfte) sowie aller Verluste wie Roll- und Luftreibung (dissipative Kräfte). Alle diese Kräfte sind im Wesentlichen Funktionen der Fahrgeschwindigkeit.

Rekuperation: Rückgewinnung der Bremsenergie nennt man Rekuperation. Sie erlaubt gegenüber einer Reibungsbremse die Energieverluste zu senken. Hier wird kinetische Energie in elektrische Energie durch das Bremsen mit einem Elektromotor umgewandelt. Dabei wirkt der Motor wie ein elektrischer Generator und erzeugt Strom, womit die Batterie eines Elektrofahrzeugs geladen werden kann. Beide Verfahren, Elektro- wie Reibungs-Bremsen, sind fein steuerbar und erlauben dadurch die Fahrgeschwindigkeit genau zu kontrollieren.

SENS: SENS steht für Sustainability, Expertise, Network, Solution. Es handelt sich um eine Stiftung, die sich für die nachhaltige Wiederverwertung von ausgedienten Elektro- und Elektronikgeräten sowie von Leuchtmitteln und Leuchten einsetzt und als Expertin agiert.

Separator: Trennfolie zwischen den Elektroden einer Batterie.

Swiss-Moto: Grösste Schweizer Motorradmesse, die jährlich im Februar in Zürich statt findet.

Tiefentladung: Die Zellspannung sinkt unter den erlaubten Wert.

Überladung: Ladespannung einer Batterie liegt über dem erlaubten Wert, der einen sicheren und dauerhaften Betrieb sicherstellt.

Verbrauch: Kraftstoffverbrauch eines mit einer Verbrennungsmaschine angetriebenen Fahrzeugs der benötigt wird, um eine bestimmte Fahrstrecke oder eine bestimmte Zeit zu fahren.

Verbrauch, spezifisch: Bezeichnet die verbrauchte Kraftstoffmenge je Arbeitseinheit einer Verbrennungsmaschine in g/kWh oder kg/kWh. Als spezifischer Kraftstoffverbrauch wird oft der Bestpunkt, also der Betriebspunkt mit dem kleinsten spezifischen Verbrauch angegeben.

Wechselrichter: Elektronisches System, welches eine (Batterie-)Gleichspannung in eine Wechselspannung umwandelt, z.B. zum Antrieb des AC-Elektromotors.

Abkürzungen

ABS	Antiblockiersystem
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAT	Beste verfügbare Technologie (best available technology)
BFE	Bundesamt für Energie
BFU	Beratungsstelle für Unfallverhütung
BMS	Battery Management System (Batterie Management System)
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, seit dem 1. Januar 2006 Teil des Bundesamtes für Umwelt
CAN	Controller Area Network
CBS	Integralbremssysteme
ChemRRV	Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung
EICMA	Esposizione Internazionale Ciclo Motociclo e Accessori, Internationale; Ausstellung für Motorräder und Motorrad-Zubehör in Mailand
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt
ICE	Internal Combustion Engine (Verbrennungsmotor)
IKAÖ	Die Interfakultäre Koordinationsstelle für Allgemeine Ökologie der Universität Bern
INOBAT	Interessenorganisation Batterieentsorgung
ISO	International Organization of Standardization
ITRI	Industrial Technology Research Institute
LCA	Lebenszyklusanalyse
LCI	Lebensinventaranalyse
LEM	Leicht-Elektromobile
LEMnet	Verzeichnis der Infrastruktur für Elektrofahrzeuge
Li-Batt	Lithium Batterie
MEMS	Micro-Electro-Mechanical Systems
MOS	Mobility Solutions AG
NEFZ	Neuer Europäischer Fahr-Zyklus
NiCd	Nickel-Cadmium
Pb	Blei
SFMGV	Schweizerischer Fahrrad- und Motorrad-Gewerbe-Verband, neu heisst der Verband 2Rad Schweiz.
SD	System Dynamics
SIL	Services Industriels de Lausanne

SPSS	Statistik- und Analyse-Software
SWICO	Schweizerischer Wirtschaftsverband der Informations-, Kommunikations- und Organisationstechnik
TIS	Technologische Innovationssysteme
VTS	Verordnung über die technischen Anforderungen an Strassenfahrzeuge
WMTC	World Motorcycle Test Cycle

Literaturverzeichnis

Althaus, H.J. (2012). Inventories and Impact Assessment for Road Transport Noise in Generic Life cycle assessments. Zürich: Diss. ETH No 20546.

Althaus, H.J. (2013). (in review) Vehicle and context specific inclusion of road transport noise impacts in Life Cycle Assessment. Environmental Science & Technology.

Althaus, H.J., et al. (2009b). Traffic noise in LCA Part 2: Analysis of existing methods and proposition of a new framework for consistent, context-sensitive LCI modeling of road transport noise emission. International Journal of Life Cycle Assessment, 14(7): 676-686.

Althaus, H.J., et al. (2009a). Traffic noise in LCA Part 1: state-of-science and requirement profile for consistent context-sensitive integration of traffic noise in LCA. International Journal of Life Cycle Assessment, 14(6): 560-570.

ASTRA Bundesamt für Strassen (2012). Elektromobilität 2012. Bericht des Bundesamts für Strassen ASTRA. Bern. ASTRA.

BAFU Bundesamt für Umwelt (2013). Ruhe schützen. Magazin ‚umwelt' 1/2013. Bern. BAFU.

Bader, A., Lupo, F., Mollet, J., Müller, L., Ott, S., von Matt, D. (2005). Diffusionsschwierigkeiten von E-Bikes. Studentische Arbeiten der Interfakultären Koordinationsstelle für Allgemeine Ökologie. Universität Bern.

Benjamin, E., Wie, V. (2012). eCycleElectric Consulting: 120 Million E-Bikes, the Effect on Chinese Lifestyle. Vortrag am Electric Vehicle Symposium 26 Los Angeles 2012. Los Angeles.

BFS Aktuell (2013). Pendlermobilität in der Schweiz 2011. Neuchâtel. BFS.

BFS Bundesamt für Statistik (2012a). Einkommensungleichheit und staatliche Umverteilung. Zusammensetzung, Verteilung und Umverteilung der Einkommen der privaten Haushalte. Neuchâtel. BFS.

BFS Bundesamt für Statistik (2012b). Mobilität in der Schweiz. Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010. Neuchâtel. BFS.

BFS Bundesamt für Statistik (2013). Haushaltsbudgeterhebung 2011. Kommentierte Ergebnisse und Tabellen. Neuchâtel. BFS.

bfu Beratungsstelle für Unfallverhütung (2012). E-Bikes. Mit Sicherheit leichter ans Ziel. Bern. bfu.

Bicker, M. (2011). ScooterAnalyst. Diplomarbeit. ZBW St.Gallen.

BUWAL Bundesamt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft (2004). Elektrozweiräder. Auswirkungen auf das Mobilitätsverhalten. Bern. BUWAL.

Cossalter, V. (2006). Motorcycle Dynamics. Verlagsort: Lulu Presscenter.

Creola, M. (2011). Simulation einer Elektromotorradfahrt: Modellbildung und Implementierung in Android. Bachelorarbeit im Fach Informatik. Zürich: Universität Zürich, Institut für Informatik.

De Haan, P., Zah, R. (2013). Chancen und Risiken der Elektromobilität. Zürich. vdf Hochschulverlag.

Ditch, B. & De Vries, J. (2013). Flammability Characterization of Lithium-ion Batteries in Bulk Storage. Norwood MA: FM Global.

Dunn, J.B., et.al. (2012). Impact of Recycling on Cradle-to-Gate Energy Consumption and Greenhouse Gas Emissions of Automotive Lithium-Ion Batteries. Environ. Sci. Technol., 46 (22): 12704−12710. doi: 10.1021/es302420z

Fichter, K., Clausen, J. (2013). Erfolg und Scheitern „grüner" Innovationen. Marburg: Metropolis.

Göldi, S. (2005). Grundlagen der Unternehmenskommunikation. Werbung, public Relations und Marketing im Dienste der Corporate Identity. Bern. Ott Verlag.

Haefeli, U., Arnold, T. (2012). Auswertung der E-Scooter- und E-Bike-Testtage 2012. Eine Studie im Rahmen des Forschungsprojekts ‚E-Scooters'. Luzern.

Häfliger, D., Kurzmann, A., Matti, C., Strauss, R. (2004). Die Diffusion von Elektro-Scooters. Untersuchung des Vertriebs von E-Scooters im Raum Bern. Bern. IKAÖ.

Heutschi, K. (2004). SonRoad – Berechnungsmodell für Strassenlärm. Schriftenreihe Umwelt Nr. 366. Bern. BUWAL.

Hofmann, H. (2011). E-Scooter-Händler in der Schweiz. Bern. IKAÖ.

Hofmann, H. (2012a). Eine Befragung der Motorradhändler in der Deutschschweiz zu ihrer Einschätzung von E-Scooters. Bern. IKAÖ.

Hofmann, H. (2012b). E-Scooter-Händler in der Schweiz. Eine Synthese bestehender Untersuchungen. Arbeitspapier aus der IKAÖ Nr. 6. Bern. IKAÖ.

IEA International Energy Agency (2012). Implementing Agreement for co-operation on Hybrid and Electric Vehicle Technologies and Programs. Annual Report 2011. Paris.

Jacoby, M. (2013). Assessing the Safety of Lithium-Ion Batteries. Chemical & Engineering News, 91 (6): 33-37.

Jaggi, D. (2011). ktipp.ch - Beitrag Detail - Motorräder unter Strom. http://www.ktipp.ch/themen/beitrag/1058526/Motorraeder_unter_Strom (abgerufen am 2.12.2013).

Kälin, K., Lagler, B., Nordmann, C., Tobler, A., Thurnherr, J. (2012). Der Wechsel vom Motorrad zum E-Scooter. Eine Analyse der Umsteigefaktoren. Bern.

Kaufmann-Hayoz, R., Gutscher, H. (2001). Changing things - moving people: strategies for promoting sustainable development at the local level. Basel. Birkhäuser+GBC.

Kaufmann-Hayoz R., Bättig Ch., Bruppacher S., Defila R., Di Giulio A., Ulli-Beer S., Friederich U., Garbely M., Gutscher H., Jäggi Ch., Jegen M., Müller A., North N. (2001). A typology of tools for building sustainability strategies. In: Kaufmann-Hayoz R., Gutscher H. (eds.): Changing things – moving people. Strategies for promoting sustainable development at the local level. Basel: Birkhäuser. S. 33-107.

Kotler P. et al. (1999). Grundlagen des Marketing. Stuttgart. Schäffer-Poeschel.

Kühn, R., Reiner A., Fasnacht, R. (2006). Marketing. System, Strategie und Instrumente. Bern: Haupt.

Landis, F. (2012). Erfolgskontrolle Sonderschau ‚E-Scooters' SWISS-MOTO 2011 16.-19. 2. 2012. Eine Studie im Rahmen des Forschungsprojekts ‚E-Scooters'. Luzern.

Landis, F., Arnold, T. (2013). Erfolgskontrolle Sonderschau ‚E-Scooters' SWISS-MOTO 2011 21.-24. 2. 2013. Eine Studie im Rahmen des Forschungsprojekts ‚E-Scooters'. Luzern.

Landis, F., Haefeli, U. (2009). Erfolgskontrolle Sonderschau ‚E-Scooters an der Swiss-Moto 2009, 18.-22. Februar 2009. Luzern.

Landis, F., Haefeli, U. (2010). Erfolgskontrolle Sonderschau ‚E-Scooters an der Swiss-Moto 2009, 18.-21. Februar 2010. Eine Studie im Rahmen des Forschungsprojekts ‚E-Scooters'. Luzern.

Landis, F., Helbling, N. (2011). Erfolgskontrolle Sonderschau ‚E-Scooters' SWISS-MOTO 2011 17.-20. 2. 2011. Eine Studie im Rahmen des Forschungsprojekts ‚E-Scooters'. Luzern.

Leissing, A., Lizano S., Mülhaupt G., Schmid L., Schuler A. (2010). Kommunikation im Diffusionsprozess von Elektroscootern. Eine Untersuchung der absatzfördernden Kommunikation von Händlerinnen und Händlern. Interdisziplinäre Forschungsarbeit der Allgemeinen Ökologie. Bern.

MaxQData (2013). MaxQData. Available at: http://www.maxqdata.com/index.html (abgerufen am 2.12.2013).

Meyring, P. (2003). Qualitative Inhaltsanalyse. Grundlagen und Techniken. Basel, Weinheim: Beltz.

Mikolajczak, C., et.al. (2011). Lithium-Ion Batteries Hazard and Use Assessment. Springer Verlag.

Moreni, G., Haefeli, U., Oetterli M. (2006). Finanzielle Anreize für effiziente Fahrzeuge. In: Jahrbuch der Schweizerischen Verkehrswirtschaft 2005/2006, 203-224. St. Gallen.

Notter, D.A., et.al. (2010). Contribution of Li-Ion Batteries to the Environmental Impact of Electric Vehicles. Environmental Science & Technology, 44 (17): 6550–6556. DOI: 10.1021/es903729a

Ribière, P., et.al. (2012). Investigation on the Fire-Induced Hazards of Li-ion Battery Cells by Fire Calorimetry. Energy Environ. Sci., 5: 5271-5280. DOI: 10.1039/c1ee02218k

Rieder, S., Haefeli, U., Kaufmann, P. (2007). Theoretische Beschreibung finanzieller Massnahmen und des Mitnahmeeffekts. Inputpapier. Luzern.

Roger E.M. (2003). Diffusion of Innovations. (4. ed.). London. The Free Press.

Schwander, S., Hofmann, H. (2011). NewRide Auswertung der NewRide RoadShows im 2011. Bern.

Schwegler, U. (2012a). E-Scooter Marktübersicht. Erkenntnisse vom Electric Vehicle Symposium 26 Los Angeles 2012. Rorschach.

Schwegler, U. (2012b). Hausinstallation für E-Fahrzeuge. Tec21, 9/2012. Zürich. espazium.

Schwegler, U., Schneider, B. (2008). Sonderschau ‚E-Scooters' an der Swiss-Moto 08. 20. – 24. Februar 2008. Messe Zürich Schlussbericht, NewRide. Bern.

Stevens, J.W., Corey, G.P. (1996). A study of lead-acid battery efficiency near top-of-charge and the impact on PV system design. Photovoltaic Specialists Conference, 1996., Conference Record of the Twenty Fifth IEEE. pp. 1485–1488. DOI: 10.1109/PVSC.1996.564417.

Suen, S.-H. (2012). The New Chance of Electric Scooter Equipped with Lithium Ion Battery in Taiwan. Vortrag am Electric Vehicle Symposium EVS-26 in Los Angeles, 2012. Los Angeles.

Suen, S.-H., et al. (2013). Strategy and Construction of Electric Refueling System for Electric Scooter in Taiwan. Vortrag am Electric Vehicle Symposium 27 Barcelona 2013. Barcelona.

Tschopp, O. (2013). Gesamtkostenvergleich E-Scooter – Benzin-Scooter. Bericht für das Projekt 'E-Scooer für KMU'. Universität Bern.

Walter, E., Cavegn, M., Scaramuzza, G., Niemann, S., Bächli-Boétry J. (2009). Motorradverkehr; bfu-Sicherheitsdossier 05. Bern. Beratungsstelle für Unfallverhütung bfu.

Walter, S. (2012). Niche Market Strategies for the Electrification of Road Transportation. Diss ETH Nor. 20819.

Werren, R. (2013). Vortrag NewRide Händlertag 2013. http://www.newride.ch/documents/haendlertag/Tagungsbericht_NewRide_Haendlertag_2013.pdf (abgerufen am 2.12.2013)

Widmer, R., Gauch, M., Schlienger, P. (2009). Developing a simple test method to compare the mileage of e-scooters. In Proceedings of the EVS24. EVS24. Stavanger, Norway.

Wilhelm, E., et al. (2012). Electric Vehicle Parameter Identification. Los Angeles: EVS26.

Wilhelm, E., et al. (2011). Parameteridentifikation E-Scooters.

Wilhelm, E. & Bornatico, R. (2012). Schlussbericht zur Begleituntersuchung 2-/3-Rad-Fahrzeugen. AP 3-5: Energieverbrauch und Fahrprofil, VirVe.

C4, 2013. C4 Max the ultimate tracking smartbox for CANbus and J1708 - Mobile Devices. Available at: http://www.mobile-devices.com/our-products/c4-max-smartbox/ (abgerufen am 2.12.2013).

H4, 2013. Mobile Devices H4, the multi-purpose I/O hub for CANbus tracking - Mobile Devices. Available at: http://www.mobile-devices.com/our-products/h4-hub/ (abgerufen am 2.12.2013).