

Vereinigung Schweizerischer Verkehrsingenieure (SVI)

Reduktionsmöglichkeiten externer Kosten des motorisierten Individualverkehrs am Beispiel des Förderprogramms VEL 2 im Kanton Tessin

Forschungsauftrag 2001/535

Schlussbericht

Impressum

Autor: IRE/CEPE
Titel: Reduktionsmöglichkeiten externer Kosten am Beispiel VEL2 im Kanton Tessin
Auftraggeber: SVI
Forschungsprojekt: SVI 2001/535
Ort: Lugano/Zürich
Jahr: 2006

Begleitgruppe

Präsident: Urs Schwegler
Mitglieder: Mario Briccola
Raffaele Domeniconi
Thomas Gasser
Gianni Moreni
Heidi Schelbert-Syfrig
Reto Schleiniger

Projektteam

Roman Rudel (Projektleiter)
Thomas Rotondo
Istituto di Ricerche Economiche-USI
Via Maderno 24
6904 Lugano
in Zusammenarbeit mit
Silvia Banfi
Loa Buchli
Centre for Energy Policy and Economics, ETH Zürich
Zürichbergstrasse 18
8032 Zürich

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	ii
Abbildungsverzeichnis.....	iv
Tabellenverzeichnis	v
Kurzfassung.....	K1
Abstract.....	A1
Riassunto.....	R1
Résumé.....	R1
1 Einleitung.....	8
1.1 Problemstellung.....	8
1.2 Das VEL1 - und VEL2 - Projekt	12
1.3 Ziel der Studie	13
1.4 Annahmen der Studie	15
1.5 Grenzen der Studie	17
1.6 Aufbau des Schlussberichtes	18
2 Erfassung und Bewertung externer Kosten im Verkehr.....	20
2.1 Externe Kosten des Verkehrs	20
2.2 Bereiche verkehrsbedingter externer Kosten.....	22
2.3 Vorgehen bei der Berechnung der externen Kosten im Verkehr.....	23
2.3.1 Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung und Lärmbelastung	24
Methoden der offenbarten Präferenzen.....	27
Methoden der geäußerten Präferenzen	28
2.3.2 Mietzinsausfälle wegen Lärm	29
2.3.3 Schäden an Ökosystemen und Gebäuden.....	30
2.3.4 Verkehrsbedingte Klimaschäden	30
2.4 Unsicherheiten.....	31
2.5 Schlussfolgerungen für die vorliegende Studie	32
3 Kostenansätze zur Bewertung der externen Kosten des Verkehrs	34
3.1 Literaturübersicht	34
3.2 Kostenansätze für die vorliegende Studie	40
3.2.1 Luftverschmutzung	42
3.2.2 Lärmbelastung.....	45
3.2.3 Klimawandel	46
3.3 Schlussfolgerungen.....	47

4	Berechnung der externen Kosten.....	48
4.1	Berechnung der externen Kosten mit dem Bottom-up-Ansatz	48
4.2	Mengengerüst zur Berechnung der Emissionen des privaten Strassenverkehrs	50
4.2.1	Zusammensetzung des Fahrzeugflotte im Kanton Tessin.....	50
4.2.2	Fahrleistungen der Personenwagen im Tessin.....	52
4.3	Bestimmung der externen Kosten	61
4.3.1	Auswahl des Kostenansatzes für die verschiedenen Externalitäten.....	61
4.3.2	Externe Kosten der Luftschadstoffe des privaten Strassenverkehrs im Tessin.....	64
4.3.3	Die externen Kosten von Motorrädern	66
4.3.4	Lärmbedingte externe Kosten	70
4.3.5	Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse	71
4.4	Resultate aus den Top-down-Ansätzen für das Tessin.....	78
5	Reduktionsmöglichkeiten externer Kosten mit dem VEL2-Förderprogramm	80
5.1	Kostenansätze für die Reduktion externer Kosten	80
5.2	Reduktionspotential externer Kosten	84
5.3	Fazit.....	86
6	Die politische Debatte über externe Kosten	87
6.1	Problemstellung.....	87
6.2	Fragestellungen	88
6.3	Ergebnisse der Stakeholderbefragung.....	90
6.3.1	Verständnis des Konzeptes der externen Kosten	90
6.3.2	Internalisierung externer Kosten als Steuerungsinstrument.....	91
6.3.3	Anwendungsbereiche der externen Kosten.....	97
6.3.4	Internalisierungsformen	98
6.4	Fazit.....	100
7	Schlussfolgerungen	102
	Glossar	105
	Abkürzungen.....	107
	Bibliografie	110
	Anhänge.....	115

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor	8
Abbildung 2: Entwicklung der PM10-Immissionen	9
Abbildung 3 Ermittlung der luftverschmutzungs- und lärmbedingten Gesundheitskosten	25
Abbildung 4 Bewertungsansätze.....	27
Abbildung 5: Ermittlung der verkehrsbedingten Lärmkosten	29
Abbildung 6: Mögliche Formen von Belastungs-Wirkungsbeziehungen.....	31
Abbildung 7: Externe Kosten der Luftverschmutzung an verschiedenen europäischen Standorten	35
Abbildung 8: Schätzungen der externen Kosten pro Fahrzeugkilometer für die Schweiz	40
Abbildung 9: Wirkungsschema zur Berechnung der externen Kosten	48

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Fahrzeugkategorien nach Emissionskonzepten und Antriebsart	13
Tabelle 2: In der Studie berücksichtigte externe Kosten	16
Tabelle 3: Externe Kosten des individuellen Strassenverkehrs in der Schweiz (in Mio. CHF) ..	37
Tabelle 4: Berücksichtigte Kostenelemente	41
Tabelle 5: Schadenskosten der verkehrsbedingten Luftbelastung für zwei Standorte in Belgien (CHF /t Schadstoff, CHF/EURO=1.5)	43
Tabelle 6: Grundlagen der ökonomischen Bewertung, ausgewählte Kennzahlen (Euro, Jahr 2000)	45
Tabelle 7: Kostenansätze für Lärmschäden (in Rp./Fzkm)	46
Tabelle 8: Kostenansätze für Klimaschäden.....	47
Tabelle 9: Entwicklung des Personenwagenbestandes im Kanton Tessin.....	50
Tabelle 10: Aufteilung der Personenfahrzeuge nach Emissionsstufen im Kanton Tessin	51
Tabelle 11: Fahrleistung nach Hubraum und Treibstoffart im Tessin für konventionelle Personenwagen nach Schweizer Ansatz (Jahr 2003)	52
Tabelle 12: Entwicklung der Fahrleistungen im Tessin nach Emissionsstufen gemäss Schweizer Ansatz (Jahr 2000)	53
Tabelle 13: Aufteilung der Fahrleistung im Tessin für das Jahr 2003 nach Emissionskonzepten und Strassenkategorie (in 1'000 km)	55
Tabelle 14: Berücksichtigte Schadstoffe für Warmzustand, Startzuschläge, Verdampfung nach Abstellen und infolge Tankatmung	56
Tabelle 15: Verteilung der Schadstoffe im Tessin gemäss Schweizer Ansatz (Jahr 2003).....	57
Tabelle 16: Anteil der Emissionen durch den Startvorgang und die Tankatmung	58
Tabelle 17: Verteilung der Schadstoffe im Tessin gemäss Schweizer Ansatz	58
Tabelle 18: Die in Verkehr gesetzten effizienten Fahrzeugmodelle und deren Emissionsfaktor für CO ₂	60
Tabelle 19: Kostenansätze am Beispiel der PM10-Emissionen (Angaben in CHF)	61

Tabelle 20: Verwendete Kostenansätze in CHF pro Tonne für die berücksichtigten Schadstoffe (Jahr 2000).....	63
Tabelle 21: Externe Kosten für die Schadstoffe und für die Gesamtfahrleistungen der Tessiner Personenwagenflotte für das Jahr 2003 (in 1'000 CHF)	65
Tabelle 22: Durchschnittskosten für CO ₂ (Emissionsfaktoren gemäss HBEFA,Infras 2004 und VEL2) in 1'000 CHF	66
Tabelle 23: Gesamtbestand der Motorräder im Kanton Tessin	67
Tabelle 24: Verteilung der Motorräder nach Kategorien und Emissionsstufen für das Jahr 2002.....	68
Tabelle 25: Gesamt- und Kilometerkosten für Motorräder im Tessin nach dem Kostenansatz ExternE in CHF.....	69
Tabelle 26: Durchschnittskosten der CO ₂ -Emissionen Kostenansatz ExternE.....	70
Tabelle 27: Kilometer- und fahrzeugbezogene externe Kosten in Rp/Fzkm.....	71
Tabelle 28: Externe Kosten für die Fahrleistungen im Jahre 2003 im Kanton Tessin nach verschiedenen Fahrzeugkategorien (Kostenansätze aus Tabelle 27)	72
Tabelle 29: kilometer- und typenbezogene externe Kosten in Rp/Fzkm für Motorräder	74
Tabelle 30: Externe Kosten pro Liter Treibstoff.....	75
Tabelle 31: Aufteilung der externen Kosten pro Fahrzeugkilometer Kostenansatz ExternE (CO ₂ tief)	76
Tabelle 32: Aufteilung der externen Kosten pro Fahrzeugkilometer	77
Tabelle 33: Verteilung der externen Kosten auf die Strassenkategorien	78
Tabelle 34: Vergleich von Berechnungen der totalen externen Kosten im Tessin für den privaten Personenverkehr (inkl. Motorräder) mit Top-down- und Bottom-up-Ansatz (in 1'000 CHF)	79
Tabelle 35: Lokale und globale externe Kosten nach Fahrzeugkategorien und Emissionsfaktoren	81
Tabelle 36: Eingesparte externe Kosten anhand der Substitution von konventionellen Fahrzeugen (EURO1, 2, 3) durch effiziente Fahrzeuge und Elektromobile im Tessin im Jahre 2003	83

Tabelle 37: Eingesparte externe Kosten durch EURO4-Fahrzeuge im Jahr 2003.....	84
Tabelle 38: Reduktionspotential mit einer EURO4- oder Elektromobilflotte für das Jahr 2003	85
Tabelle 39 : Wie schätzen Sie die Bedeutung der externen Kosten für die Verkehrs- und Umweltpolitik ein?.....	92
Tabelle 40: Wie beurteilen Sie die Effizienz und Wirksamkeit von Massnahmen im Zusammenhang mit externen Kosten?.....	92
Tabelle 41: Die Internalisierung der externen Kosten ist bis heute nur in wenigen Fällen realisiert worden. Welches sind Ihrer Meinung nach die wichtigsten Gründe dafür?	94
Tabelle 42: In welchen Bereichen sollte die Internalisierung der externen Kosten erfolgen?	97
Tabelle 43: Welches Instrument würden Sie zur Internalisierung der externen Kosten akzeptieren?	99
Tabelle 44: Schadenskosten der verkehrsbedingten Luftbelastung (Euro/t Schadstoff)	115

Kurzfassung

Problemstellung und Zielsetzung

Die räumliche Mobilität von Personen und Gütern gehört zu den grossen Errungenschaften der modernen Gesellschaft. Sie zählt aber auch zu den menschlichen Aktivitäten mit den höchsten Auswirkungen auf die Umwelt und ist der wichtigste anthropogene Einzelfaktor des Klimawandels. Die verkehrsbedingten Emissionen belasten zudem die Gesundheit breiter Bevölkerungsteile und richten Schäden an Gebäuden und Ökosystemen an. Die Reduktion der negativen Auswirkungen des Verkehrs stellt ein schwieriges politisches Problem und eine enorme gesellschaftliche Herausforderung dar.

Verschiedene ökonomische Studien liefern einen Eindruck der Grössenordnung der Kosten, die der Schweizer Bevölkerung aus den Schäden, die der Verkehr verursacht, entstehen. Aktuellste Analysen gehen von jährlichen Kosten von rund 5 Mrd. CHF aus, die alleine dem Strassen- und Schienenverkehr zuzurechnen sind. Die wichtigsten Bereiche betreffen Gesundheitskosten durch Lärm- und Luftbelastung, Unfallkosten, Gebäude- und Ökosystemschäden. Nicht inbegriffen in diesem Betrag sind mögliche Klimaschäden und ungedeckte Infrastrukturkosten. Diese Kosten werden nicht von den Verursachern getragen und daher als externe Kosten bezeichnet. Aufgrund der volkswirtschaftlichen Bedeutung der externen Kosten des Verkehrs, sind Massnahmen zur Verringerung der Belastung von Menschen und Umwelt ökonomisch sinnvoll und gesellschaftlich erwünscht. Seit Jahren wird aus wohlfahrtsökonomischen Überlegungen eine Internalisierung dieser externen Kosten gefordert, um den Verkehr und die Umweltbelastungen auf ein volkswirtschaftlich optimales Niveau zurückzuführen

Die Förderung von effizienten oder alternativen Antriebstechnologien ist eine weitere Möglichkeit, die Umweltbelastungen durch den Verkehr zu vermindern. Diese Massnahme hat ein hohes Potenzial, die negativen Auswirkungen des Verkehrs zu reduzieren, weil sie bestehende Mobilitätsmuster und –gewohnheiten nicht in Frage stellt. In Mendrisio läuft in diesem Zusammenhang seit Mitte 1995 ein Pilot- und Demonstrationsprojekt (VEL1) zur Förderung und Erprobung der Alltagstauglichkeit von Leichtelektromobilen. Dieses Projekt wurde im Jahr 2001 in zweifacher Weise als Förderprogramm erweitert: Es umfasst nun auch effiziente Fahrzeuge mit weniger als 120g CO₂-Emissionen/km und wurde auf das ganze Kantonsgebiet ausgedehnt.

Verschiedene technische, gesellschaftliche und mobilitätsbezogene Aspekte dieses Förderprogramms sind eingehend erforscht worden. Die vorliegende Studie hat die externen Kosten des motorisierten Individualverkehrs und deren Reduktionsmöglichkeiten mit effizienten Fahrzeugen, Elektromobilen und –scootern zum Gegenstand. Sie kombiniert fahrzeugspezifische Emissionsberechnungen mit externen Kostenansätzen in einem Bottom-up-Ansatz. Das Projekt verfolgt im Wesentlichen drei Ziele:

- 1) Beschreibung des Konzeptes der externen Kosten, Darstellung der wissenschaftlichen Grundlagen und Methoden zur quantitativen Bestimmung der Emissionen und deren Monetarisierung sowie Bestimmung der aktuellsten Kostenansätze, Aufzeigen der Grenzen und Unsicherheiten dieses Konzeptes.
- 2) Bestimmung und Vergleich der externen Kosten verschiedener Fahrzeugkategorien aufgrund ihrer Emissionskonzepte (EURO1, 2, 3, 4), CO₂-Emissionsgrenzwerten und Antriebsarten (Benzin-, Diesel- und Elektromotoren) zur Abschätzung der Reduktionsmöglichkeiten von externen Kosten dank der Förderung von effizienten Fahrzeugen und Elektromobilen.
- 3) Beschreibung der politischen Debatte zum Thema der externen Kosten und deren Internalisierung mit verschiedenen Interessenvertretern aus dem Kanton Tessin.

Erfassung und Bewertung der externen Kosten

Das Konzept der externen Kosten ist in der ökonomischen Literatur keineswegs neu. Externe Kosten treten dort auf, wo die Folgen von Handlungen anderen Individuen Schaden zufügen, ohne dass sie dafür vom Verursacher entschädigt würden. Das Auftreten von externen Kosten führt zu Marktversagen. Mit der Internalisierung der externen Kosten, d.h. wenn die Verkehrsteilnehmer diese Kosten zu tragen hätten/ übernehmen müssten, würden die Preissignale korrigiert und der Markt würde für eine volkswirtschaftlich optimale Verkehrsmenge sorgen. Die plausible Forderung nach Internalisierung führt in der Praxis zu grossen Problemen und ist bis heute nur in wenigen Fällen umgesetzt worden.

Diese Studie beschränkt sich auf die externen Kosten, die in den Bereichen in denen sich die Auswirkungen der verschiedenen Fahrzeugkategorien auf Gesundheit, Umwelt und externe Kosten unterscheiden, Diese Bereiche machen rund 45% der gesamten externen Kosten des Verkehrs aus. Nicht berücksichtigt werden insbesondere die Unfall- und Staukosten sowie die Infrastrukturkosten. Weiter berücksichtigt die Untersuchung nur die externen Kosten, die

während des Betriebs entstehen. Die Studie klammert auch die externen Kosten des Schwerverkehrs aus, die insbesondere im Gesundheitsbereich durch den hohen Anteil an Feinstaubemissionen ins Gewicht fallen.

Das Projekt zeigt die neusten wissenschaftlichen Grundlagen und Methoden zur Berechnung der externen Kosten auf. In diesem Zusammenhang wird auf die Unsicherheiten bei der Bestimmung der externen Schäden und deren Monetarisierung hingewiesen. Die Bandbreite der externen Kostenansätze für die verschiedenen Schadstoffe ist gross. Insbesondere variieren die Kostenansätze für die CO₂-Emissionen. Da es keine spezifischen Kostenangaben für die einzelnen Schadstoffe für die Schweiz und das Tessin gibt, mussten plausible Kostenansätze übernommen werden.

Bewertung der externen Kosten

Die Berechnung der externen Kosten für die einzelnen Fahrzeugkategorien beruht auf einem Bottom-up-Ansatz. Dieser Ansatz geht von einer differenzierten Betrachtung der Emissionen des Fahrzeugbestandes aus. Um diese Emissionen zu ermitteln, werden die Fahrleistungen unter vereinfachenden Annahmen zum Fahrverhalten aus dem Mikrozensus berechnet. Diese Fahrleistungen werden anschliessend mit den Emissionsfaktoren hochgerechnet, woraus sich die Emissionen für die einzelnen Fahrzeugkategorien und Schadstoffe ergeben. Anhand der gewählten Kostenansätze je emittierter Schadstoffeinheit, welche nach dem Strassenkategorien und der Exposition der Bevölkerung differenziert werden, können die externen Kosten geschätzt werden.

Die folgende Tabelle zeigt die externen Kosten für die einzelnen Fahrzeugkategorien pro Fahrzeugkilometer. Während für die lärmbedingten Kosten ein einheitlicher Ansatz aus Top-Down-Analysen gewählt werden musste, ergeben sich für die Luft- und Klimabereiche für die einzelnen Fahrzeugkategorien grosse Unterschiede.

Tabelle K1: Kilometer – und fahrzeugbezogene externe Kosten in Rp/Fzkm

Fahrzeugtyp	Konventionell (EURO1,2,3)		Effizient (EURO4)		Effizient (VEL2)		Elektromobil
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	
Luft	0.88	2.75	0.59	1.36	0.59	1.36	0.45
Lärm	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	0
Klima	0.69	0.63	0.65	0.58	0.30	0.27	0
Total	2.61	4.42	2.28	2.98	1.93	2.67	0.45

Quelle: Berechnungen IRE

Elektromobile verursachen gemäss dem gewählten Ansatz die geringsten externen Kosten. Dieselfahrzeuge weisen für alle Kategorien die höchsten Werte auf, was ausschliesslich auf die Feinstaubemissionen zurückzuführen ist. Diese Emissionen können mit Filtern um bis zu 99% reduziert werden, womit die externen Kosten von Dieselfahrzeugen praktisch die Höhe der Kosten von Benzinfahrzeugen der gleichen Kategorie erreichen. Die folgende Tabelle enthält die gesamten externen Kosten für die untersuchten Bereiche.

Tabelle K2: Externe Kosten für die Fahrleistungen im Jahre 2003 im Kanton Tessin nach verschiedenen Fahrzeugkategorien (in 1'000 CHF)

Fahrzeugtyp	Konventionell (EURO1,2,3)		Effizient (EURO4)		Effizient (VEL2)		Elektromobil
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	
Fahrleist. Mio km	1'929	289	224	44	8.1	7.6	2
Externe Kosten der Umweltbereiche (in 1'000 CHF)							
Luft	16'900	8'000	1'300	610	50	100	9
Lärm	20'100	3'000	2'300	470	85	80	0
Klima	13'300	1'800	1'500	260	25	20	0
Total	50'300	12'800	5'100	1'340	160	200	9

Quelle: Berechnungen IRE (gerundete Beträge)

Im Jahre 2003 beliefen sich die externen Kosten des motorisierten Individualverkehrs im Kanton Tessin auf rund 74 Mio. CHF (inklusive Motorräder). Wird für die Schätzung der Klimakosten der obere Kostenansatz gewählt, betragen diese Kosten 118 Mio. CHF.

Das Ziel der Studie bestand jedoch darin, die externen Kosten zu bestimmen, die dank den Fördermitteln und den Aktivitäten im Rahmen von VEL2 gespart werden konnten. Die Höhe dieses Betrages hängt insbesondere von den Annahmen über die Fahrleistungen und Substitutionswirkungen der im VEL2 geförderten zwei- und vierrädrigen Fahrzeuge ab. Der Reduktionsansatz geht von verschiedenen Substitutionen aus und gibt die entsprechende Differenz zwischen den externen Kostenansätzen wieder. Hätten beispielsweise alle im Tessin zirkulierenden Elektromobile konventionelle Dieselfahrzeuge ersetzt, so wären im Jahr 2003 rund 85'000 CHF externer Kosten eingespart worden.

Tabelle K3: Eingesparte externe Kosten anhand der Substitution von konventionellen Fahrzeugen durch effiziente Fahrzeuge und Elektromobile im Tessin im Jahre 2003

Substitution	Fahrzeugkategorie				
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Motorräder
von					
durch	Elektromobile		Effizient (VEL2)		Elektro-scooter
Reduktionseffekt (in Rp./Fzkm)	2.16	3.97	0.68	1.75	4
Fahrleistung/ Jahr (in Mio. km)	2.12	2.12	8.1	7.6	0.75
Reduktion in CHF 2003	45'600	84'400	55'000	134'000	30'000

Quelle: Berechnungen IRE (gerundete Beträge)

Die Substitutionswirkung von effizienten Fahrzeugen und Elektromobilen wurde für einen Teil der Fahrzeugflotte eingehend untersucht. Zur Bestimmung der Gesamtwirkung gehen wir von der optimistischen Annahme aus, dass die Elektromobile zu gleichen Teilen benzin- und dieseltreibene Fahrzeuge ersetzt haben und die Substitution bei den effizienten Fahrzeugen jeweils innerhalb der gleichen Treibstoffkategorie erfolgte, während Elektroscooter konventionelle Motorräder ersetzen. Daraus ergibt sich eine Reduktion der externen Kosten von rund

284'000 CHF für das Jahr 2003. Eine Hochrechnung auf die gesamte Lebensdauer von rund acht Jahren ergibt ein langfristige Sparwirkung der im Jahre 2003 immatrikulierten effizienten Fahrzeuge und Elektromobile von rund 680'000 CHF. Das entspricht 70% der im selben Jahr investierten Fördermittel. Dieser Betrag würde weniger als die Hälfte betragen, wären die minimalen oder tiefsten Kostenansätze für externe Kosten verwendet worden. In diesem Zusammenhang ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass die Zweckmässigkeit der Förderung von effizienten Fahrzeugen nicht alleine an den eingesparten externen Kosten gemessen werden kann. Das Förderprogramm verfolgte erstens umfangreichere Ziele eines gesellschaftlichen Innovations- und Lernprozesses in einem sehr schwierigen Bereich. Zweitens setzt sich die Wirkung des Förderprogramms auch nach dessen Ende fort.

Stakeholderanalyse

Die Bedeutung der externen Kosten in der politischen Umwelt- und Verkehrsdebatte sowie die Möglichkeit einer Fortsetzung des Förderprogramms VEL2 auf der Grundlage einer modifizierten Motorfahrzeugsteuer ist im letzten Teil der Studie untersucht worden. Die befragten Interessensvertreter von Verkehrs- und Umweltverbänden im Tessin waren sich bezüglich der Bedeutung der externen Kosten einig. Dagegen wird die Internalisierung der externen Kosten nicht von allen Interessensvertretern gleichermassen akzeptiert und befürwortet. Dieser Befund entspricht durchaus der Polarisierung der öffentlichen Meinung, welche in Umfragen und Abstimmungsergebnissen in den letzten Jahren zum Ausdruck kam.

Schlussfolgerungen

In der politischen Verkehrs- und Umweltdebatte wird die Forderung einer Internalisierung immer wieder mit den sehr hohen externen Kosten begründet. Die vorliegende Studie stellt das Konzept der externen Kosten eingehend dar und weist auf die Grenzen und Unsicherheiten hin, die sich aus wissenschaftlichen und methodischen Gründen ergeben. Der gewählte Ansatz zur schadstoffspezifischen Bewertung der externen Kosten für verschiedene Fahrzeugkategorien hat zu neuartigen Ergebnissen geführt:

- Erstens lassen sich damit die effektiv vermiedenen externen Kosten dank den Förderprogrammen VEL1 und VEL2 im Kanton Tessin im Jahre 2003 bestimmen. Die Höhe dieses Betrages hängt jedoch stark von verschiedenen Annahmen und insbesondere von den gewählten Kostenansätzen ab. Das Spektrum ist für die klimarelevanten CO₂-Emissionen besonders gross.

- Zweitens erzielen die im Jahre 2003 immatrikulierten zwei- und vierrädrigen effizienten Fahrzeuge und Elektromobile während ihrer Lebensdauer von rund acht Jahren eine Einsparung externer Kosten von 6800'000 CHF, welche 70% der 2003 investierten Fördermittel entsprechen.
- Drittens können die Reduktionsmöglichkeiten der externen Kosten durch Substitution der verschiedenen Emissionskonzepte und Antriebsarten festgelegt werden.
- Viertens zeigt die Studie die Bedeutung einzelner Schadstoffe hinsichtlich ihrer Wirkungen auf die Gesundheit und Umwelt.
- Fünftens kann mit dieser Studie die Bedeutung von gesetzlichen Vorschriften und Grenzwerten und den durch sie ausgelösten technischen Verbesserungen im Bereich der Antriebstechnologien unterstrichen werden. Der Übergang zu EURO 4 verstärkt die seit 1980 eingeleitete Tendenz einer starken Reduktion der Schadstoffemissionen. In eine ganz andere Richtung weist dagegen der Energieverbrauch und die damit verbundenen CO₂-Emissionen, die sich immer mehr als zentrales Problemfeld erweisen.
- Sechstens erweisen sich die Einführung von Grenzwerten auf Feinstaubemissionen aus der Dieselerbrennung sowie griffige Massnahmen zur Reduktion der CO₂-Emissionen, für welche die Energieetikette kaum reichen dürfte, als eine immer dringlichere politische Notwendigkeit.
- Siebtens zeigt die Studie, dass Instrumente zur Förderung von effizienten Fahrzeugen verschiedene Kriterien berücksichtigen sollten. Eine Förderung von Dieselfahrzeugen zur Reduktion der CO₂-Emissionen ist sehr problematisch, wenn sie nicht mit Grenzwerten für Feinstaub verknüpft wird.

Abstract

Problem setting and scope of the study

In modern societies spatial mobility of persons and goods has gained an undeniable importance. It also is one of the human activities with the highest effects on the environment and the most important single factor of anthropogenetic climate change. The emissions caused by traffic also affect human health and buildings and ecosystems get badly damaged. Reducing negative traffic impacts is a difficult political task as well as tremendous social challenge.

Different economic analyses give a rough idea of the extent of economic costs as due to traffic which ensue for the population of Switzerland. Recent studies assert annual costs of about 5 billions CHF a year caused by terrestrial traffic on road and rail alone. The most important fields regard health costs caused by airborne emissions and noise, by accidents and damages on buildings and ecosystems. This account however does not include either the consequences of putative climate changes or infrastructure costs. In fact all these costs are not covered by those who caused them and they are therefore called external costs. For years welfare economists have been pleading for the application of the “polluter pays principle” or internalization of external costs, in order to reduce traffic volume and environmental impact on a socially optimal level.

The promoting of efficient and alternative engines is a further option for the reduction of environmental impact caused by traffic. These measures have a considerable reducing potential with respect to negative traffic impacts, because they do not interfere with habits and mobility patterns. In mid 1995 a pilot and demonstration project (VEL1) was started in Mendrisio, whose scope was to promote and test electrical light weight vehicles in everyday traffic conditions. In 2001 this project was expanded in two directions; hence including efficient vehicles with less than 120g of CO₂-emissions per kilometre as well and being extended over the whole region of the Canton Ticino (VEL2).

Several technical, social and mobility-related aspects of this programme have been investigated in detail, so far. The present study is focused on the external costs of motorized individual mobility and the possibilities of reducing them by efficient vehicles, electrical vehicles and electrical scooters. The project aims at a threefold goal:

- 1) Presenting the basic concept of external costs, by showing the scientific foundations and methods for quantifying the emissions and defining the monetary values on the basis of the latest cost assessments. Indicating the limits and uncertainties related to the concept of external effects and costs.
- 2) Determining and comparing the external costs as related to different vehicle categories according to their emission concept (EURO 1, 2, 3, 4), CO₂-emission limits and their engine system (gasoline, diesel or electrical) in order to estimate the possibilities of reducing the external costs by promoting efficient vehicles and electrical vehicles.
- 3) Description of the political debate on external costs discussing their internalization with different stakeholders in the Canton Ticino.

Comprehending and estimating external costs

The concept of external costs is not new in the economic literature. External costs arise whenever consequences of actions affect other individuals, whereas no compensation is offered. The emergence of external effects leads to market failures. The internalization of external effects would help to correct wrong price signals and lead the market process to an optimal level of traffic volume and environmental impacts. The sensible request claiming application of the polluter pays principle leads to difficulties as soon as it is to be implemented.

The study is limited to those fields in which the impact of the different vehicle categories on health and environment is significant, accounting for about 45% of the overall external costs of traffic. Other external effects such as accidents, congestion and infrastructure costs are excluded. Moreover the analysis is exclusively limited to external costs caused by driving, whereas impacts from freight vehicles, which have a particularly high impact on health due to particle emissions, are ignored as well.

The project illustrates the latest scientific results and methods for the assessment of external costs. However, in this context most emphasis is given to the uncertainties linked to the determination of external impacts and their monetary values. The range of different cost assessments for different pollutants is very wide. The variation of the CO₂-emission impact assessment is particularly impressive. Since no specific cost assessments are available for single pollutants in Switzerland and the Ticino region, we had to select plausible cost estimations from international studies.

Data base and external costs

The assessment of external costs for single vehicle categories is based on a bottom-up approach. This approach starts by a detailed analysis of the vehicle fleet. With the help of some simplifying assumptions on the mobility behaviour the traffic volume can be estimated. Together with the emission factors this traffic volume makes it possible to calculate the overall emissions for every single vehicle category and pollutant. By assessing the costs for each emitted ton of pollutant at hand, which is being differentiated by the place of the pollution and the exposed population, we are able to estimate the detailed external costs.

The following table displays the external costs for the various vehicle categories per vehicle kilometre. While the external costs of noise had to be based on a uniform price derived from top-down-analyses, the differences in the unit external costs of airborne and climate effects between the various vehicle categories are huge.

Table A1: Kilometre – und vehicle related external costs in Cts/Vkm

Vehicle type	Conventional (EURO1,2,3)		Efficient (EURO4)		Efficient (VEL2)		Electro -vehicle
	Gasoline	Diesel	Gasoline	Diesel	Gasoline	Diesel	
Air	0.88	2.75	0.59	1.36	0.59	1.36	0.45
Noise	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	0
Climate	0.69	0.63	0.65	0.58	0.30	0.27	0
Total	2.61	4.42	2.28	2.98	1.93	2.67	0.45

Source: Elaboration IRE

According to the assessment approach chosen electric vehicles cause the lowest external costs, while diesel driven vehicles cause the highest external costs, a fact that must be related to particle emissions. Filters are able to eliminate up to 99%, reducing external costs in proportion and thus achieving more or less the external costs of gasoline engines of the same vehicle category. The following table contains the overall external costs in 2003 for the Ticino region.

Table A2: Overall external costs in 2003 in the Ticino region with respect to different vehicle categories (in 1000 CHF)

Vehicle type	Conventional (EURO 1,2,3)		Efficient (EURO4)		Efficient (VEL2)		Electro -vehicle
	Gasoline	Diesel	Gasoline	Diesel	Gasoline	Diesel	
Traffic volume Mio km	1'929	289	224	44	8.1	7.6	2
External costs (in 1'000 CHF)							
Air	16'900	8'000	1'300	610	50	100	9
Noise	20'100	3'000	2'300	470	85	80	0
Climate	13'300	1'800	1'500	260	25	20	0
Total	50'300	12'800	5'100	1'340	160	200	9

Source: Elaboration IRE

In 2003 individual road traffic caused overall external costs - referring only to air, noise and climate - of about 74 Mio. CHF (including motorcycles). If the high cost limit for climate change impacts is taken into account the external costs rise to about 118 Mio. CHF.

However, the main goal of the study was the assessment of external costs, which could be saved owing to the financial promotion and activities in the realm of the VEL2 project. The amount of these savings depends in particular on the different assumptions regarding vehicle performance and substitution effects by the VEL2 project itself. The reduction is given by different substitutions expressed in the differences between the assessments of the various external costs of each vehicle category. If, for example, all circulating electrical vehicles had replaced conventional diesel engine vehicles the external costs saved would have accounted to about 85'000 CHF in 2003.

Table A3: External costs saved in Ticino by the substitution of conventional vehicles (EURO1, 2, 3) by efficient or electrical vehicles in 2003

Substitution	Vehicle category				
	Gasoline	Diesel	Motoscooter	Gasoline	Diesel
of					
by	Electromobile		Electro-scooter	Efficient (VEL2)	
Reduction effect (in Rp./Vkm)	2.16	3.97	4	0.68	1.75
Vehicle km/ annum (in Mio. km)	2.12	2.12	0.75	8.1	7.6
Savings in CHF 2003	45'600	84'400	30'000	55'000	134'000

Source: Elaboration IRE

The real substitution effects of efficient vehicles or electrical vehicles have been analysed for a sample of the VEL2 vehicle fleet. The assessment of the overall effect, however, is based on a slightly more optimistic hypothesis, assuming that the electrical vehicles replaced conventional gasoline and diesel driven vehicles in equal proportions. Furthermore, it has been assumed that electrical scooters replaced conventional motorcycles. The savings that can be derived from these assumptions account for roughly 284'000 CHF in 2003. The overall saving effect of about 680'000 CHF, achieved by the efficient and electro-vehicles matriculated in 2003 during the period of about 8 years, corresponds quite exactly to 70% of the investment in the promotion of these vehicles in the 2003. Using the lowest external costs would reduce this amount to less than its half. In this respect we must underline, that the utility of promoting efficient vehicles cannot be measured exclusively by the external costs saved, since the scope of the whole promotional programme VEL2 was, first of all, much more comprehensive and intended to foster a social innovation and learning process in a very difficult field. Secondly, the effects of the programme will last even after the promotion programme will come to an end in 2005.

Stakeholderanalysis

The significance of external costs in the traffic and environmental policy debate as well as the possibilities of continuing VEL2 on the basis of a modified vehicle tax are being discussed in the last part of the study with a number of local stakeholders, representing traffic and environmental pressure groups and the cantonal administration. The different stakeholders generally agreed on the significance of the external effects of road traffic. However some of them proved reluctant with regard to internalizing these external costs. The divergence in the stakeholders' opinions is in accordance with the polarization of popular opinion as shown by various votes and opinion polls during the last 5 – 10 years.

Conclusions

In the traffic and environmental policy debate the regular request that external costs should be internalized is substantiated again and again by the consistently high amount of these costs. In the present study the concept of external costs has been illustrated in detail and the limits and uncertainties stemming from scientific and methodological reasons have been signaled. The approach used, which is capable of assessing external impacts and costs for each pollutant and vehicle category has produced novel results:

- First, it was possible to assess what amounts of external costs the programmes VEL1 and VEL2 helped avoid in the canton Ticino in the year 2003. However, the amount saved depends to a large extent on the various assumptions and the cost assessments selected for each pollutant. The range of these costs per unit of pollutant is particularly wide regarding the CO₂-emissions responsible for global climate change.
- Second, the fleet of efficient and electro-vehicles matriculated in 2003 saves during 8 years in circulation about 680'000 CHF of external costs. This amount corresponds approximately 70% of the investment in promoting these vehicles in 2003.
- Third, the potential of external costs reductions can be defined for different emission concepts as well as engine types.
- Fourth, the study indicates the significance of single pollutants with respect to their impact on health and environment.
- Fifth, the significance of legal emission limits and of the impact of the induced technical innovations is emphasized by the different results. The transition to EURO 4 vehicles underlines the consistent tendency to strongly reduce polluting emissions since

1980. However, this tendency does not apply to either energy consumption or CO₂-emissions which increasingly evolve into central problem of traffic pollution.

- Sixth, the political necessity of introducing legal emission limits for particle emissions contained in the outburst of diesel engines as well as efficient measures to tackle growing CO₂-emissions emerge. These CO₂-emissions are becoming the crucial issue in the whole debate and it is unlikely that the measures linked to the energy-efficiency-label (Energieetikette) are sufficient in this respect.
- Seventh, the study indicates that each promotional programme aiming at the reduction of environmental impacts should take different criteria into account. Thus simply promoting diesel engines in order to reduce CO₂-emissions for the sake of reducing the risk of climate change proves to be rather dangerous as the promotion is not yet related to the introduction of particle emission limits.

Riassunto

Quadro della problematica e obiettivi

La mobilità spaziale di persone e merci ha assunto, nelle società moderne, un'importanza innegabile. Essa rappresenta, allo stesso tempo, una delle attività umane con il maggior impatto ambientale e il fattore antropogenico più importante del cambiamento climatico. Le emissioni provenienti dal traffico provocano danni ingenti alla salute, agli edifici e agli ecosistemi. La riduzione degli impatti negativi del traffico costituisce un difficile problema politico e una sfida sociale enorme.

Diversi studi economici forniscono un'idea dell'ordine di grandezza dei costi esterni provocati dal traffico alla popolazione svizzera. Secondo recenti analisi questi costi ammontano a circa CHF 5 Mrd., causati unicamente dal traffico terrestre su strada e rotaia. Gli ambiti studiati evidenziano i costi per la salute provocati dai rumori e dall'aria inquinata, i costi degli incidenti e danni agli edifici e agli ecosistemi. Non sono inclusi in questo elenco i cambiamenti climatici e i costi infrastrutturali. I costi sopra enumerati non sono assunti da chi li causa e sono definiti per questo motivo costi esterni. Da anni si richiede, secondo i principi dell'economia del benessere, un'internalizzazione di questi costi, per riportare i volumi di traffico e dell'inquinamento a un livello considerato socialmente ottimale.

La promozione di sistemi di propulsione efficienti o alternativi costituisce un'opzione supplementare per ridurre gli impatti del traffico. Questa misura ha un potenziale notevole per ridurre l'inquinamento perché non deve mettere in questione abitudini e forme di mobilità. A Mendrisio è in corso dal 1995 un progetto pilota e di dimostrazione (VEL1) per la promozione e l'uso di veicoli elettrici leggeri, in condizioni quotidiane di traffico. Questo progetto è stato trasformato nel 2001 in VEL2, includendo nella promozione anche veicoli energeticamente efficienti con meno di 120gr di emissioni di CO₂ per chilometro ed estendendo il progetto a tutto il territorio del cantone.

Diversi aspetti tecnici, sociali e di mobilità di questo progetto di promozione sono stati indagati approfonditamente. Questo studio invece è focalizzato sui costi esterni del traffico motorizzato individuale e sulle possibilità di ridurli con veicoli efficienti o elettrici e elettro-scooter, combinando calcoli sulle emissioni per singoli veicoli con valutazioni di costi esterni in un approccio bottom-up. Il progetto persegue tre scopi principali:

- 1) descrizione del concetto dei costi esterni, delle sue basi scientifiche e dei metodi per la quantificazione delle emissioni e della loro monetizzazione secondo gli approcci più recenti. Messa in evidenza dei limiti e delle incertezze legati ai costi esterni.
- 2) determinazione e comparazione dei costi esterni causati da diversi tipi di veicolo, in base alle loro categorie di emissione (EURO 1, 2, 3, 4), al limite d'emissione di CO₂ e al tipo di sistema di propulsione (motore a benzina, diesel o elettricità), per la stima delle possibilità di riduzione dei costi esterni grazie alla promozione di veicoli efficienti o elettrici.
- 3) descrizione del dibattito politico con diversi rappresentanti di gruppi d'interesse nel Cantone Ticino sul tema dei costi esterni e sulla loro internalizzazione.

Rilevamento e valutazione dei costi esterni

Il concetto dei costi esterni non è assolutamente nuovo nella letteratura economica. I costi esterni si creano, quando le conseguenze di attività recano danni ad altri individui senza essere risarciti da chi li causa. La presenza di costi esterni comporta anche il fallimento del meccanismo di mercato. L'attribuzione dei costi esterni agli automobilisti (internalizzazione) correggerebbe i segnali di prezzo della mobilità e il mercato ridurrebbe il volume di traffico ad un livello ottimale dal punto di vista sociale. La richiesta legittima d'internalizzazione pone grossi problemi a livello pratico ed sono questi ad averne frenato l'implementazione, salvo in alcuni rari casi.

Questo studio si limita a quegli ambiti, nei quali gli impatti rispetto alla salute, all'ambiente e ai costi esterni si differenziano a seconda delle diverse categorie di veicoli, che corrispondono a circa 45% dei costi esterni generati dal traffico. I costi per gli incidenti, la congestione e le infrastrutture non sono invece computati in questo studio. Inoltre l'analisi prende in considerazione unicamente i costi causati durante la fase di circolazione. Non fanno neanche parte di questo studio i costi esterni che provengono dal traffico pesante e che incidono in modo particolare sulla salute per l'emissione delle polveri fini.

Il progetto illustra le basi scientifiche più recenti e i metodi per la determinazione dei costi esterni. In questo contesto vengono sottolineate le incertezze legate ai procedimenti per la quantificazione degli effetti esterni e dei loro costi. Lo spettro dei costi esterni delle diverse sostanze nocive (emissioni) è conseguentemente molto ampio. Ma di fatto non esistono, per la

Svizzera e tanto meno per il Ticino, indicazioni specifiche per le singole sostanze emesse. Per questo motivo, per avere indicazioni plausibili sui costi esterni, si è dovuto ricorrere a studi internazionali.

Base dati e costi esterni

Il calcolo dei costi esterni per le singole categorie di veicoli si fonda su un approccio bottom-up. Questo approccio inizia con una determinazione differenziata del parco veicolo privato. Su questa base sono stati calcolati - attraverso una serie di assunzioni semplificatorie del comportamento ricavate dal microcensimento 2000 - le percorrenze e il volume di traffico. Questi dati, unitamente ai fattori d'emissione, permettono di stabilire le emissioni causate dal traffico privato sulle strade del Ticino per le singole categorie di veicoli e le sostanze emesse. A partire da questi risultati possono essere stimati i costi esterni differenziati per luogo d'emissione e per esposizione della popolazione ad ogni sostanza.

La tabella seguente indica i costi esterni per le diverse categorie di veicoli, riferiti a un chilometro di percorrenza. Solamente per i costi esterni causati dai rumori si è dovuto ricorrere ad un costo unitario ricavato da studi effettuati con approcci top-down, mentre per gli ambiti dell'aria e del clima i costi delle singole categorie si differenziano molto.

Tabella R1: Costi esterni in Cts/Fzkm per chilometro e tipo di veicolo

Tipo di veicolo	Convenzionale (EURO1,2,3)		Efficiente (EURO4)		Efficiente (VEL2)		Veicolo -elettrico
	Benzina	Diesel	Benzina	Diesel	Benzina	Diesel	
Aria	0.88	2.75	0.59	1.36	0.59	1.36	0.45
Rumore	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	0
Clima	0.69	0.63	0.65	0.58	0.30	0.27	0
Totale	2.61	4.42	2.28	2.98	1.93	2.67	0.45

Fonte: Elaborazioni IRE

Secondo l'approccio scelto, i veicoli elettrici creano i minori costi esterni, mentre per i veicoli a motore diesel si registrano i valori più alti, fatto dovuto essenzialmente dalle emissioni delle

polveri fini. Queste emissioni possono essere ridotte del 99% con appositi filtri, con i quali i costi esterni dei veicoli diesel raggiungono i livelli di quelli a benzina nelle rispettive categorie. La tabella seguente esprime i costi esterni totali provocati negli ambiti analizzati.

Tabella R2: Costi esterni per il traffico privato nel 2003 nel Canton Ticino secondo le diverse categorie di veicoli (in 1'000 CHF)

Tipo di veicolo	Convenzionale (EURO 1,2,3)		Efficiente (EURO4)		Efficiente (VEL2)		Veicolo -elettrico
	Benzina	Diesel	Benzina		Benzina	Diesel	
Prestazione in Mio. km	1'929	289	224	44	8.1	7.6	2
Costi esterni per i vari ambiti (1'000 CHF)							
Aria	16'900	8'000	1'300	610	50	100	9
Rumore	20'100	3'000	2'300	470	85	80	0
Clima	13'300	1'800	1'500	260	25	20	0
Total	50'300	12'800	5'100	1'340	160	200	9

Fonte: Elaborazioni IRE

Nel 2003 nel Canton Ticino i costi esterni per il traffico individuale motorizzato ammontavano a circa 74 Mio. CHF (incluso motociclette). Scegliendo il limite superiore dei costi rispetto alle conseguenze sul clima, quest'importo sale a 118 Mio. CHF.

L'obiettivo di quest'analisi consiste, tuttavia, nella determinazione dei costi esterni risparmiati grazie ai mezzi di promozione e alle attività nell'ambito di VEL2. Questa somma dipende molto dalle varie ipotesi sulle prestazioni dei veicoli e dall'effetto di sostituzione dei veicoli, a due o quattro ruote, promossi da VEL2. La riduzione deriva da varie possibilità di sostituzione tra veicoli ed è indicata dalle differenze per i costi esterni tra le singole categorie di veicoli. Supponendo, per esempio, che tutti i veicoli elettrici in circolazione in Ticino nel 2003 avessero sostituito veicoli diesel convenzionali (EURO 1, 2, o 3) si sarebbero evitati costi esterni per circa 85'000 CHF.

Tabella R3: Costi esterni evitati in Ticino in 2003 alla sostituzione di veicoli convenzionali (EURO1, 2, 3) con veicoli efficienti ed elettrici

Sostituzione	Categoria di veicolo				
	di	Benzina	Diesel	Moto	Benzina
con	Veicoli elettrici		Scooter elettrico	Efficiente (VEL2)	
Effetto di riduzione (in Cts./vkm)	2.15	3.98	4	0.37	1.75
Prestazione/ anno (in Mio km)	2.12	2.12	0.75	8.1	7.6
Totale in CHF 2003	45'600	84'200	30'000	30'100	134'300

Fonte: Elaborazioni IRE

L'effetto di sostituzione di veicoli efficienti ed elettrici è stato analizzato in dettaglio per una parte della flotta attuale. Per il calcolo globale di questo effetto si è supposto, ottimisticamente, che i veicoli elettrici abbiano sostituito in parti uguali veicoli a benzina e diesel e che la sostituzione con veicoli efficienti si sia verificata all'interno dello stesso di tipo di propulsione. Gli scooter elettrici avrebbero sostituito solamente motociclette convenzionali. Da questa sostituzione risulta una riduzione dei costi esterni di circa 284'000 CHF per l'anno 2003. Se si considera, invece, l'effetto a lungo termine dei veicoli efficienti ed elettrici, immatricolati nel 2003, per la durata della loro vita di circa 8 anni, i costi esterni risparmiati ammontano a 680'000 CHF, cifra che corrisponde al 70% dell'investimento effettuato per la loro promozione nel 2003. L'utilizzazione dei valori minimi per il calcolo dei costi esterni dimezzerebbe praticamente questa somma. In questo contesto è doveroso, tuttavia, ricordare che l'utilità (opportunità) della promozione di veicoli efficienti non può essere unicamente misurata in base ai costi esterni risparmiati e ricondotta ad un confronto costi - benefici. Il programma di promozione ha degli obiettivi più ampi: esso mira all'avviamento di un processo di apprendimento ed innovazione sociale in un ambito molto difficile; inoltre gli effetti di questo programma dureranno nel tempo, comportando ulteriori vantaggi.

Stakeholderanalisi

Nell'ultima parte di questo studio esaminiamo l'importanza dei costi esterni nel dibattito politico sull'ambiente e la mobilità e la possibilità di proseguire il programma promozionale VEL2, sulla base di una nuova imposta di circolazione, sono state discusse con vari rappresentanti di gruppi d'interesse in Ticino. I rappresentanti (stakeholders) di gruppi ambientali, di traffico e dell'amministrazione hanno riconosciuto e sottolineato l'importanza del problema dei costi esterni, ma non hanno accettato e sostenuto nello stesso modo l'idea di un'internalizzazione dei costi esterni. Questo corrisponde alla forte polarizzazione dell'opinione pubblica, emersa negli ultimi anni dai risultati dei sondaggi e delle votazioni.

Conclusioni

L'esigenza di internalizzare i costi esterni viene regolarmente avanzata nei dibattiti politici sui problemi ambientali e di traffico, e giustificata con i costi esterni molto alti. Il presente studio ha illustrato il concetto dei costi esterni e indicato i limiti inerenti a questo concetto, derivanti da motivi scientifici e metodologici. L'approccio scelto per valutare i costi esterni per specifiche sostanze e varie categorie di veicoli ha fornito risultati originali:

- 1) i costi esterni effettivamente evitati grazie a VEL1 e VEL2 possono essere stimati per il Ticino nel 2003. L'ammontare di questi costi dipende, tuttavia, fortemente dalle varie ipotesi e in particolare dal costo per le emissioni di CO₂ rilevanti per il cambiamento climatico.
- 2) i veicoli efficienti o elettrici, a due o quattro ruote, immatricolati nel 2003 risparmiano, nel corso della loro vita di circolazione della durata di circa otto anni, costi esterni di 680'000 CHF, pari a 70% della somma investita per la promozione del VEL2 nel 2003.
- 3) le possibilità di ridurre i costi esterni con i vari concetti d'emissione e sistemi di propulsione possono essere calcolate.
- 4) lo studio indica in termini di costi l'incidenza sulla salute e sull'ambiente delle singole sostanze emesse.
- 5) i risultati ottenuti sottolineano l'importanza dei limiti imposti e delle norme legali, che hanno provocato un miglioramento tecnico notevole, aumentando l'efficienza dei motori. Il passaggio a EURO4 rinforza la tendenza, in atto dal 1980, ad una forte

riduzione delle emissioni nocive. Il consumo energetico e le emissioni di CO₂ vanno nella direzione opposta, rivelandosi sempre più come il problema centrale.

- 6) introdurre limiti per le emissioni di polveri fini, provocate dalla combustione del diesel, nonché misure efficaci per la riduzione delle emissioni di CO₂ - non sufficientemente garantita dall'introduzione dell'etichetta energetica - diventa sempre di più un'esigenza politica di primo ordine.
- 7) la promozione di veicoli efficienti dovrebbe secondo questo studio considerare diversi criteri. Una promozione di veicoli diesel, per il solo scopo di ridurre CO₂, è sicuramente problematica, finché non si combina con valori limiti per le emissioni di polveri fini.

Résumé

Problématique et objectifs

La mobilité spatiale des personnes et des marchandises a assumé une importance indéniable. Elle représente, en même temps, une des activités humaines à impact environnemental majeur et le facteur anthropogénétique plus essentiel du changement climatique. Les émissions provenant du trafic entraînent des dommages considérables à la santé, aux édifices et aux écosystèmes. Ainsi, la réduction des impacts négatifs du trafic constitue un problème politique ardu et un défi énorme pour la société.

Plusieurs études économiques fournissent une idée de l'envergure des coûts externes engendrés par le trafic que la population suisse doit assumer. Les analyses les plus récentes indiquent des chiffres de l'ordre de CHF 5 milliards, causés uniquement par le trafic de la route et du rail. Les domaines étudiés mettent en évidence les coûts pour la santé découlant du bruit et de l'air pollué, les coûts des accidents et les dégâts aux écosystèmes et aux édifices. Dans cette liste ne sont inclus ni les coûts causés par le changement climatique ni les coûts infrastructurels. Les coûts externes ne sont pas pris en charge par ceux qui les provoquent. La demande d'internaliser les coûts externes, selon les principes de l'économie du bien-être, est avancée depuis de longues années dans le but de réduire le trafic et la pollution à un niveau considéré optimal du point de vue social.

La promotion des systèmes de propulsion efficaces ou alternatifs constitue une option supplémentaire visant à réduire les impacts du trafic. Cette mesure détient un potentiel considérable quant à la réduction de la pollution puisqu'elle ne met en question ni les habitudes ni les formes de mobilité. À Mendrisio, en 1995, été initié un projet pilote et de démonstration (VEL1) pour la promotion et l'utilisation de véhicules électriques légers en situation de trafic quotidien. En 2001 l'approche de ce projet a été modifiée de deux manières, donnant lieu au projet VEL2, qui incluait dès lors la promotion des véhicules énergétiquement efficaces qui émettent moins de 120 gr de CO₂ par kilomètre et qui étendait le projet à l'ensemble du Canton du Tessin.

Divers aspects d'ordre technique, social et de mobilité de ce projet de promotion ont été analysés en profondeur. Cette étude par contre est focalisée sur les coûts externes du trafic motorisé individuel et la possibilité de les réduire moyennant véhicules efficaces (essence ou diesel) ainsi que véhicules et scooters électriques. Elle met en relation des calculs des émissions

des différentes catégories de véhicules avec des estimations des coûts externes dans une approche bottom-up. Le projet vise trois objectifs principaux:

- 1) Décrire le concept des coûts externes, ses bases scientifiques et les méthodes servant à quantifier les émissions et à les monétiser selon les approches les plus récentes. Mettre en évidence les limites et incertitudes liées à ce concept.
- 2) Déterminer et comparer les coûts externes engendrés par les différents types de véhicules, sur la base de leur catégorie d'émission (EURO1, 2, 3, 4), de leurs émissions limite de CO₂ et de leur système de propulsion (moteur à essence, diesel ou électrique), permettant d'estimer les possibilités de réduction des coûts externes grâce à la promotion de véhicules efficaces ou électriques.
- 3) Décrire le débat politique sur le thème des coûts externes et leur internalisation, qui impliquait les représentants de divers groupes d'intérêts tessinois.

Percevoir et évaluer les coûts externes

Le concept des coûts externes est un fait reconnu dans la littérature économique. On parle de coûts externes lorsque certaines activités nuisent à des individus qui en subissent les conséquences sans être indemnisés bien qu'ils n'y aient pas participé. Par ailleurs, la présence des coûts externes provoque une défaillance du marché. L'attribution des coûts externes aux automobilistes (internalisation) corrigerait les signaux faussés du prix de la mobilité et le marché parviendrait à réduire le de trafic jusqu' au niveau optimal du point de vue de la société. Toutefois, la revendication légitime d'internalisation se heurte à de grands problèmes au niveau pratique et ceux-ci freinent sa mise en œuvre, sauf dans de rares exceptions.

La présente étude se limite aux domaines, dans lesquels les multiples impacts sur la santé, l'environnement et les coûts externes se différencient selon les diverses catégories de véhicules, ce qui correspondent à 45% des coûts externes du trafic. Les coûts des accidents, de la congestion et de l'infrastructure ne sont pas considérés dans cette étude. De plus l'analyse ne comprend que les coûts engendrés pendant la circulation des véhicules. Les coûts provenant des poids lourds, qui ont pourtant une incidence importante sur la santé par les émissions des particules fines, sont également exclus de ces considérations.

Le projet illustre les bases scientifiques les plus récentes et des méthodes qui permettent le calcul des coûts externes. Dans ce contexte les incertitudes liées aux procédures servant à quantifier les effets externes et leurs coûts sont mises en évidence. La gamme des coûts externes

causés par les substances nocives (émissions) est en conséquence très large. Mais comme il n'existe pas pour la Suisse et encore moins pour le Tessin d'indications spécifiques concernant les diverses substances nocives émises, il a fallu faire recours, pour obtenir des chiffres plausibles, à des études internationales.

Les données et les coûts externes

Le calcul des coûts externes causés par les différentes catégories de véhicules se base sur une approche bottom-up. Cette approche commence par déterminer du parc des véhicules privés. Sur cette base les distances parcourues et le volume du trafic ont été calculés moyennant des conjectures simplificatrices sur le comportement des conducteurs élaborées avec les données du mirco-recensement 2000. Les données ainsi obtenues permettent d'établir les émissions engendrées par le trafic privé sur les routes tessinoises pour chaque catégorie de véhicule et de substances nocives. A partir de ces résultats, les coûts externes peuvent être estimés en différenciant les lieux d'émission, l'exposition de la population et les substances émises.

Le tableau suivant indique les coûts externes par kilomètre parcouru pour les diverses catégories de véhicules. Tandis qu'il a fallu pour les coûts externes dus au bruit, appliquer un coût unitaire selon les approches top-down. Les coûts dans les autres domaines de l'air et du climat varient fortement suivant les véhicules.

Tableau R1: Coût externe en Cts/km par kilomètre et type de véhicule

Type de véhicule	Conventionnel (EURO1,2,3)		Efficient (EURO4)		Efficient (VEL2)		Véhicule -électrique
	Essence	Diesel	Essence	Diesel	Essence	Diesel	
Air	0.88	2.75	0.59	1.36	0.59	1.36	0.45
Bruit	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	0
Climat	0.69	0.63	0.65	0.58	0.30	0.27	0
Total	2.61	4.42	2.28	2.98	1.93	2.67	0.45

Source: Elaboration IRE

Conformément à l'approche adoptée, ce sont véhicules électriques qui causent coûts externes les moins élevés, tandis que les véhicules à moteur diesel produisent les valeurs les plus élevées, ce qui est dû essentiellement aux particules fines. Une réduction de 99% de ces émissions s'obtient moyennant des filtres ce qui permet aux véhicules diesel de rejoindre les coûts externes des voitures à essence des mêmes catégories. Le tableau suivant regroupe la totalité des coûts externes des différents domaines analysés.

Tableau R2: Coûts externes causés par le trafic privé au Canton du Tessin en 2003 selon les diverses catégories de véhicules. (en 1'000 CHF)

Type de véhicule	Conventionnel (EURO1,2,3)		Efficient (EURO4)		Efficient (VEL2)		Véhicule électrique
	Essence	Diesel	Essence	Diesel	Essence	Diesel	
Performance en millions km	1'929	289	224	44	8.1	7.6	2
Coûts externes par domaines (1'000 CHF)							
Air	16'900	8'000	1'300	610	50	100	9
Bruit	20'100	3'000	2'300	470	85	80	0
Climat	13'300	1'800	1'500	260	25	20	0
Total	50'300	12'800	5'100	1'340	160	200	9

Source: Elaboration IRE

En 2003, dans le Canton du Tessin les coûts externes du trafic individuel motorisé ont atteint environ 74 millions de CHF (motos et motocyclettes incluses). Or, ces coûts s'élèvent à 118 millions de CHF si on prend en compte pour le climat le taux supérieur des coûts externes.

Cependant, le but de cette analyse consistait, surtout, à déterminer les coûts externes évités moyennant la promotion et les activités dans le cadre de VEL2. Ce montant dépend en particulier des hypothèses concernant la performance et les effets de substitution des véhicules à deux ou quatre roues promus par VEL2. Le degré de la réduction dérive des diverses possibilités de substitution et reproduit la différence correspondant entre les catégories de

véhicules. Si, par exemple, tous les véhicules électriques circulant au Tessin en 2003 avaient substitué des véhicules à diesel conventionnels (EURO 1, 2, 3), ces véhicules auraient pu éviter des coûts externes de 85'000 CHF.

Tableau R3: Coûts externes évités au Tessin en 2003 grâce à la substitution des véhicules conventionnels (EURO 1, 2, 3) par des véhicules efficients ou électriques.

Substitution	Catégorie de véhicule				
	de	Essence	Diesel	Moto	Essence
par	Véhicule électrique		Scooter électrique	Véhicule VEL2	
Effets de réduction (en Cts./vkm)	2.15	3.98	4	0.37	1.75
Performance/ année (en millions km)	2.12	2.12	0.75	8.1	7.6
Total en CHF 2003	45'600	84'200	30'000	30'100	134'300

Source: Elaboration IRE

L'effet de substitution des véhicules efficients ou électriques a été analysé en détail pour une partie du parc actuel. Pour le calcul global de cet effet nous avons présumé de manière optimiste que les véhicules électriques aurait substitué à part égale des véhicules à essence et à diesel et que la substitution des véhicules efficients se serait effectuée moyennant un même type de propulsion tandis que les scooters électriques auraient substitué uniquement des motos et motocyclettes conventionnelles. Il en découle de cette substitution une diminution des coûts externes d'environ 284'000 CHF pour l'année 2003. Si, par contre, l'on considère l'effet d'épargne à long terme obtenu par les véhicules efficients ou électriques immatriculés en 2003 pendant leur durée de vie approximative de 8 ans, les coûts externes économisés rejoignent la somme de 680'000 CHF, ce qui correspond à 70% de l'investissement effectué pour leur promotion en 2003. Dans ce contexte il est indispensable de souligner que l'opportunité d'une telle promotion de véhicules efficients ne saurait être jugée uniquement mesurée sur la base des coûts externes évités et ainsi reconduite à une confrontation des coûts - bénéfices. Il s'agit plutôt

de tenir compte d'une part des objectifs ambitieux du programme de promotion qui vise surtout à un processus d'apprentissage et d'innovation sociale dans un contexte très difficile, et d'autre part du fait que les effets de ce programme perdureront dans le temps et comporteront des avantages ultérieurs considérables

Analyse des stakeholders

Dans la dernière partie de cette étude nous avons examiné en commun avec des représentants de groupes d'intérêts tessinois l'importance des coûts externes dans le débat politique sur l'environnement et la mobilité ainsi que la possibilité de continuer le programme VEL2 à base d'un nouvel impôt sur la circulation. Les représentants (stakeholders) des groupes écologiques, de trafic et de l'administration ont reconnu et soutenu à l'unanimité l'importance du problème des coûts externes, tandis que l'idée d'une internalisation des coûts externes n'a pas obtenu l'approbation de tous. Ce qui correspond à la polarisation de l'opinion publique, telle qu'elle s'est manifestée ces dernières années dans les sondages et votations.

Conclusions

Dans tout débat politique traitant des problèmes écologiques et du trafic, l'internalisation des coûts externes est assidument réclamée, cette revendication se trouvant justifiée par l'importance des dits coûts. La présente étude a illustré en détail le concept des coûts externes et ses limites, dû à des motifs scientifiques et méthodologiques. L'approche adoptée pour évaluer les coûts externes engendrés par des substances nocives spécifiques et diverses catégories de véhicules a fourni des résultats inédits:

- 1) Elle permet d'estimer les coûts externes effectivement évités en 2003 grâce à VEL1 et VEL2 dans le Canton du Tessin. Le montant de ces coûts évités dépend, toutefois, fortement de différentes hypothèses et en particulier les taux de coûts pour les émissions de CO₂ qui sont à la base du changement climatique.
- 2) Pendant de leur durée de vie d'environ 8 ans les véhicules efficients ou électriques, à deux ou quatre roues, immatriculés en 2003 évitent des coûts externes de 680'000 CHF, soit 70% du montant investi dans la promotion du VEL 2 en 2003.
- 3) Les possibilités de réduire les coûts externes moyennant la substitution des différents concepts d'émission et systèmes de propulsion peuvent être déterminées.

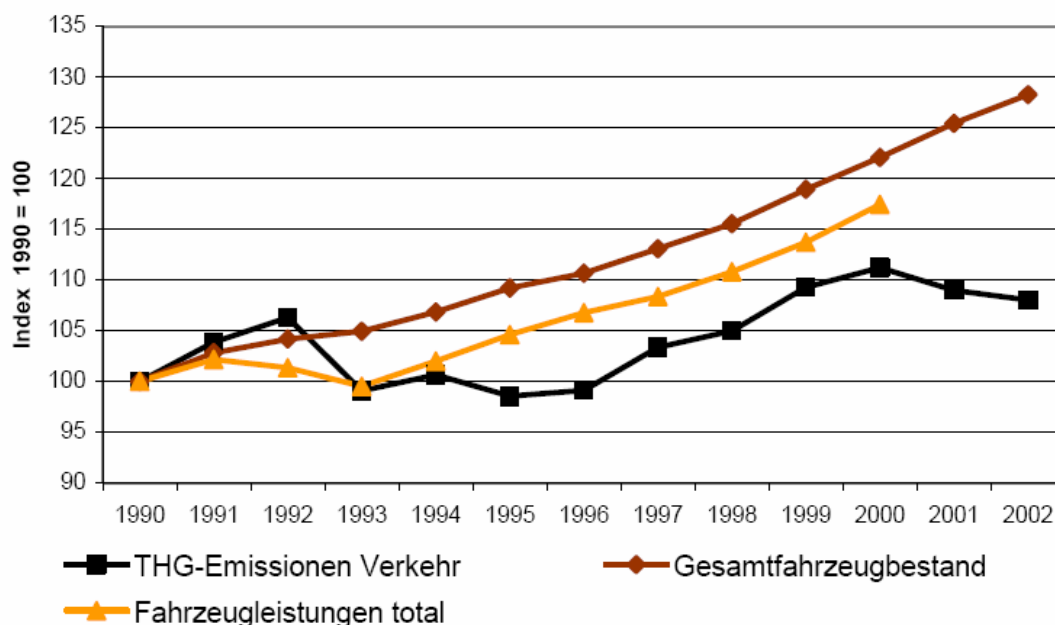
- 4) L'étude démontre en termes de coûts les impacts des diverses substances nocives sur la santé et l'environnement.
- 5) Les résultats obtenus soulignent l'importance des dispositions légales et des valeurs limite imposées qui contribue à une amélioration technique significative, en accroissant l'efficacité des moteurs. Le passage à la norme EURO 4 renforce la tendance, en progression depuis 1980, vers une réduction des émissions nocives tandis que la consommation de carburants et les émissions de CO₂ vont dans l'autre sens, se révélant dorénavant comme le problème central.
- 6) L'introduction de limites pour les émissions des poussières fines (particules) causées par la combustion du diesel ainsi que de mesures efficaces pour la réduction des émissions de CO₂ – que la seule introduction de l'étiquette énergétique ne saurait garantir de manière suffisante – devient une nécessité politique de première urgence ordre.
- 7) Dans la promotion des véhicules efficients il faudrait, selon cette étude, tenir compte divers critères. Une promotion de véhicules à diesel, dans le seul but de réduire les émissions de CO₂, paraît certes problématique, tant que cette promotion n'est pas liée à des valeurs limite pour les particules fines.

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Ohne die hohe räumliche Mobilität von Personen und Gütern wäre die heutige Gesellschaft völlig undenkbar und völlig funktionsunfähig. Diese Mobilität gehört jedoch auch zu den wichtigsten Faktoren der vom Menschen verursachten Umweltbelastungen. Diese Umweltbelastungen stellen eine gesellschaftliche und politische Herausforderung dar. Sie beeinträchtigen nicht nur das Wohlbefinden und die Gesundheit weiter Bevölkerungsteile, sondern richten auch Schäden an Gebäuden, Ökosystemen und dem Klima an. Die Abbildung 1 zeigt, dass das steigende Verkehrsaufkommen der letzten Jahre zu einem Anstieg der Treibhausgasemissionen (THG) führte. CO₂ und andere Treibhausgase sind für die vom Menschen verursachten, klimatischen Veränderungen auf der Erde verantwortlich. Trotz den seit 2000 stagnierenden CO₂-Emissionen ist es klar, dass die Schweiz die im Rahmen des Kyoto-Protokolls festgelegten Emissionsreduktionen bis 2010 nicht erreichen wird.

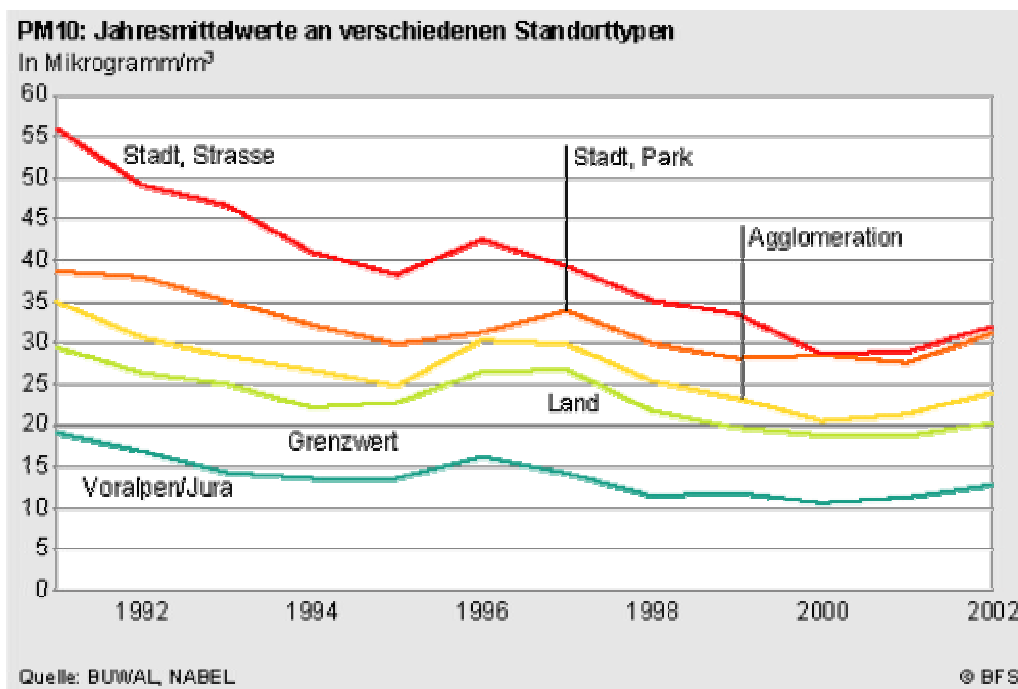
Abbildung 1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Verkehrssektor (inkl. nationaler Flugverkehr)



Quelle: Buwal

Neben dem klimarelevanten Schadstoff CO₂ ist Feinstaub (PM₁₀) ein ernstzunehmendes Problem. Diese Partikel mit einem Durchmesser von weniger als 10 Tausendstel-Millimeter können tief in die Lunge eindringen und führen so zu schwerwiegenden gesundheitlichen Auswirkungen. Die Konzentrationen von PM₁₀ haben in den letzten Jahren in der Schweiz zwar tendenziell abgenommen, trotzdem liegen vor allem in Städten, Agglomerationen und verkehrsnahen Gebieten die Jahresmittelwerte über den geltenden Grenzwerten von 20µg/m³ der Luftreinhalte-Verordnung (LRV). Auch der Tagesmittelwert von 50µg/m³, der einmal im Jahr überschritten werden darf, wird in vielen Städten wiederholt und zum Teil massiv überschritten. Die Feinstaubbelastung im Tessin ist zudem im Vergleich zur restlichen Schweiz bedeutend kritischer. (Buwal 2003)

Abbildung 2: Entwicklung der PM₁₀-Immissionen



Quelle: http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/raum_und_umwelt/umweltzustand_und/umweltbereich_e/kennzahlen0/atmosphaere/pm10_immissionen.html

Wenn die Belastung mit Stickstoffdioxid (NO₂) betrachtet wird, so waren im Jahr 2000 16% der Bevölkerung NO₂-Konzentrationen ausgesetzt, die über dem Grenzwert von 30µg/m³ im

Jahresmittel lagen. Es wird erwartet, dass dieser Anteil bis zum Jahr 2010 auf etwa 5% sinken wird.¹

Die Luftbelastung gefährdet nicht nur die Gesundheit. Auch an Ökosystemen und Gebäuden entstehen bedeutende Schäden. Gemäss dem Umweltbericht 2002 des BFS² können die Ernteauffälle in der Schweiz wegen Ozon je nach Anbauregion zwischen 5 und 15% liegen. Auch das Ökosystem Wald wird durch die Luftbelastung und die damit verbundenen Ablagerungen auf vielfältige Weise negativ beeinflusst. So stören z.B. übermässige Säure- und Stickstoffeinträge in die Waldböden das natürliche Gleichgewicht und stellen mittelfristig ein erhebliches Risiko dar. Dies kommt einer Schwächung der Erholungs- und Schutzfunktion der Wälder gleich. Die Luftbelastung führt ausserdem zur Degeneration von Bausubstanz durch die Ablagerung von Säuren (Stickstoffdioxid und Schwefeldioxid).

Verkehr verursacht neben erheblicher Luftbelastung viel Lärm. Die Lärmproblematik ist vor allem in Stadtzentren von Bedeutung, wo die Verkehrssituationen sehr lärmintensiv sein können und die Grenzwerte der Lärmschutzverordnung (LSV) überschritten werden³. Beinahe 60% der Schweizer Wohnbevölkerung in rund 1,75 Millionen Wohnungen (rund 57% des Wohnungsbestands) sind während des Tages einer Verkehrslärmbelastung von über 55 dB(A) ausgesetzt. Für über die Hälfte von ihnen wurde eine Belastung von über 60 dB(A) gemessen. In der Nacht sind gegen zwei Drittel der Bevölkerung Lärmbelastungswerten von mehr als 45 dB(A) ausgesetzt. Der Anteil der Bevölkerung, der gemäss eigenen Angaben im eigenen Wohnraum durch Industrie- und Verkehrslärm gestört ist, beträgt im Durchschnitt 31%. Am stärksten gestört ist die Bevölkerung des Kantons Zürich mit einem Anteil von rund 41%, der Kanton Tessin folgt auf dem vierten Platz mit einem Anteil von fast 34%.⁴

Einen Eindruck der Grössenordnung der volkswirtschaftlichen Kosten, die der Schweizer Bevölkerung aus dem Verkehr entstehen, vermitteln aktuelle Untersuchungen⁵ zu den verkehrsbedingten externen Gesundheits- und Lärmkosten. Diese Kosten werden auf jährlich

¹ http://www.obsan.ch/monitoring/statistiken/4_1_1/2000/d/411.pdf

² http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/fachgebiet/d/UB_BFS_Luft.pdf (4.4.2005)

³ Die Lärmschutzverordnung (LSV), basierend auf dem Umweltschutzgesetz (UGS), setzt die Immissionsgrenzwerte des Strassenverkehrs in Wohnzonen bei 60 dB am Tag und 50 dB während der Nacht fest. Bei diesen Werten wird nach dem Stand der Wissenschaft angenommen, dass das Wohlbefinden der Bevölkerung nicht erheblich gestört ist.

⁴ http://www.obsan.ch/monitoring/statistiken/4_2_30/2002/d/4230.pdf

⁵ ARE (2004a); ARE (2004b).

über 1.4 Milliarden Franken⁶ geschätzt, wobei in dieser Zahl nur die Kosten berücksichtigt sind, welche vom Privatverkehr auf der Strasse verursacht werden. Andere Untersuchungen kommen auf etwas tiefere Werte. Die UNITE-Studie (Suter et al. 2002) beziffert die externen Kosten des privaten Strassenverkehrs in den Bereichen Luftverschmutzung und Lärm auf rund 0.9 Milliarden Franken (595 Mio €).⁷ Diese Zahlen umfassen nur einen Teil der volkswirtschaftlichen Kosten, die durch den motorisierten Individualverkehr jährlich verursacht werden. Hohe externe Kosten entstehen insbesondere durch die externen Unfallkosten und die Kosten der Klimaveränderung.⁸ Aufgrund der volkswirtschaftlichen Bedeutung der externen Kosten des Verkehrs, sind Massnahmen zur Verringerung der Belastung von Menschen und Umwelt ökonomisch sinnvoll und gesellschaftlich erwünscht.

Eine erfolgreiche und kostenminimierende Politik der Verminderung der Umweltbelastung muss verschiedene Instrumente und Massnahmen evaluieren und diese in einem optimalen Policy-Mix vereinen. Eine der Massnahmen, die evaluiert werden muss, ist die Förderung von effizienten und/oder elektrischen Fahrzeugen. Dieser Bericht soll hierzu einen Beitrag leisten, indem die Reduktionsmöglichkeiten der externen Kosten durch verschiedene Fahrzeugkategorien aufgezeigt werden.

Innovationen im Bereich der Antriebstechnik und alternative Antriebssysteme stellen eine interessante Option zum traditionellen Verbrennungsmotor dar. Sie erlauben, relativ kurzfristig eine beträchtliche Reduktion der Umweltbelastungen und Folgeschäden zu erreichen, ohne dass grundlegende Gewohnheiten im Bereich der individuellen Mobilität aufgegeben werden müssen. Das Ausmass der Reduktion hängt jedoch wesentlich von der Verbreitung dieser alternativen Antriebsformen ab. Innovative Technologien setzen sich trotz deren unbestreitbarer Überlegenheit bezüglich der Umweltverträglichkeit nicht einfach gegen weniger umweltfreundliche Technologien durch. Neue Technologien brauchen in vielen Fällen besondere Unterstützung oder Förderung, bis sie sich auf dem Markt durchsetzen können. Eine solche

⁶ Angaben für das Jahr 2000. Die Auswirkungen der Luftverschmutzung auf die Gesundheit betragen rund 870 Mio. CHF, die externen Lärmkosten (Mietzinsausfälle und Gesundheitsschäden) rund 550 Mio. CHF jährlich.

⁷ Angaben für das Jahr 1998. Die Kosten der Luftverschmutzung, die durch den privaten Strassenverkehr verursacht werden, belaufen sich auf 332 Mio. € (in etwa 500 Mio. CHF). Die entsprechenden externen Lärmkosten betragen 263 Mio. € (in etwa 394 Mio. CHF).

⁸ Einen Gesamtüberblick über die externen Kosten für die Schweiz findet man beispielsweise in INFRAS, ECONCEPT, Prognos (1996).

Unterstützung wird im Rahmen der Pilot- und Förderprojekte VEL1 und VEL2 im Tessin erbracht.

1.2 Das VEL1 - und VEL2 - Projekt

Die Steigerung der Energieeffizienz und die Förderung erneuerbarer Energien sind wichtige energiepolitische Zielsetzungen des Bundes. Die Förderung von Leicht-Elektromobilen (LEM) war eine Massnahme in diesem Bestreben. Das Pilot- und Demonstrationsprojekt VEL1 (1995 – 2001) entstand aus dem Bedürfnis heraus, verschiedene Aspekte des Einsatzes von Leicht-Elektromobilen (Veicoli Elettrici Leggeri – VEL1) zu analysieren und deren Alltagstauglichkeit im Verkehr zu untersuchen. Das Bundesamt für Energie (BfE) hat Mendrisio 1994 zur Versuchsregion für die Förderung des Kaufs von Leicht-Elektromobilen (LEM) durch finanzielle Anreize von bis zu 60% des Verkaufspreises gewählt. Am Ende dieses Grossversuches sollten 350 LEM in Mendrisio zirkulieren, was damals ca. 8% des Fahrzeugparks von Mendrisio und Umgebung entsprach. Nach den ursprünglichen Zielsetzungen hätte im Jahr 2010 der Personenwagenbestand in der Schweiz ebenfalls einen ähnlichen Anteil oder 200'000 LEM erreichen sollen. Aus verschiedenen Gründen ist man in der Zwischenzeit von dieser Zielsetzung abgekommen.

VEL2 stellt die Fortsetzung und Weiterentwicklung von VEL1 dar. Es erweitert den Grossversuch in zweifacher Weise: Erstens werden zusätzlich zu Elektromobilen effiziente Leichtfahrzeuge (Personen- und Lieferwagen) gefördert, die leichter als 3,5t sind und weniger als 120g/km CO₂ emittieren sowie die Abgasnormen EURO4 erfüllen. Zweitens wird das Projekt auf das ganze Kantonsgebiet ausgedehnt. Das Förderprogramm läuft seit Juli 2001 und besteht aus einem Netz von regionalen Informationsstellen, über welche das Marketing und die verschiedenen Aktivitäten zur Förderung der effizienten Fahrzeuge erfolgen. Das Projekt wurde von der reinen Unterstützung von Elektromobilen um die Förderung von verschiedenen Antriebstechnologien erweitert. Zusätzlich bietet VEL2 eine breite Palette von Aktivitäten zur um eine nachhaltigere Mobilität zu erreichen, was vor allem auf internationaler Ebene zu grosser Aufmerksamkeit geführt hat. Mit dem Abschluss von VEL 2 im laufenden Jahr werden die öffentlichen Fördermittel eingestellt und die Fortsetzung von VEL2 wird auf einer neuen Grundlage erfolgen müssen.

1.3 Ziel der Studie

Mit dem Förderprogramm VEL2 ist im Tessin ein umfangreicher Versuch im Gange, umweltfreundliche Technologien zu fördern und deren Tauglichkeit im Alltagsgebrauch unter Beweis zu stellen. Verschiedenste Aspekte dieses Versuchs sind eingehend studiert worden. Die vorliegende Studie hat die Bestimmung der externen Kosten des Verkehrs und deren Reduktionsmöglichkeiten mit effizienten Fahrzeugen, Elektromobilen und -scootern zum Gegenstand. Die Studie beschränkt sich auf den privaten Individualverkehr mit Personenwagen und Motorrädern. Zur Abschätzung der Reduktionsmöglichkeiten werden die externen Kosten der in Tabelle 1 dargestellten Fahrzeugkategorien einzeln berechnet.

Tabelle 1: Fahrzeugkategorien nach Emissionskonzepten und Antriebsart

Fahrzeugkategorie	Konventionell		Effizient		Effizient VEL2		Elektromobile	Motorräder Konventionell	Elektroscooter
Emissionskonzept	EURO ⁹ 1,2,3		EURO4		EURO4 CO ₂ < 120 g/km				
Antriebsart	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Elektrisch	Benzin	Elektrisch

Quelle: IRE

Mit dem Begriff „Effizient“ werden Fahrzeuge bezeichnet, welche die Emissionsnorm EURO4 erfüllen und somit eine bestimmte Umweltbelastung pro Kilometer nicht überschreiten. Diese Bezeichnung sagt noch wenig über die Energieeffizienz dieser Fahrzeuge aus. Nur Fahrzeuge der Kategorie „Effizient VEL2“ erfüllen sowohl die Normen von EURO4 als auch das Kriterium der Energieeffizienz, das auf weniger als 120g CO₂-Emissionen pro Kilometer festgelegt wurde.

⁹ EURO bezeichnet die europäischen Abgasvorschriften für leichte und schwere Motorwagen. Anhand von Schadstoffgrenzwerten, die sich mit steigender Ziffer verschärfen, teilt die Euro Norm die Fahrzeuge in verschiedene Fahrzeugkategorien ein. Die Grenzwerte für die verschiedenen Schadstoffe sind in den Abgasvorschriften gesetzlich festgehalten.

Die monetäre Quantifizierung der Reduktionsmöglichkeiten zeigt den volkswirtschaftlichen Nutzen auf, der aus einer Verringerung der Umweltbelastung entsteht. Aufgrund dieser Information kann die Zweckmässigkeit von staatlichen Fördermassnahmen für die Verbreitung von energie- und umwelteffizienten Fahrzeugen als Beitrag zur Verminderung der Umwelt- und Gesundheitsbelastungen abgeschätzt werden.

In Zusammenhang dieser Zielsetzung müssen folgende Fragen beantwortet werden:

- Welches sind die aktuellen wissenschaftlichen Grundlagen zur quantitativen Bestimmung der externen Kosten?
- Wie sind die wichtigsten Ansätze zur Quantifizierung der externen Kosten zu beurteilen, d.h. wo liegen deren Stärken und Schwächen?
- Welche Kostenansätze aus bestehenden empirischen Arbeiten lassen sich auf die Verkehrsverhältnisse und die Fahrzeugflotte im Tessin anwenden?
- Welcher Betrag an externen Kosten je gefahrenem Kilometer lässt sich mit einem effizienten oder Elektrofahrzeug einsparen?
- Welche Schlussfolgerungen lassen sich aus politischer Perspektive ableiten?
- Wo liegen die wichtigsten Hemmnisse für eine stärkere Verbreitung von effizienten und elektrischen Fahrzeugen? Wie könnten diese Hemmnisse abgebaut werden?
- Welche Bedeutung kommt dem Ansatz der Internalisierung der externen Kosten heute in der umwelt- und verkehrspolitischen Debatte zu? Wie lässt sich dieser Ansatz mit der Förderung von effizienten und Elektrofahrzeugen verknüpfen?
- Was sind die Empfehlungen hinsichtlich einer Förderung von effizienten Fahrzeugen? Und was sind die Empfehlungen hinsichtlich einer Förderung von elektrischen Fahrzeugen?

Diese Fragen werden im Rahmen der vorliegenden Arbeit angegangen. Dabei ist zu beachten, dass die Erkenntnisse, die aus dem Pilotprojekt VEL1 und dem Förderprogramm VEL2 gewonnen werden, jeweils von der Tessiner Realität geprägt sind, insbesondere was die Nutzung des Förderprogramms durch die Bevölkerung betrifft.

1.4 Annahmen der Studie

Der Studie liegen verschiedene Abgrenzungen, Annahmen und Vereinfachungen zu Grunde. Die wesentlichen werden im Folgenden erläutert:

Gegenstand der Untersuchung ist der Beitrag, den elektrische und effiziente Fahrzeuge zur Verringerung der Luft- und Lärmbelastung leisten können. Diese Abgrenzung ergibt sich aus dem Pilotprojekt VEL1 und dem Förderprogramm VEL2. Der Schwerverkehr, der in diesen Bereichen beträchtlich zu den externen Kosten des Verkehrs beiträgt, ist von der Analyse ausgeschlossen.

Der Beitrag der elektrischen und effizienten Fahrzeuge zur Vermeidung von externen Kosten wird mit den externen Kosten von konventionellen Fahrzeugen verglichen. Mit konventionellen Fahrzeugen sind Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren gemeint, welche die europäischen Abgasnormen bis und mit EURO3 erfüllen. Ab der Einhaltung der Abgasnorm EURO4 gehört ein Fahrzeug der Kategorie der (umwelt-) effizienten Fahrzeuge¹⁰ an. In der Analyse wird zwischen Benzin- und Dieselmotoren unterschieden, was insbesondere für die Emissionen von PM10 und CO₂ relevant ist.

Es werden nur jene Externalitäten und Umweltbereiche berücksichtigt, in denen die elektrischen und effizienten Fahrzeuge einen Beitrag zur Verminderung der Emissionen leisten können. Konkret sind dies die:

- durch Luftverschmutzung und Lärmbelastung verursachte Gesundheitsschäden,
- durch Luftverschmutzung bedingte Schäden an Ökosystemen und Gebäuden,
- Klimaschäden.

Zusätzlich werden die volkswirtschaftlichen Kosten der Lärmbelastung, die in Form von Mietzinsausfällen anfallen, quantifiziert.

Nicht betrachtet werden Verkehrsunfälle, Staukosten, Infrastrukturkosten und Kosten der Zersiedlung. Es wird davon ausgegangen, dass es in diesen Bereichen keine grundlegenden Unterschiede zwischen herkömmlichen, konventionellen und elektrisch betriebenen Fahrzeugen

¹⁰ VEL2 definiert energieeffiziente Fahrzeuge anhand des Kriteriums der CO₂-Emissionen. Als effizient gelten jene Fahrzeuge, die weniger als 120 g/km CO₂ ausstossen. Diese Definition ist nicht mit derjenigen der Energieetikette zu verwechseln.

gibt. Leider fehlt jedoch die Datengrundlage, diese Annahme abschliessend zu verifizieren.¹¹ Tabelle 2 gibt einen Überblick über die in der Studie untersuchten Bereiche. Weiter werden in dieser Studie ausschliesslich die externen Kosten des Betriebes des Fahrzeuges berücksichtigt. Der Herstellungsprozess, die Entsorgung sowie die externen Kosten für die Energiegewinnung und den Treibstofftransport gehören somit nicht zur Untersuchung.

Tabelle 2: In der Studie berücksichtigte externe Kosten

Fahrzeugtyp		Konventionelle Fahrzeuge (Benzin/Diesel)	Effiziente Fahrzeuge EURO4/VEL2	Elektromobile
Luftbelastung durch den Betrieb der Fahrzeuge	Gesundheitskosten	✓	✓	✓
	Gebäudeschäden	✓	✓	✓
	Ökosystemschäden	✓	✓	✓
Lärmkosten	Mietzinsausfälle	✓	✓	✓
	Gesundheitsschäden	✓	✓	✓
Klimakosten		✓	✓	✓

Quelle: CEPE

Die Bewertung der Lärmkosten durch Mietzinsausfälle und Gesundheitskosten kann potenziell zu Doppelzählungen führen. So wird die monetäre Bewertung der Schlaf- und Kommunikationsstörungen wahrscheinlich schon weitgehend über die Erfassung der Mietpreisreduktion bzw. des Mietzinsausfalls berücksichtigt. Eine zusätzliche Berücksichtigung als Gesundheitsbeeinträchtigungen würde zu einer Doppelzählung führen. Die aktuellste und detaillierteste Schweizer Studie (ARE, 2004b), die unseren Berechnungen zugrunde liegt, summiert die Mietzinsausfälle und Gesundheitsschäden trotzdem. Dies geschieht mit der Begründung, dass z.B. ischämische Herzkrankheiten, Angina Pectoris, oder bluthoch-

¹¹ Es wäre beispielsweise zu überprüfen, ob elektrische Fahrzeuge aufgrund der geringen Lärmbelastung häufiger in Verkehrsunfällen mit Fussgängern verwickelt sind.

druckbedingte Krankheiten, die der Allgemeinheit weniger bekannt sind und nicht in den Mietzinsausfällen erfasst sind, über die Gesundheitskosten bewertet werden müssen.

Die Kosten für vermeintliche Klimaschäden werden anhand der Vermeidungskosten geschätzt. Es gilt zu beachten, dass in diesem Bereich die Unsicherheiten sehr gross sind, was sich in der Bandbreite der Kostenansätze für CO₂-Emissionen ausdrückt.

Die Quantifizierung der externen Kosten erfolgt anhand bestehender Kostenansätze. Es gibt eine breite Literatur zum Thema der externen Kosten und es sind umfangreiche Arbeiten zur Quantifizierung der externen Kosten in der Schweiz durchgeführt worden.

Die Studie berechnet den Beitrag der elektrischen und effizienten Fahrzeuge zur Reduktion der Emissionen bzw. der externen Kosten. Dafür müssen Annahmen zu den Substitutionseffekten getroffen werden. In dieser Studie wird davon ausgegangen, dass die elektrischen und effizienten Fahrzeuge die konventionellen Fahrzeuge substituieren. Es werden keine Umsteigeeffekte von den öffentlichen Verkehrsmitteln und auch kein Mehrverkehr durch die Nutzung der elektrischen und effizienten Fahrzeuge erwartet.

1.5 Grenzen der Studie

Die vorliegende Untersuchung zu Reduktionsmöglichkeiten von externen Kosten durch den vermehrten Einsatz von effizienten und elektrischen Fahrzeugen stützt sich vorwiegend auf bestehende Studien ab. Eine Auswertung von Primärdaten zur Schätzung der externen Kosten hätte den zeitlichen und finanziellen Rahmen der Arbeit gesprengt. Dank den umfangreichen Studien und Materialien, die zum Thema der Erfassung und Bewertung der verkehrsbedingten externen Kosten vorliegen, kann eine Schätzung der Reduktionsmöglichkeiten auf der Grundlage von Sekundärdaten vorgenommen werden. Die vorliegenden Studien betrachten in erster Linie die externen Effekte und Kosten von konventionellen Fahrzeugen. Einen Vergleich der externen Kosten von konventionellen und elektrischen Fahrzeugen nehmen nur wenige Forschungsarbeiten vor. Die Untersuchung berücksichtigt nur Benzin-, Diesel- und Elektroantriebe während Biotreibstoffe und Hybridantrieb nicht speziell analysiert werden können, da keine Angaben zu deren externen Kosten bestehen. Es ist zudem zu beachten, dass eine Übernahme von Daten aus anderen Untersuchungen immer mit Unsicherheiten und Ungenauigkeiten behaftet ist.

Aber auch Studien, die auf Primärdaten beruhen, müssen sich mit diesen Schwierigkeiten auseinandersetzen: Diese beginnen mit der Datenlage und den Wirkungszusammenhängen. Die

Wirkungen dieser Emissionen auf Ökosysteme und Menschen sind teilweise umstritten und hängen von den jeweiligen Standortverhältnissen ab. Wenn die Schäden identifiziert sind, stellt sich die Frage nach ihrer Bewertung. Auch hierzu sind eine Vielzahl von Ansätzen entwickelt worden, wie die Bewertung vorgenommen werden kann. Alle diese Ansätze beruhen auf Annahmen und nehmen Vereinfachungen vor, um mit der komplexen Natur der Bewertung dieser Schäden fertig zu werden.

Die Schwierigkeiten und Ungenauigkeiten bei der Messung und Bewertung der externen Kosten übertragen sich auch auf die vorliegende Arbeit. Das darf allerdings nicht dazu verleiten, auf eine solche Bewertung vollständig zu verzichten. Der Verzicht auf eine Internalisierung kann teuer zu stehen kommen. Wenn die externen Kosten nicht internalisiert werden, werden die natürlichen Ressourcen übernutzt und es entstehen Schäden, die bedeutend höher zu stehen kommen als die Kosten bzw. Nutzeneinbussen, die durch Verhaltensanpassungen oder –änderungen entstehen. Es ist zu beachten, dass gewisse Schäden irreversibel sein können. Die in der vorliegenden Studie ausgewiesenen externen Kosten enthalten nicht alle vom privaten Strassenverkehr verursachten Kosten (siehe Abschnitt 4.3) und können daher nicht für eine umfassende Internalisierungsstrategie gebraucht werden. Die Resultate der Untersuchung werden nicht als Intervalle angegeben, sondern als punktuelle Schätzungen. Die monetären Beträge für die externen Kosten werden aufgerundet, um nicht den Eindruck einer vermeintlichen Genauigkeit vorzutäuschen. Denn die genannten Unsicherheiten und Schwierigkeiten lassen keine exakten Resultate zu.

1.6 Aufbau des Schlussberichtes

Nachdem die Ziele und Grenzen der vorliegenden Studie beschrieben wurden, wird im folgenden Kapitel 2 das ökonomische Konzept der externen Kosten präsentiert und aufgezeigt, in welchen Bereichen externe Kosten des Verkehrs anfallen. Anschliessend wird die Methodik für die Berechnung von externen Kosten in den verschiedenen Bereichen sowie die dabei bestehenden Unsicherheiten vorgestellt.

Kapitel 3 gibt einen Überblick über aktuelle Studien zu den externen Kosten des Verkehrs. Die Resultate verschiedener ausländischer und Schweizer Studien werden miteinander verglichen und diskutiert. Aufgrund dessen werden Kostenansätze angegeben, die für die externen Effekte des motorisierten Individualverkehrs im Tessin übernommen werden.

In Kapitel 4 werden die Datengrundlagen über das Verkehrsaufkommen im Kanton Tessin aufbereitet, woraus die Emissionen abgeleitet werden. Dabei wird zwischen den in Tabelle 1

erwähnten Fahrzeugkategorien, Emissionskonzepten und Treibstoffen differenziert. Mit den gewählten Kostenansätzen werden die externen Kosten für die verschiedenen Fahrzeuge. In Kapitel 5 werden daraus die Reduktionsmöglichkeiten mit energie- und umwelteffizienteren Fahrzeugen gegenüber konventionellen berechnet.

Abschliessend werden in Kapitel 6 die Ergebnisse der Stakeholderanalyse präsentiert. Dabei werden die verschiedenen Positionen in der politischen Debatte aufgezeigt und wie die Interessenvertreter die Internalisierung der externen Kosten mit verschiedenen politischen Massnahmen einschätzen.

2 Erfassung und Bewertung externer Kosten im Verkehr

2.1 Externe Kosten des Verkehrs

Es ist unbestritten, dass der motorisierte Individualverkehr sowohl Nutzen stiftet als auch Kosten verursacht. Er ermöglicht Mobilität und den Zugang zu verschiedenen Arbeitsmöglichkeiten sowie eine Grosszahl von Freizeit- und sozialen Aktivitäten. Auf der anderen Seite verursacht Verkehr Umweltbelastungen mit negativen Auswirkungen auf den Menschen und die Natur. Solche negativen Auswirkungen sind z.B. Luftverschmutzung, Klimaveränderungen, Lärmbelastung, Folgekosten von Unfällen. Während die Verkehrsteilnehmer einen grossen Anreiz haben, den Nutzen des Verkehrs zu internalisieren¹², sind die Umwelt- und Unfallfolgekosten zu einem Grossteil extern.¹³

Von externen Kosten oder negativen externen Effekten spricht man dann, wenn die Kosten einer Aktivität nicht von denjenigen getragen werden, die sie verursachen. Der einzelne Benutzer eines Fahrzeuges kommt z.B. nicht für die gesundheitlichen Schäden, die die verkehrsbedingten Luftschadstoffe verursachen, auf. Das bedeutet, dass er diese nicht in seine Entscheidung mit einbeziehen muss, das Auto zu gebrauchen oder nicht. Für ihn sind nur die internen Kosten wie Benzinkosten, Versicherungskosten und sonstige Aufwendungen sowie Zeitkosten relevant.

Aus der ökonomischen Perspektive wird jedes Individuum so viel mit dem Auto fahren, wie die Kosten, die durch den letzten gefahrenen Kilometer entstehen, durch den Nutzen dieses letzten Kilometers gedeckt werden. Unter der Annahme, dass sich jedes Individuum so verhält, führt dies zu einem volkswirtschaftlich optimalen Verkehrsaufkommen.

Die verkehrsbedingten Umweltprobleme entstehen dadurch, dass das Individuum nur für einen Teil der Kosten des Fahrzeuggebrauchs selber aufkommt und die externen Kosten auf die Allgemeinheit überwälzen kann. Das bedeutet, dass die Kosten, die es für seine Entscheidungen berücksichtigt, zu tief sind. Das führt zu einem höheren Verkehrsaufkommen als volkswirtschaftlich optimal.

¹² Zu diesem Schluss kommt eine Nationalfondsstudie (Maggi et al. 2000). Die Autoren dieser Studie argumentieren, dass der externe Nutzen, d.h. nicht den Verkehrsteilnehmern direkt zufallender Nutzen, beispielsweise Schmerzverminderung bei Angehörigen durch die Rettung von Menschenleben mit einem Ambulanztransport, äusserst gering ist.

¹³ Es gilt zu beachten, dass bei der Bestimmung der externen Kosten in der Regel von einer Marginalbetrachtung ausgegangen wird. Das heisst, die letzten produzierten oder konsumierten Einheiten sind massgeblich.

Eine etwas formale Definition von externen Kosten lautet folgendermassen:

Externe Kosten treten da auf, wo die Konsumententscheidungen eines Individuums einen negativen Einfluss auf den Nutzen eines anderen Individuums haben, ohne dass die betroffene Partei eine Kompensation vom Verursacher der negativen Externalität erhält.

Die Gesellschaft steht also vor dem Dilemma, dass eine nutzenbringende Aktivität ungedeckte, volkswirtschaftliche Kosten verursacht. Wäre das Ziel eine Vermeidung jeglicher verkehrsbedingter Umweltbelastung, müsste dieser eingestellt werden¹⁴, womit auch der Nutzen des Verkehrs entfiel. Das Problem besteht demnach darin, diejenige Menge an Verkehrsaufkommen zu bestimmen, bei der die (Grenz-) Kosten¹⁵ der Umweltbelastung den (Grenz-) Nutzen des Verkehrs nicht übersteigen.

Treten auf einem Markt externe Kosten auf, dann treffen Individuen ihre Entscheidungen betreffend Konsum von Gütern oder Dienstleistungen aufgrund unvollständiger oder falscher Preissignale. Man spricht in solchen Situationen von Marktversagen. Durch die Internalisierung der externen Kosten, d.h. wenn die ungedeckten Umwelt- und sonstigen Kosten den Verkehrsteilnehmern angelastet würden, wäre das Preissignal korrigiert. So würde sich auf dem Markt eine volkswirtschaftlich optimale Verkehrsmenge einstellen.

Damit der Markt wieder optimal funktionieren kann, muss der Staat eingreifen. Er kann z.B. eine Steuer in Höhe der Externalität einführen, damit der Preis alle Kosten widerspiegelt. Er kann aber auch Gebote und Verbote in Form von Grenzwerten einführen. Oder er kann umweltfreundliche Technologien wie z.B. effizientere Fahrzeuge oder Elektromobile subventionieren, damit sie sich auf dem Markt durchsetzen können. Damit der Staat mit der Umsetzung solcher Massnahmen das volkswirtschaftlich optimale Mass an Emissionen erreichen kann, sind Schätzungen der Höhe der externen Kosten notwendig.

¹⁴ Diese Lösung wäre volkswirtschaftlich ebenfalls suboptimal.

¹⁵ Damit sind die Kosten bzw. der Nutzen der letzten konsumierten oder produzierten Einheit gemeint.

2.2 Bereiche verkehrsbedingter externer Kosten

Wichtige externe Effekte des Individualverkehrs fallen als Luftverschmutzung, Lärmbelastung, Klimawandel, Verkehrsunfälle, Staukosten und Infrastrukturkosten an. Der vermehrte Gebrauch von effizienteren Fahrzeugen und Elektromobilen anstelle herkömmlicher Transportmittel könnte in diesen Bereichen die externen Kosten des Verkehrs verringern. Das Ausmass der Reduktionsmöglichkeiten ist für die einzelnen Bereiche unterschiedlich:

Luftbelastung: Der Verkehr stösst einen grossen Teil an Luftschadstoffen aus und ist demzufolge mitverantwortlich für erhebliche gesundheitliche Probleme und frühzeitige Todesfälle in der Bevölkerung, sowie für Schäden an Gebäuden und Ökosystemen (Waldschäden und verminderte landwirtschaftliche Erträge). In diesem Bereich sind durch den Einsatz von effizienten und elektrischen Fahrzeugen grosse Reduktionsmöglichkeiten vorhanden.

Lärmbelastung: Verkehrslärm ist nicht nur sehr störend und führt zu vermindertem Wohlbefinden, er kann auch erhebliche gesundheitliche und psychische Schäden hervorrufen wie Gehörschäden, kardiovaskuläre Krankheiten, Schlafstörungen, verminderte Leistungsfähigkeit usw. Elektrische Fahrzeuge zeichnen sich durch niedrige Fahrgeräusche aus und tragen damit zu einer Verringerung der Lärmbelastung bei.

Klima: Steigende Treibhausgasemissionen, hauptsächlich verursacht durch den Verkehr, bedrohen das globale Erdklima. Die negativen Auswirkungen eines sich ändernden Klimas sind vielfältig und betreffen unter anderem die menschliche Gesundheit, das Leben in Küstenregionen, die Landwirtschaft. Die Auswirkungen von Treibhausgasen auf das Klima stellen eine wichtige Kostenkomponente dar. Es gilt allerdings zu beachten, dass in diesem Bereich grosse Unsicherheiten bezüglich der Dimension der Veränderungen und der Folgeschäden bestehen (siehe z.B. Lombard und Molocchi 1999).

In dieser Studie werden die Bereiche Unfälle, Staukosten und die ungedeckten Infrastrukturkosten nicht berücksichtigt, da für eine quantitative Beurteilung die geeigneten Datengrundlagen für die einzelnen Fahrzeugkategorien fehlen.

Verkehrsunfälle: Die externen Unfallkosten sind jene Kosten, die weder durch Versicherungsleistungen gedeckt, noch vom Unfallverursacher getragen werden. Ein bewussteres Mobilitätsverhalten von Elektromobilbesitzern könnte sich in einer Reduktion der Unfälle niederschlagen. Der deutlich geringere Lärmpegel von Elektromobilen könnte jedoch auch zu einer Erhöhung der Unfallhäufigkeit führen.

Staukosten: Staukosten sind insofern externe Kosten, als ab einer gewissen Fahrzeugdichte ein zusätzlicher Fahrzeuglenker den Strassenverkehr verlangsamt und damit Stau verursacht.

Ungedeckte Infrastrukturkosten: Die Nutzung des Verkehrsnetzes ist mit Kosten verbunden, die nur teilweise durch die Verkehrsteilnehmer gedeckt sind.

Kosten der Beeinträchtigung der Landschaft und des Stadtbildes: Der Verkehr beansprucht grosse Flächen. Dadurch wird der Boden versiegelt und geht als natürlicher Lebensraum verloren. Transitstrassen mitten in städtischen Gebieten beeinträchtigen das Stadtbild und zerschneiden Quartiere. Zusammenfassend werden folgende verkehrsbedingten externen Kosten analysiert:

Externe Kosten der Luftbelastung,
Externe Kosten des Lärms,
Externe Kosten des Klimawandels.

2.3 Vorgehen bei der Berechnung der externen Kosten im Verkehr

Noch vor wenigen Jahren waren so genannte Top-down-Ansätze Standard in der Berechnung der externen Kosten des Verkehrs. Diese Ansätze berechnen die gesamten externen Kosten für eine geografische Zone und teilen sie dann auf die verschiedenen Verursacher auf, je nach ihrem relativen Anteil an Emissionen. Top-down-Ansätze erlauben es, mit einem angemessenen Aufwand Fragen wie „Ist der Schienenverkehr umweltfreundlicher als der Strassenverkehr?“ zu beantworten.

Wenn es jedoch darum geht, eine Entscheidungsbasis für die Ausgestaltung ökonomischer Instrumente zu bieten, kommen Top-down-Ansätze an ihre Grenzen. Das Hauptargument ist, dass die Schäden, die verschiedene Schadstoffe verursachen, nicht nur von der Quantität der Emissionen abhängen. Sie sind vielmehr ortsabhängig und variieren mit der Bevölkerungsdichte, meteorologischen Gegebenheiten, geografischen und topografischen Eigenheiten usw.

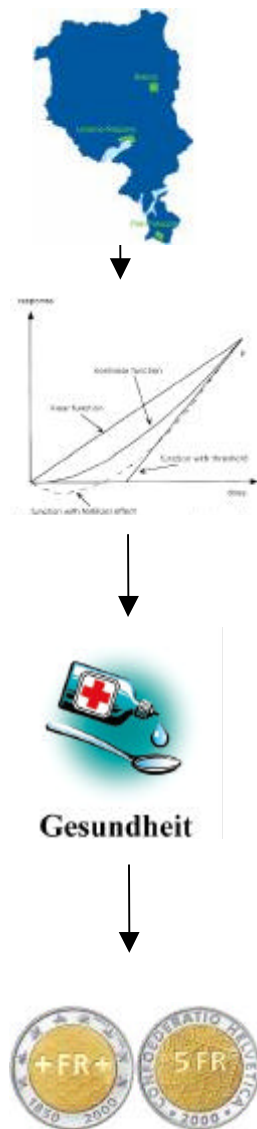
Dies hat zur Entwicklung von Bottom-up-Ansätzen geführt. Bottom-up-Ansätze verfolgen einen Schadstoff von der Emission, über die räumliche Verteilung, zu den Auswirkungen bei den Empfängern, welche anschliessend monetär bewertet. Bottom-up-Ansätze erlauben eine detaillierte und exakte Aufteilung der Kosten auf die Verursacher, d.h. es findet eine Kostenallokation statt. Dies ermöglicht die Berechnung der externen Kosten verschiedener Fahrzeugtechnologien wie Diesel-, Benzinfahrzeuge, effiziente Fahrzeuge, Elektromobile.

In den folgenden Abschnitten werden die Methoden kurz beschrieben, die für die Erfassung und die monetäre Quantifizierung der verkehrsbedingten externen Kosten in den Bereichen Gesundheitskosten, Material- und Ökosystemschäden sowie Klimawandel üblicherweise verwendet werden. Die vorliegende Studie berechnet die externen Kosten nicht selbst, sondern stützt sich auf existierende Bottom-up-Studien und übernimmt plausible Kostenansätze zur Bestimmung der externen Kosten, die durch die Förderung von elektrischen und effizienten Fahrzeugen vermieden werden können.

2.3.1 Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung und Lärmbelastung

Abbildung 4 illustriert die Vorgehensweise bei der Ermittlung der externen Gesundheitskosten mit dem Bottom-up-Ansatz. Voraussetzung ist die Kenntnis der aktuellen Lärm- und Luftbelastung, der die Bevölkerung ausgesetzt ist. Dies wird als Bevölkerungsexposition bezeichnet. Um anhand der Bevölkerungsexposition die Anzahl Krankheits- und Todesfälle zu bestimmen, werden so genannte Belastungs-Wirkungsbeziehungen herangezogen. Diese geben den Zusammenhang zwischen Schadstoffbelastung und der Auftretenshäufigkeit von Morbidität und Mortalität wieder. Um die gesamten externen Kosten zu ermitteln, müssen die externen Kosten pro Krankheits- oder Todesfall bestimmt werden. Dazu gibt es verschiedene ökonomische Bewertungsansätze, welche im Exkurs 1 eingehender beschrieben werden.

Abbildung 3: Ermittlung der luftverschmutzungs- und lärmbedingten Gesundheitskosten



1) Belastung der Bevölkerung durch Luftverschmutzung und Lärm

2) Mittels Belastungs-Wirkungsbeziehungen können die Anzahl Krankheits- und Todesfälle wegen Luftverschmutzung oder Lärmbelastung bestimmt werden

3) Monetarisierung der externen Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung und Lärmbelastung

1) Ermittlung der verkehrsbedingten Luftverschmutzung

Im ersten Schritt wird ermittelt, welchen Immissionen in welchem Ausmass die verschiedenen Empfänger wie Mensch, Ökosysteme und Gebäude ausgesetzt sind. Dazu sind drei Teilschritte notwendig:

- Die Immissionen werden mit Hilfe von Daten aus Messstationen oder von Modellen, die die Luftbelastung schätzen, ermittelt.
 - Ausbreitungsmodelle (Dispersion models) modellieren die Schadstoffbelastungen nach geografischen Teilräumen. Dabei spielen z.B. meteorologische Daten wie Windstärke und Windrichtung eine wichtige Rolle.
 - Die Überlagerung der Schadstoffbelastung mit der Bevölkerungsdichte ergibt die gesuchte Schadstoffexposition der Bevölkerung.
- 2) Ermittlung der Auswirkungen der Schadstoffexpositionen mittels Belastungs-Wirkungsbeziehungen

Basierend auf Belastungs-Wirkungsbeziehungen¹⁶ werden in einem zweiten Schritt die physischen Auswirkungen berechnet, wie z.B. die Anzahl Asthmaanfalle, Krankenhausaufenthalte, und „verlorene Lebensjahre“ („Years Of Life Lost“ – YOLL), aber auch Schäden an Gebäuden und Ökosystemen.

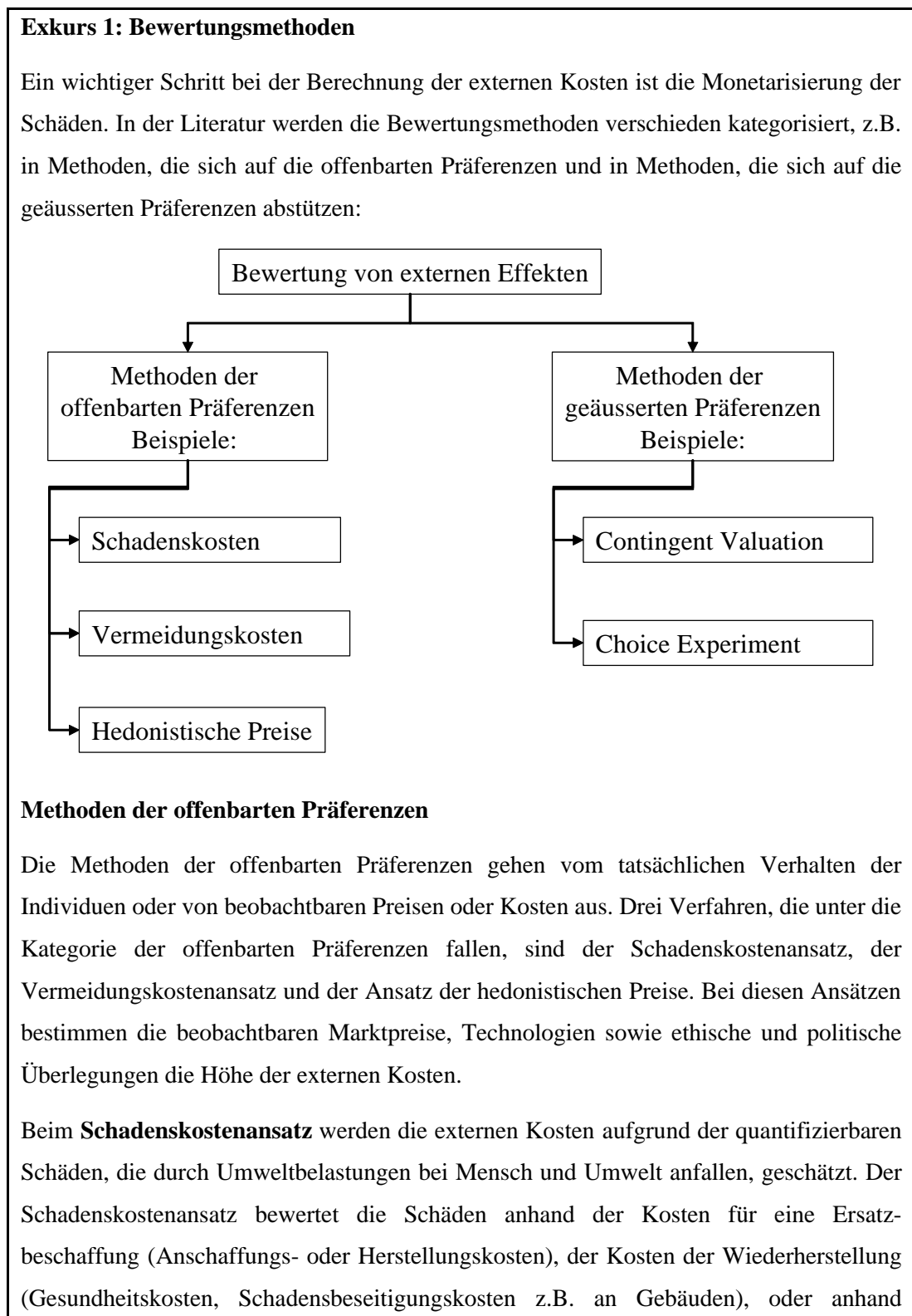
3) Monetarisierung der physischen Auswirkungen

Der letzte Schritt beinhaltet die monetäre Bewertung der Umwelt- und Gesundheitsschäden. Dazu werden die physischen Auswirkungen mit einem Kostenansatz multipliziert, der wenn immer möglich auf den Präferenzen der Individuen beruht. Insbesondere wenn es darum geht, immaterielle Schäden wie Leid verursacht durch Krankheit oder den Verlust an Menschenleben monetär zu bewerten, wird die so genannte „Contingent Valuation“ Methode angewandt. Dabei werden die Personen direkt gefragt, was sie zu zahlen bereit wären, um Krankheit oder Leid zu vermeiden. Ein anderer Ansatz ist der Schadenskostenansatz, der sich z.B. auf den Produktionsausfall oder die Behandlungskosten bezieht. Beim Vermeidungskostenansatz werden die Kosten berücksichtigt, die zur Verminderung bestimmter Umweltschäden aufgewendet werden müssen. Einen Überblick über diese Ansätze wird im Exkurs 1 gegeben.

Die genannten Ansätze wurden in der Vergangenheit kritisiert, weil sie die gesamten externen Kosten sehr wahrscheinlich massiv unterschätzen, da sie die immateriellen Kosten vernachlässigen.

¹⁶ Belastungs-Wirkungsbeziehungen geben die Zusammenhänge zwischen der Belastung durch einen Luftschadstoff und den Auswirkungen wie z.B. Krankheits- und Todesfälle oder Schäden an Gebäuden und Ökosystemen (siehe z.B. Maddison et al., 1996) an.

Abbildung 4: Bewertungsansätze



künftiger Ertragsverluste (Einkommensausfälle, Ertragsausfälle in Land- und Forstwirtschaft).

Beim **Vermeidungskostenansatz** werden die Kosten von Massnahmen zur Vermeidung der Schäden zur Bewertung der externen Effekte herangezogen. Dafür werden z.B. die Ausgaben geschätzt, die für technische Massnahmen aufgewendet werden müssen, um die Schadstoffemissionen auf das gewünschte oder rechtlich vorgeschriebene Niveau zu reduzieren.

Der **Ansatz der hedonischen Preise** (Freeman 2003, Hidano 2002) geht davon aus, dass der Nutzen, den eine Wohnung stiftet, von deren Eigenschaften abhängt und dass der Miet- oder Kaufpreis den Wert der einzelnen Eigenschaften widerspiegelt. Nebst den Eigenschaften der Wohnung selbst hängt der Mietpreis auch von den Einrichtungen in der Umgebung, der Erreichbarkeit und den Umweltbedingungen ab. Preisunterschiede reflektieren die unterschiedliche Zahlungsbereitschaft für bestimmte Eigenschaften und deren Ausprägungen.

Methoden der geäusserten Präferenzen

Neben den Ansätzen, die sich auf das tatsächliche Verhalten oder auf Marktdaten abstützen, werden immer häufiger Ansätze verwendet, die einen hypothetischen Charakter haben. Diese Ansätze gehen von einer hypothetischen, aber möglichst realitätsnahen, Entscheidungssituation aus und haben den Vorteil, dass sie immaterielle Güter monetär bewerten können, für die keine Marktpreise bestehen.

Die **Contingent Valuation Methode (CVM)** (Mitchell & Carson 1989) ist ein prominenter, vielfältig anwendbarer Ansatz, bei dem die Betroffenen direkt nach ihrer individuellen Zahlungsbereitschaft befragt werden. Mit diesem Ansatz ist es unter anderem möglich, immaterielle Schäden wie z.B. Leid verursacht durch Krankheit oder den Verlust an Menschenleben monetär zu bewerten.

Beim **Choice Experiment** werden den Befragten eine Reihe von hypothetischen Entscheidungssituationen vorgestellt. Diese können verschiedene Alternativen, die durch mehrere Merkmale charakterisiert sind, umfassen. Die Befragten müssen die bevorzugte

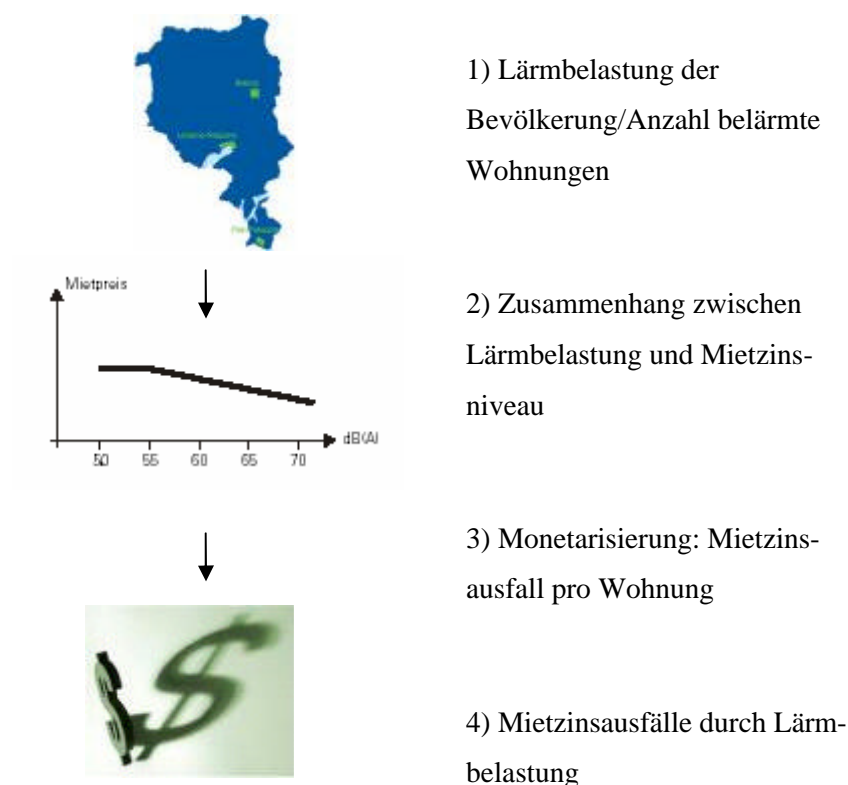
Alternative wählen. Dieses neuere Verfahren wird unter anderem im Verkehrs- und Umweltbereich angewandt.¹⁷

Zusammenfassend sind die folgenden drei Arbeitsschritte notwendig, um die negativen externen Effekte verkehrsbedingter Luftbelastung zu analysieren: Diesen Satz könnte man auch weglassen und die Grafik nach vorn zur Beschreibung bringen.

2.3.2 Mietzinsausfälle wegen Lärm

Eine weitere Möglichkeit, die negativen Effekte des Lärms auf das Wohlbefinden und die Gesundheit monetär zu quantifizieren, besteht in einem Vergleich der Mietzinse von unterschiedlich lärmbelasteten Wohnungen.

Abbildung 5: Ermittlung der verkehrsbedingten Lärmkosten (angepasst nach ARE, 2004a)



Die dazu angewandte Bewertungsmethode wird Ansatz der hedonischen Preise genannt (Freeman 2003, Hidano 2002). Dieser Ansatz geht von der Annahme aus, dass zwei sonst

¹⁷ Vgl. Hanley et al. (1998), Carlsson und Martinsson (2001).

identische Wohnungen einen Mietpreisunterschied aufweisen werden, wenn sie in unterschiedlich lärmbelasteten Gebieten stehen. Die Differenz zwischen den beiden Mietzinsen ist ein Indikator für die lärmbedingten externen Kosten oder kann als Wert interpretiert werden, den die Individuen einer ruhigen Wohnung zumessen. Stehen Informationen zu den Charakteristika der Wohnungen zur Verfügung, kann mit Hilfe geeigneter statistischer Methoden die Bedeutung jeder Eigenschaft bestimmt werden. So ist es möglich, den Einfluss des Lärms auf die Verkaufs- oder Mietpreise zu bestimmen und den impliziten Preis von Ruhe zu ermitteln.

2.3.3 Schäden an Ökosystemen und Gebäuden

Die Luftbelastung führt auch zu Schäden an Gebäuden und Ökosystemen. Unter die Ökosystemschäden fallen Ernteausfälle, Waldschäden sowie der Verlust an Habitat für Flora und Fauna durch das Strassenverkehrsnetz. Die Ernteausfälle können mit Hilfe von Marktpreisen berechnet werden. Der Verlust an Schutz- und Erholungsfunktion eines geschädigten Waldes kann mit den Vermeidungskosten oder mit einem Ansatz der geäußerten Präferenzen bewertet werden, da keine direkten Marktpreise beobachtet werden können.

Die Luftbelastung führt zu höheren Renovationsfrequenzen und Lebensdauerverkürzung der Gebäude. Die Bewertung der luftverschmutzungsbedingten Gebäudeschäden erfolgt über die Abschätzung der Höhe dieser zusätzlichen Renovationskosten (ARE 2004).

Die Kosten für Schäden an Ökosystemen und Gebäuden nehmen im Vergleich zu den Gesundheitskosten der Luftverschmutzung eine zweitrangige Bedeutung ein. Es existieren dazu auch bedeutend weniger Studien.

2.3.4 Verkehrsbedingte Klimaschäden

CO₂ ist hauptverantwortlich für den Treibhauseffekt. Neben dem natürlichen Treibhauseffekt, der Leben auf der Erde erst möglich macht, führt der vom Menschen verursachte Treibhauseffekt zu enormen externen Kosten. Die Quantifizierung ist jedoch mit grossen Unsicherheiten behaftet, so dass eine annähernd verlässliche Schätzung der externen Kosten praktisch unmöglich ist. Der Versuch der Quantifizierung gibt trotzdem einen Hinweis auf die Bedeutung zukünftiger Klimaveränderungen.

Zur monetären Bewertung werden in der bestehenden Literatur der Vermeidungskosten- sowie der Schadenskostenansatz angewendet. Beim Vermeidungskostenansatz werden die Kosten der Massnahmen zur Erreichung vorgegebener Klimaziele benutzt. Die Schadenskosten sind die monetarisierten Schäden verursacht durch Klimaänderungen. Der Schadenskostenansatz ist mit

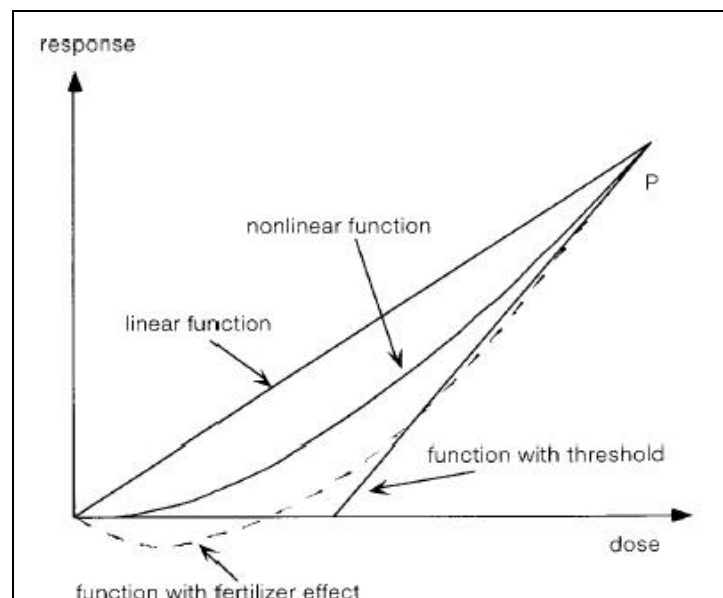
grösseren Schwierigkeiten und Unsicherheiten behaftet als der Vermeidungskostenansatz. Aus diesem Grund wird hier der Vermeidungskostenansatz verwendet.

2.4 Unsicherheiten

Die Schätzung von externen Kosten setzt eine Vielzahl von Annahmen und Vereinfachungen voraus. Diese haben Einfluss auf die Resultate. Unsicherheiten in den Schätzungen ergeben sich z.B. durch:

- die vorhandenen Datengrundlagen: Die verwendeten Daten liegen oft nicht in der gewünschten Form oder Detaillierungsgrad, nur teilweise, oder gar nicht vor.
- Annahmen zur Belastungs-Wirkungsbeziehung: Die genaue Form der Beziehung ist oft nicht bekannt. In Abbildung 6 sind verschiedene Beziehungsmöglichkeiten dargestellt, die linear oder nicht-linear, einen „Fertilizer Effect“ haben, d.h. bis zu einem gewissen Punkt nutzenbringend und nach dem Punkt schädigend sein, oder einen Schwellenwert haben, d.h. erst ab einem gewissen Punkt schädlich sein.

Abbildung 6: Mögliche Formen von Belastungs-Wirkungsbeziehungen (Friedrich&Bickel,2001)



- Oft fehlen ausserdem Kenntnisse über die Wechselwirkungen von Schadstoffen: Eine Kombination kann allenfalls eine verstärkende Wirkung haben.

- Weitere Unsicherheiten bestehen über die langfristigen Effekte. Es kann unter Umständen sehr schwierig sein, den Zusammenhang zwischen Schadstoff und Schaden zu erkennen, wenn grosse Zeitverzögerungen zwischen der Emission und dem Auftreten des Schadens zu erwarten sind.
- **Bewertungsmethoden:** Die Methoden zur monetären Bewertung der physischen Auswirkungen von Luftverschmutzung, Lärmbelastung und Klimaveränderungen basieren auf unterschiedlichen Annahmen und führen demzufolge zu unterschiedlichen Resultaten. Wo sich die Bewertung der Auswirkungen auf Marktpreise abstützen kann (z.B. für Ernteausfälle oder Gebäudeschäden) sind die Unsicherheiten relativ gering. In anderen Bereichen (z.B. bei der menschlichen Gesundheit, Ökosystemschäden) machen immaterielle Schäden den Hauptanteil der externen Kosten aus. Diese müssen mit Methoden bewertet werden, die selber sehr grossen Unsicherheiten bezüglich der Verlässlichkeit der Resultate unterliegen. Zum Beispiel geht die Contingent Valuation Methode bei der Berechnung des Wertes eines statistischen Lebens davon aus, dass es eine lineare Beziehung zwischen Risiko und Zahlungsbereitschaft gibt. Dabei handelt es sich um eine gewagte Annahme.
- Die grössten Unsicherheiten bestehen bei der Bestimmung der Auswirkungen der Emissionen und deren Bewertung (Friedrich & Bickel 2001).

2.5 Schlussfolgerungen für die vorliegende Studie

Neben dem konkreten Ziel, die Reduktionsmöglichkeiten der externen Kosten durch den Einsatz von effizienten und Elektrofahrzeugen zu berechnen, soll dieses Projekt auch zum Verständnis des Ansatzes der externen Kosten beitragen. Daher wurde in diesem Kapitel auf das Konzept der externen Kosten eingegangen und die wichtigsten Ansätze der Bewertung der externen Effekte im Verkehr kurz dargestellt.

Weiter wurden die zentralen Auswirkungsbereiche externer Verkehrskosten beschrieben. Es wurden diejenigen Bereiche dargestellt, in denen ein substantieller Unterschied zwischen herkömmlichen, effizienten und elektrischen Fahrzeugtypen des motorisierten Individualverkehrs (MIV) zu erwarten ist.

Die berücksichtigten Umweltbereiche sind im Einzelnen:

- Luftverschmutzung
- Lärm und
- Klimaschäden.

Unfallkosten, Infrastrukturkosten und Staukosten werden weitgehend ausgeblendet, da davon ausgegangen wird, dass effiziente oder Elektrofahrzeuge im Vergleich zu konventionellen Fahrzeugen keine wesentlichen Verringerungen der externen Kosten in diesen Bereichen verursachen.

Die monetäre Bewertung findet sowohl mit Hilfe von Ansätzen der offenbarten und der geäußerten Präferenzen statt. Bei der Bewertung der externen Lärmkosten wird vom Ansatz der hedonischen Preise ausgegangen, der die Zahlungsbereitschaft für weniger Lärm aus den Mietpreisen ableitet. Wenn es um die Bewertung von Gesundheitsschäden, insbesondere die Bewertung von immateriellen Schäden wie Tod oder Krankheit geht, wird der Contingent Valuation Ansatz eingesetzt. Beim Klima werden die Kosten geschätzt, um das festgelegte CO₂ Emissionsziel zu erreichen.

3 Kostenansätze zur Bewertung der externen Kosten des Verkehrs

Die Abschätzung der externen Kosten für die verschiedenen Fahrzeugkategorien beruht auf der Übernahme existierender Kostenansätze. Abschnitt 3.1 gibt einen Überblick über die relevante Literatur (State-of-the-Art), insbesondere über Schweizer Studien zu den verkehrsbedingten externen Kosten. In Abschnitt 3.2 werden die für diese Studie relevanten Ansätze der externen Kosten präsentiert und kommentiert.

3.1 Literaturübersicht

Die Literatur zu den externen Kosten im Verkehr ist mittlerweile sehr extensiv und zeigt grosse Unterschiede in den Resultaten¹⁸. Dies ist sowohl auf die Unsicherheiten, die dieses Themengebiet charakterisieren, als auch auf substantielle methodologische Entwicklungen in den letzten zehn Jahren zurückzuführen. Wichtig war die Entwicklung von **Top-Down** hin zu **Bottom-Up-Ansätzen**¹⁹. Die existierenden Studien unterscheiden sich ausserdem in den Annahmen und Methoden, die der Monetarisierung der externen Effekte zugrunde liegen (Contingent Valuation, Hedonic Pricing Methode usw.). Dies ist bei Vergleichen von Resultaten aus verschiedenen Studien unbedingt zu berücksichtigen.

Zum heutigen Zeitpunkt ist ExternE Transport die Referenz für die Berechnung der externen Kosten des Verkehrs. Es handelt sich dabei um eine Erweiterung des europäischen Projektes ExternE²⁰. Im Rahmen dieses Projektes wurde die „Impact Pathway“-, die „Wirkungspfad“-Analyse entwickelt. (Friedrich & Bickel 2001) Dank der einheitlichen Bottom-up-Methodologie, Annahmen und Datengrundlagen erhöht sich die Vergleichbarkeit der Studien, die diesen Ansatz anwenden. Die in ExternE verwendete Methode wurde in einer grossen Anzahl von europäischen Studien, Länder- und Fallstudien angewendet.

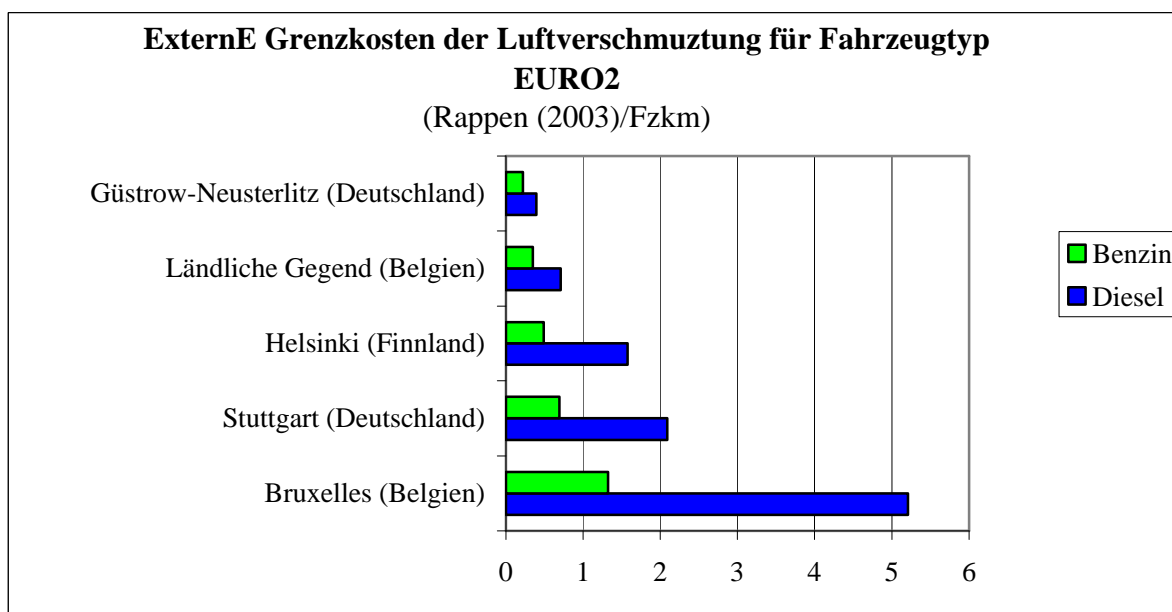
Abbildung 7 gibt die ExternE-Resultate für einige ausgewählte Standorte in Europa wieder. Im Allgemeinen sind die externen Kosten im Gesundheitsbereich in ländlichen Gebieten kleiner als

¹⁸ Anhang 1 enthält eine Auswahl von rund 70 Studien.

¹⁹ **Top-down-Ansätze** berechnen die gesamten externen Kosten für einen geografisch abgegrenzten Raum und rechnen diese dann den verschiedenen Verursachern an. Z.B. werden die Kosten von luftverschmutzungsbedingten Krankheiten berechnet und dann dem Verkehr, der Industrie oder anderen Emittenten angelastet werden. **Bottom-up-Ansätze** verfolgen einen Schadstoff von der Emission über die räumliche Verteilung bis hin zu den Auswirkungen bei den Empfängern. So werden die externen Kosten einzelner Schadstoffe in Abhängigkeit des Emissionsstandortes berechnet.

in Städten. Bei Dieselfahrzeugen variieren die externen Kosten eines zusätzlich gefahrenen Kilometers (Grenzkosten) zwischen knapp 0.05 Rappen/Fzkm in einer ländlichen Gegend in Deutschland (Güstrow-Nesterlitz) und gut 5 Rappen/Fzkm in Brüssel (Friedrich & Bickel 2001). Dies verdeutlicht die grosse Standortabhängigkeit der Werte. Die Bevölkerungsdichte und die klimatischen Verhältnisse am jeweiligen Ort sind wichtige Kostentreiber.

Abbildung 7: Externe Kosten der Luftverschmutzung an verschiedenen europäischen Standorten



Quelle: Friedrich & Bickel 2001

Für die Schweiz existieren keine ExternE-Schätzungen der externen Kosten des Verkehrs. Es gibt jedoch einige Schweizer Studien, die die gleiche oder eine ähnliche Methodik wie ExternE anwenden. Sie stützen allerdings z.T. auf unterschiedliche Inputdaten und Modelle z.B. bezüglich der Belastungs-Wirkungsbeziehung. Aus diesem Grund sind auch die Ergebnisse dieser Studien unterschiedlich.

Tabelle 3 führt die relevantesten Veröffentlichungen für die vorliegende Studie auf. Sowohl die UNITE-Studie²¹ (Suter et al. 2002) als auch die Studie von Infrac/IWW (2000)²² schätzen die

²⁰ ExternE war ein Forschungsprogramm der Europäischen Kommission. (www.externe.info)

²¹ UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) wendet die ExternE-Methodologie an, um die Berechnung der Kosten und Nutzen des Verkehrs zu vereinheitlichen.

²² INFRAS/IWW (2000) macht einen europaweiten Vergleich der externen Kosten des Verkehrs.

externen Kosten für die Bereiche Luft, Lärm und Klima. Sie kommen jedoch auf sehr unterschiedliche Ergebnisse: Während UNITE die gesamten externen Kosten des privaten Strassenverkehrs für das Jahr 1998 auf rund 1.26 Mia. CHF beziffert²³, berechnet Infrac/IWW externe Kosten des motorisierten Personenverkehrs für das Jahr 1995 von 4.93 Mia CHF. Die WHO-Studie²⁴ (1999) berechnet nur die Kosten gesundheitlicher Auswirkungen der Luftverschmutzung, kommt aber mit 2 Mia. CHF für das Jahr 1996 für diesen Bereich auf fast so hohe Zahlen wie die Studie von INFRAS/IWW mit 2.3 Mia CHF nur für den Gesundheitsbereich.

Die UNITE-Studie und drei neue vom Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) in Auftrag gegebene Studien²⁵ präsentieren Resultate in ähnlicher Grössenordnung und aktualisieren frühere Schweizer Studien zu den Gesundheitsschäden verkehrsbedingter Lärmbelastung und Luftverschmutzung sowie Gebäudeschäden für das Jahr 2000. ARE (2004) schätzt die externen Gesundheitskosten, die dem Personenverkehr auf der Strasse anzulasten sind, auf rund 870 Mio. CHF. Gemäss ARE (2004a) belaufen sich die externen Lärmkosten durch den Personenverkehr auf der Strasse auf rund 550 Mio. CHF, 487 Mio. CHF davon sind auf die Mietzinsausfälle zurückzuführen. Die Gebäudeschäden, die in der Schweiz jährlich durch die verkehrsbedingte Luftverschmutzung anfallen, belaufen sich für den motorisierten Individualverkehr auf 129 Mio. Franken. Dies entspricht ca. 50% der gesamten verkehrsbedingten Gebäudeschäden.

²³ Wovon ungefähr 500 Mio. CHF auf die Luftverschmutzung entfallen, ca. 395 Mio. CHF werden durch Lärm verursacht und rund 365 Mio. CHF sind externe Klimaschäden.

²⁴ Die Studie der WHO (Sommer et al. 1999) berechnet die externen Gesundheitskosten des individuellen Strassenverkehrs für die Schweiz, Österreich und Frankreich.

²⁵ ARE (2004a), ARE (2004b), ARE (2004c)

Tabelle 3: Externe Kosten des individuellen Strassenverkehrs in der Schweiz (in Mio. CHF)

Externe Kosten, Personenfahrzeuge und Motorräder (in Mio. CHF)	Luft	Lärm	Klima
WHO (1999)	2'044*	-	-
Infras/IWW (2000)	2'335	864	1'730
UNITE (2002)	498	395	365
ARE (2004b)	870*	-	-
ARE (2004a)	-	550	-
ARE (2004c)	129**	-	-

Quelle: * nur Gesundheitsschäden; ** nur Gebäudeschäden

Um die Bedeutung der bewerteten Bereiche abschätzen zu können, sollen sie als Prozentsatz der insgesamt in der Schweiz anfallenden externen Kosten aufgeführt werden. Zu diesem Zweck werden die gesamten externen Verkehrskosten (Strasse und Schiene) betrachtet, für welche eine aktualisierte Kostenschätzung für das Jahr 1998/2000 vorliegt.²⁶ Diese Gesamtkosten umfassen die Bereiche Gesundheit, Unfälle, Lärm, Natur und Landschaft sowie Gebäudeschäden und betragen rund 5 Mrd. CHF. Davon fallen dem Personenstrassenverkehr externe Kosten in Höhe von 3.44 Mrd. CHF zu. Die Bereiche, die in der vorliegenden Studie berücksichtigt werden (ohne Klimaschäden), umfassen rund 45% der Gesamtkosten. Das bedeutet, dass mit dem Einsatz von effizienten und elektrischen Fahrzeugen ein bedeutender Teil der vom Personenstrassenverkehr verursachten Externalitäten positiv beeinflusst werden kann. Es ist zu beachten, dass fast 40% der ausgewiesenen externen Kosten den externen Unfallkosten anzulasten ist.²⁷

Die Zahlen in Tabelle 3 weisen relativ grosse Unterschiede auf, wobei die verhältnismässig hohen Werte der Studien der WHO und INFRAS/IWW auffallen. Es ist jedoch anzumerken, dass die Studien nicht direkt vergleichbar sind. Die WHO-Studie berechnet nur die

²⁶ Vgl. http://www.are.admin.ch/are/de/verkehr/kosten_nutzen/unterseite24/index.html

²⁷ Um die Bedeutung der untersuchten Bereiche zu illustrieren, kann auch die Studie Infrac/Econcept/Prognos (1996), welche Werte für das Jahr 1993 ausweist, verwendet werden. In dieser Studie werden auch die externen Kosten im Bereich Infrastruktur und Klima quantifiziert. Die Bereiche Lärm,

Gesundheitskosten der Luftverschmutzung, während Infrac/IWW und UNITE auch Gebäudeschäden und Ökosystemschäden betrachten. Ausserdem unterscheiden sich die Studien in den Datengrundlagen, Annahmen und Methoden. Auf eine detaillierte Analyse der Unterschiede wird hier verzichtet, da solche in der Literatur schon existieren (siehe Lombard & Molocchi 1998) und sie den Rahmen dieser Arbeit sprengen würde. Zwei wichtige Gründe für die Unterschiede müssen dennoch genannt werden:

- Unterschiede in den Belastungs-Wirkungsbeziehungen: Je nach Annahme zu der Empfindlichkeit der Gesundheit auf die Exposition von Umwelteinflüssen variieren die Resultate bezüglich der Anzahl Todes- und Krankheitsfälle pro Einheit Belastung.
- Einen grossen Einfluss auf die Höhe der externen Kosten haben die angenommenen Werte für einen Todes- bzw. Krankheitsfall. Es gibt verschiedene Ansätze, wie diese Werte berechnet werden können. (Vgl. Exkurs 2) Bei der empirischen Umsetzung dieser Ansätze treten ebenfalls beträchtliche Unterschiede auf.

Exkurs 2: Zahlungsbereitschaft und Wert eines Statistischen Lebens

Der Wert eines Statistischen Lebens oder *Value of Statistical Life (VSL)* wird oft angewendet, wenn es beispielsweise darum geht, luftverschmutzungsbedingte Krankheit und Tod monetär zu quantifizieren. Dabei muss beachtet werden, dass der *VSL* nicht der unmessbare Wert eines Menschenlebens ist, sondern den Wert einer Reduktion des Risikos eines Krankheits- oder Todesfalls darstellt. (siehe Freeman 2003)

Der Ansatz beruht auf der Erfragung der individuellen Zahlungsbereitschaft (Willingness to Pay) für ein reduziertes Krankheits- oder Todesrisiko z.B. dank einer Verringerung der verkehrsbedingten Luftverschmutzung. Teilt man die Zahlungsbereitschaft durch die Änderung des Risikos erhält man den *VSL*. Formell:

Luft und Klima machen auch in diesem Fall insgesamt 45% der gesamten externen Kosten des Personenstrassenverkehrs aus.

$$\Rightarrow VSL = \frac{WTP}{\Delta p} \quad (1)$$

wobei

VSL = Wert eines Statistischen Lebens

? p = Änderung der Sterbewahrscheinlichkeit

WTP = Zahlungsbereitschaft für eine Reduktion der Sterbewahrscheinlichkeit um ? p

Beispiel:

Eine Massnahme reduziert das Risiko, an einer luftverschmutzungsbedingten Krankheit zu sterben, in einem Jahr von 4 auf 3 Fälle pro 10'000 Einwohnern.

⇒ Dies entspricht einer Risikoreduktion von 0.0001 (1 Todesfall/10'000 Einw.).

Eine Contingent Valuation Studie ergibt, dass die Individuen, die diesem Risiko ausgesetzt sind, bereit sind, 100 CHF für die Risikoreduktion von einem Todesfall pro 10'000 Individuen zu zahlen.

⇒ Individuelle Zahlungsbereitschaft für Risikoreduktion: 100 CHF

Der VSL beträgt in diesem Fall also 1 Mio. CHF (100 CHF/0.0001 Risikoreduktion).

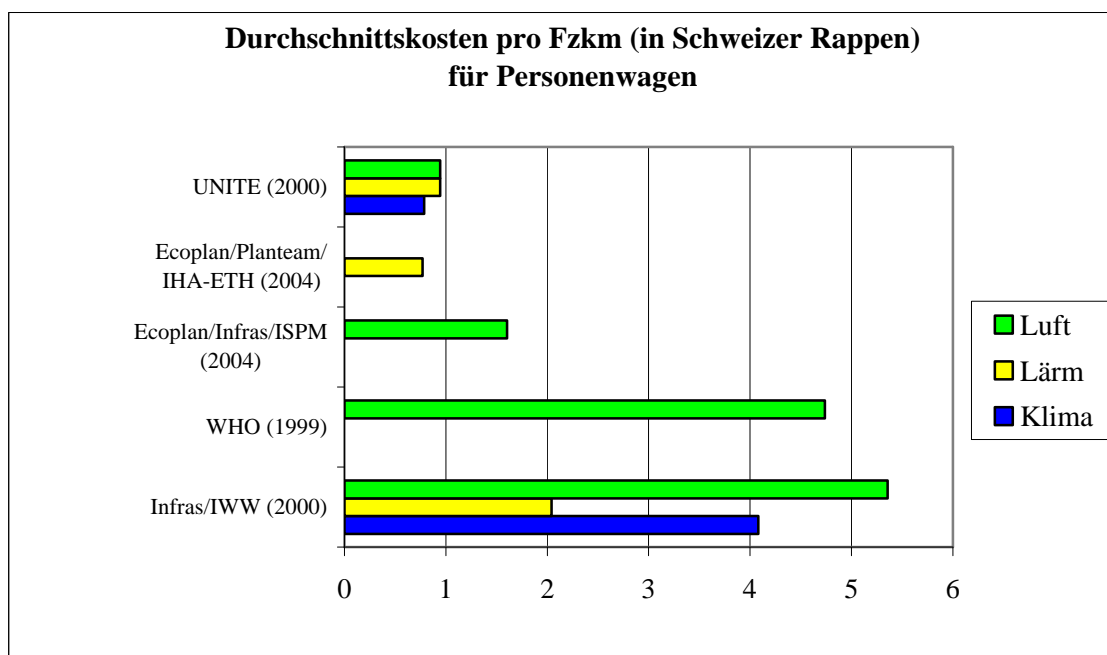
Im Gegensatz zu Ansätzen, die Krankheits- und Todesfälle aufgrund der medizinischen Aufwendungen oder dem Produktionsausfall beziffern, besteht der Vorteil dieses Konzepts darin, dass der VSL durch die Berechnung via Zahlungsbereitschaft (WTP) auf individuellen Präferenzen beruht.

Da die Anwendung von VSL die Gesundheit zum dominanten Kostenfaktor in Kosten-Nutzen Analysen macht, wurden verschiedene Erweiterungen des Ansatzes entwickelt. Eine wichtige Erweiterung beruht auf der Anpassung des VSL an die restliche Lebenserwartung: $VOLY$ (Value of a life year) (Pearce & Howarth 2000). Tatsächlich haben nicht alle Todesursachen die gleichen Auswirkungen auf die Lebenserwartung. Z.B. haben Opfer von Verkehrsunfällen normalerweise eine durchschnittliche restliche Lebenserwartung von 35 bis 45 Jahren, während Opfer von Luftverschmutzung normalerweise zwischen 70 und 80 Jahre alt sind und demzufolge eine deutlich geringere restliche Lebenserwartung von rund 10 bis 15 Jahren haben.

Damit ist es möglich, die Altersstruktur der betroffenen Bevölkerung bei der monetären Bewertung des Mortalitätsrisikos zu berücksichtigen. Jedes Lebensjahr, das durch frühzeitigen

Tod verloren geht, erhält einen konstanten Wert. Oft ist dieser Wert so berechnet, dass die diskontierte Summe für die verbleibenden Lebensjahre dem *VSL* entspricht. Der *VOLY* ist demzufolge von existierenden *VSL*-Werten abgeleitet.

Abbildung 8: Schätzungen der externen Kosten pro Fahrzeugkilometer für die Schweiz



Ein Urteil über die Qualität der Kostenansätze lässt sich nur auf Grund der angewandten Methode, der Annahmen und der Datengrundlagen machen. Die aktuellen Schweizer Studien (ARE 2004a, ARE 2004b, ARE 2004c) sind von der Methodik her State-of-the-Art und detailliert genug, um eine bestmögliche Schätzung der externen Kosten vornehmen zu können.

3.2 Kostenansätze für die vorliegende Studie

Für die Berechnung der durch die Förderung von effizienteren Fahrzeugen und Elektromobilen vermiedenen externen Kosten gibt es zwei grundsätzliche Vorgehensweisen (Friedrich & Bickel 2001):

- 1) Die externen Kosten pro km für verschiedene Fahrzeugtypen werden mit Informationen über die Fahrzeugflotte und Fahrleistung kombiniert;

2) Die Schadenskosten pro Schadstoffeinheit werden auf regionale Emissionen angewendet.

Da keine Studien über die externen Kosten verschiedener Fahrzeugtechnologien für die Schweiz bestehen, werden diese Daten aus der Fahrleistung der einzelnen Fahrzeugkategorien berechnet. Die genaue Vorgehensweise wird in Kapitel 4 dargelegt.

Es ist notwendig, Kostenindikatoren zu identifizieren, mit denen die vermiedenen Emissionen quantifiziert werden können. Solche Kostenindikatoren müssen folgende Kriterien erfüllen:

- Die Kosten müssen auf die Schweiz und insbesondere auf die Tessiner Situation übertragbar sein.
- Die Schätzung erfolgt mit einer aktuellen Methode, d.h. mit dem Bottom-up-Ansatz oder dem ExternE-Ansatz.
- Es werden die externen Kosten aller relevanten Schadstoffe ausgewiesen.

In Tabelle 4 werden als „Kostentreiber“ die hauptsächlichen Ursachen für die externen Kosten angegeben. Hier ist ersichtlich, dass sich die Schäden bezüglich verschiedener Standorte v.a. aufgrund der Art der Schadstoffquelle und der Bevölkerungsdichte unterscheiden.

Tabelle 4: Berücksichtigte Kostenelemente

Bereich	Kostenelemente	Kostentreiber
Luft	Gesundheitsschäden Ökosystemschäden Gebäudeschäden	Bevölkerungsdichte Distanz von der Emissionsquelle Typ und Menge Schadstoff Geographische Lage der Emissionsquelle
Lärm	Gesundheitsschäden Unannehmlichkeiten	Bevölkerungsdichte Distanz von der Emissionsquelle Intensität des Verkehrs Höhe des Lärmpegels
Klima	Klimawandel Auswirkungen auf Landwirtschaft Auswirkungen auf Wasserversorgung und Wassermanagement (Wasserwirtschaft)	Ausgestossene Treibhausgase Bevölkerungsdichte und –struktur

3.2.1 Luftverschmutzung

Zur Berechnung der luftverschmutzungsbedingten Schäden auf Gesundheit, Ökosysteme und Gebäude im Tessin stützt sich die vorliegende Studie auf ExternE. Für die Schweiz gibt es keine publizierten Schadenskostenschätzungen pro Tonne Schadstoff, die eine Differenzierung nach Fahrzeugtechnologie zulassen würden.

Tabelle 5 zeigt die im Rahmen von ExternE berechneten Schadenskosten für zwei ausgewählte Standorte in Belgien. Eine Anlehnung an die Kostenansätze für Belgien kann wie folgt begründet werden: ODER: Die Übertragung der Kostensätze für Belgien auf die Situation im Kanton Tessin kann wie folgt begründet werden:

- Für Belgien bestehen Kostenansätze für den ländlichen und den urbanen Raum.
- Die Kostenansätze, die für andere europäische Länder berechnet worden sind, liegen meistens innerhalb der Spannbreite der belgischen Kostenansätze.
- Die mit den belgischen Kostenansätzen abgeleiteten externen Kosten pro Fahrzeugkilometer widerspiegeln am ehesten jene, die in den Schweizer Studien ausgewiesen werden. (Plausibilisierung in Abschnitt 4.4) Warum werden die Verweise nicht automatisch eingefügt?

In der vorliegenden Studie wird zwischen regionalen und lokalen Schadenskosten pro Einheit Schadstoff unterschieden. Auf der lokalen Ebene sind es hauptsächlich Primärschadstoffe, die Schäden verursachen. Diese fallen ohne chemische Transformation dort an, wo sie emittiert werden. Die Schäden sind demzufolge sehr standortabhängig, wie aus der Tabelle 5 ersichtlich wird. Auf der regionalen Ebene richten Sekundärschadstoffe Schäden an. Diese entstehen durch chemische Reaktionen der primären Schadstoffe.

Tabelle 5: Schadenskosten der verkehrsbedingten Luftbelastung für zwei Standorte in Belgien
(CHF /t Schadstoff, CHF/EURO=1.5)²⁸

	Luft - Stadtzentrum		Luft - auf dem Land	
	Brüssel Stadtzentrum		Ländliche Region	
Schadstoffe	lokal	regional	lokal	regional
CO	4.29	0.49	0.83	0.44
PM _{2.5} *	582'690	52'292	111'258	45'651
SO ₂ direkt	14'885	800	2'841	678
SO ₂ indirekt	-	6'660	-	5'918
NOx indirekt	-	4'968	-	4'473
NMVOC via Ozon	-	2'576	-	2'576
Dieselmotor- emission (DME)	16'109	1'446	3'075	1'262
Benzol	3'495	369	668	324
1,3-Butadien	131'042	15'476	25'011	13'691

Quelle: Friedrich & Bickel (2001)

Zur Berechnung der Schadenskosten im Tessin sind Informationen zu den frühzeitigen, luftverschmutzungsbedingten Todesfällen und zum Wert der verlorenen Lebensjahre erforderlich. Die Beziehung zwischen der langfristigen Exposition der Bevölkerung gegenüber Luftverschmutzung und dem Auftreten frühzeitiger Todesfälle²⁹ bildet die Grundlage für die Schätzung der Anzahl Lebensjahre, die luftverschmutzungsbedingt „verloren gehen“ (YOLL,

²⁸ Auf eine Anpassung an die Kaufkraftparität wurde verzichtet, da der kaufkraftbereinigte Wechselkurs EURO/CHF gemäss UBS im Jahr 2000 bei 1.53 lag und somit praktisch normalen Wechselkurs entsprach.

²⁹ Beispielsweise Pope et al. (1995) haben eine solche Untersuchung durchgeführt.

years of life lost). Um die YOLL zu ermitteln, wird die Beziehung zwischen Belastung und frühzeitigen Todesfällen mit den demographischen Faktoren und den altersspezifischen Todesraten kombiniert. In Friedrich & Bickel (2001) wurden dafür die Angaben von vier europäischen Ländern (Deutschland, Italien, Niederlande, England) verwendet. Die Zielsetzung der Untersuchung bestand darin, die Wirkung einer Jahreszunahme (oder –abnahme) von $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 auf die Mortalität der Bevölkerung zu schätzen. Die Ergebnisse waren für alle vier untersuchten Länder vergleichbar und hingen u.a. von der angenommenen Latenzzeit (bis zu 30 Jahre) ab.³⁰ Die Schätzungen haben ergeben, dass bei einer Jahreszunahme von $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM10 rund 470 YOLL pro 100'000 Personen (aller Altersklassen) zu erwarten sind.

Für die ökonomische Bewertung von Sterberisiken wird in Friedrich & Bickel (2001) ein Wert von 3.4 Millionen EURO angenommen³¹. Diese Bewertung stellt einen Mittelwert verschiedener Studien dar, welche die Zahlungsbereitschaft für eine Verringerung des Sterberisikos geschätzt haben. Diese Zahlen wurden mit einem Contingent Valuation (CV) Ansatz ermittelt. Basierend auf diese Zahlungsbereitschaft wurde der Wert für ein verlorenes Lebensjahr (value of life years lost) ermittelt. Die Kosten der luftverschmutzungsbedingten Gesundheitsschäden wurden mit einem vergleichbaren Ansatz ermittelt. Dabei wurde die Zahlungsbereitschaft für die Vermeidung verschiedener luftverschmutzungsbedingter Erkrankungen geschätzt.³²

³⁰ Für die Umsetzung wurde ein Durchschnittswert zwischen null und 20 Jahren Latenzzeit gewählt.

³¹ Dies entspricht dem Wert eines statistischen Lebens (value of statistical life, VSL).

³² Für detaillierte Angaben zu den ökonomischen Bewertungen sei auf Kapitel 8 in Friedrich & Bickel (2001) verwiesen.

Tabelle 6: Grundlagen der ökonomischen Bewertung, ausgewählte Kennzahlen (Euro, Jahr 2000)

Wirkung	Wert
Verlorenes Lebensjahr (akut)	165'700
Verlorenes Lebensjahr (chronische Effekte)	96'500
Chronische Bronchitis	169'330
Stationäre Behandlung wegen cerebrovaskuläre Erkrankungen	16'730
Stationäre Behandlung von Atemwegserkrankungen	4'320

Quelle: Friedrich & Bickel (2001)

Friedrich & Bickel (2001) gehen bei ihren Berechnungen davon aus, dass eine Einheit aller durch den Verkehr verursachten Primärpartikel zu den gleichen Schäden führt wie eine Einheit PM_{2.5}. Die Studie vom Bundesamt für Raumentwicklung (ARE 2004b) basiert ihre Bewertungen auf PM₁₀, da sich in der Schweiz die Luftreinhalte-Verordnung (LRV) auf PM₁₀ bezieht und für PM_{2.5} nur vereinzelt Messungen durchgeführt werden. Die potenzielle Überschätzung der Schäden durch die Übernahme der Schadenskosten von PM_{2.5} von Friedrich & Bickel (2001) sollte jedoch gering sein, wenn man in Betracht zieht, dass in der Schweiz ca. 75% der Partikelmasse aus PM_{2.5} besteht (BUWAL 2001).

3.2.2 Lärmbelastung

Bei der Lärmbelastung stellt sich das Problem der Differenzierung der Fahrzeugtechnologie nicht, da davon ausgegangen wird, dass zwischen konventionellen und effizienten Personenwagen keine Unterschiede bezüglich des Lärms bestehen. Elektromobile verursachen dagegen praktisch keine Lärmkosten³³. In diesem Bereich werden die Kostenansätze der Lärmstudien für die Schweiz (ARE 2004a), wie sie in Tabelle 7 aufgeführt sind, angewendet. Es handelt sich bei dieser Studie um die aktuellste auf diesem Gebiet für die Schweiz. Ausserdem

³³ Diese Annahme stimmt jedoch nur bei tiefen Geschwindigkeiten, bei denen das Motorengeräusch überwiegt. Ab 50 Stundenkilometern tritt der Reifenlärm in den Vordergrund und wird bestimmend für den Lärmpegel. Bei sehr hohen Geschwindigkeiten kommen noch aerodynamische Geräusche hinzu. (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg 2004).

verwendet sie eine ExterneE kompatible Methode und kommt zu vergleichbaren Ergebnissen wie UNITE (Suter et al. 2000). Die Kostenansätze von INFRAS/IWW (2000) sind, wie zuvor schon erwähnt, wesentlich höher. Für Motorräder wurde ein höherer Kostenansatz eingesetzt.

Tabelle 7: Kostenansätze für Lärmschäden (in Rp./Fzkm)

Studie	UNITE (2002)	INFRAS/IWW (2000)	ARE (2004a)
Personenwagen	0.97	2.04	0.75
Motorräder	8.65	3.5	8.61

Quelle: Zitierte Studien

3.2.3 Klimawandel

CO₂ verursacht in erster Linie Klimaschäden und wirkt global. Es spielt deshalb keine Rolle, wo und wie CO₂-Emissionen auftreten. Zur Berechnung der externen Kosten von CO₂-Emissionen wird die Emissionsmenge von CO₂ mit einem plausiblen Kostenansatz multipliziert. Die Festlegung des Kostenansatzes ist mit grossen Schwierigkeiten verbunden. Zum einen ist die Monetarisierung der Schäden durch den CO₂-Ausstoss kontrovers, da grosse Unsicherheiten bezüglich der Dimensionen? der Veränderungen und der Folgeschäden bestehen. Zum anderen führen verschiedene Bewertungsansätze (Schadenskosten vs. Vermeidungskosten) zu wesentlich unterschiedlichen Resultaten.

UNITE (Suter et al. 2002) wendet einen Schattenpreis von 20 Euro pro Tonne emittiertem CO₂ an. Dieser Wert widerspiegelt einen europäischen Mittelwert der Vermeidungskosten, die anfallen, um die Kyoto-Ziele zu erreichen. Wenn man jedoch davon ausgeht, dass in Zukunft strengere Reduktionsziele als diejenigen von Kyoto nötig sind, um schwerwiegende klimatische Veränderungen zu verhindern, erhöhen sich die externen Kosten. Gestützt auf diese Überlegungen geht die Studie von Infrass/IWW (2000) von Vermeidungskosten von 135 Euro pro Tonne CO₂ aus. Infrass (1999) berechnet Vermeidungskosten zwischen 60 und 100 Euro pro Tonne CO₂. Diese gehen vom Ziel des CO₂-Gesetzes aus, die CO₂-Emissionen aus Treibstoffverbrauch bis 2010 um 8% zu senken. Da der Treibstoffverbrauch in den letzten Jahren nicht zurückgegangen ist, werden die Kosten für die verbleibenden Jahre bis 2010 mit grosser Wahrscheinlichkeit steigen. Im Sinne einer Sensitivitätsanalyse werden in der

vorliegenden Studie wie in UNITE 33 CHF/tCO₂ (20 EURO) und 127 CHF/tCO₂ (80 EURO) angenommen.

Tabelle 8: Kostenansätze für Klimaschäden

	UNITE (2002)
	CHF/Tonne CO ₂
Tiefer Ansatz	33
Hoher Ansatz	127

3.3 Schlussfolgerungen

In diesem Kapitel wurden die Grundlagen für die Berechnung der externen Kosten in den Bereichen Luft, Lärm und Klimawandel im Tessin beschrieben. Die Wahl der Kostenansätze war, vor allem was die luftverschmutzungsbedingten Schäden anbelangt, mit gewissen Problemen verbunden. Dafür sind verschiedene Gründe verantwortlich:

Eine Schätzung der unterschiedlichen Schäden von konventionellen, effizienten und elektrischen Fahrzeugen setzt differenzierte Kostenansätze voraus. Da solche für die Schweiz nicht vorhanden sind, stützt sich diese Studie auf Schätzungen der externen Kosten pro Tonne Schadstoffemission. Dabei gilt es zu beachten, dass der Transfer von Kostenschätzungen aus unterschiedlichen Regionen mit Problemen und Unsicherheiten behaftet ist.

Beim Klima bestehen noch grundsätzliche Unsicherheiten, die die Bandbreite der in der Literatur vorgeschlagenen Werte wesentlich erhöhen. Deswegen wurde in diesem Bereich eine Spannbreite der möglichen Kosten pro Tonne CO₂ angenommen.

Für die Bereiche Lärm und Luft basieren die Berechnungen im Kapitel 4 auf punktuellen Werten. Dies darf nicht über die genannten Unsicherheiten und Varianz hinwegtäuschen.

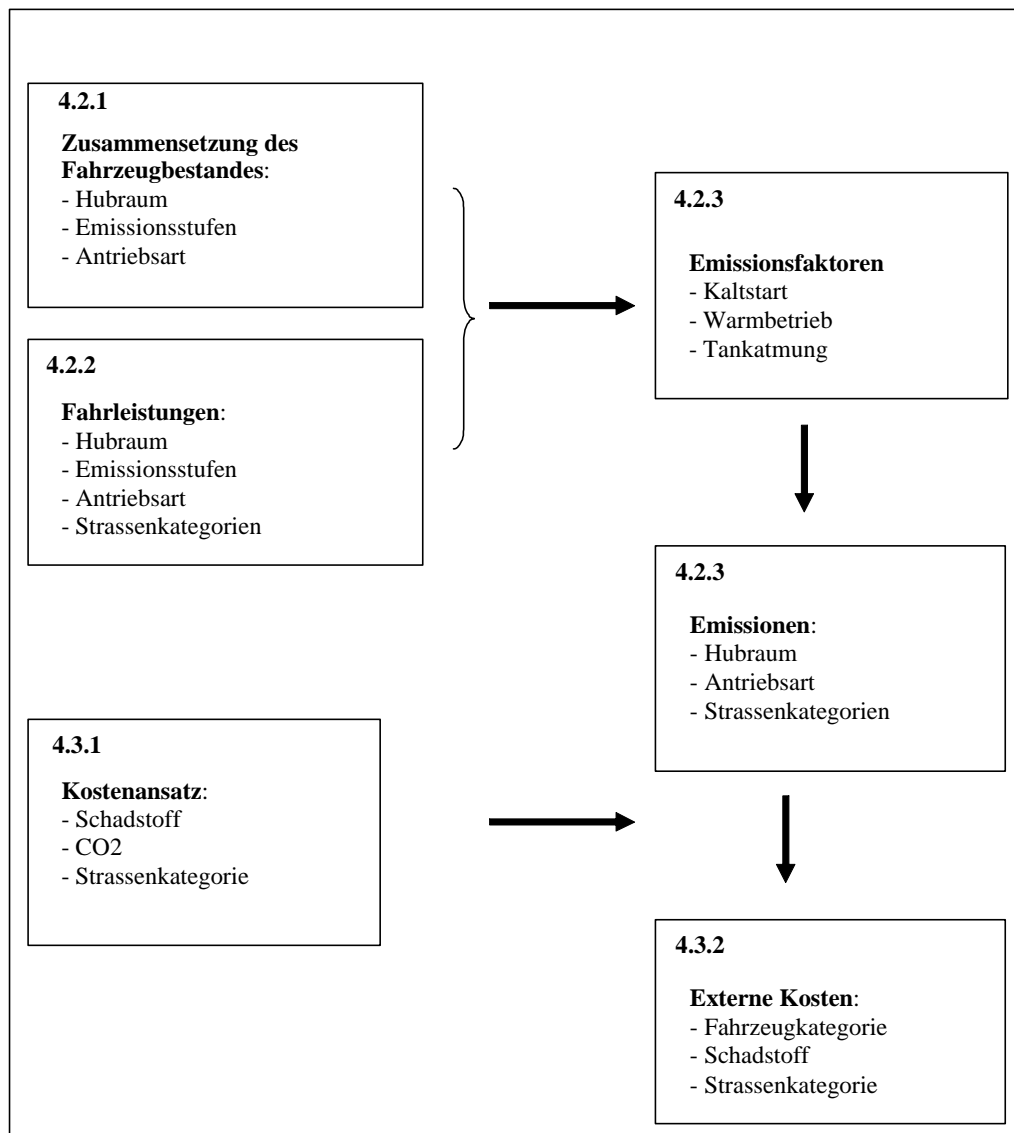
4 Berechnung der externen Kosten

Das Ziel dieses Kapitels ist die Berechnung der externen Kosten für die verschiedenen Fahrzeugkategorien ausgehend von den Fahrleistungen der Tessiner Personenwagen- und Motorräderflotte im Jahr 2003.

4.1 Berechnung der externen Kosten mit dem Bottom-up-Ansatz

Das folgende Schema zeigt die verschiedenen Faktoren und Differenzierungsmöglichkeiten auf, die bei der Bestimmung der externen Kosten berücksichtigt wurden.

Abbildung 9: Wirkungsschema zur Berechnung der externen Kosten



Die berücksichtigten Faktoren beziehen sich auf die Angaben für das Jahr 2003 oder sind auf das Jahr 2003 hochgerechnet worden. Dies gilt insbesondere für die Fahrzeugflotte, die Fahrleistungen nach verschiedenen Fahrzeugkategorien und die verwendeten Kostenansätze.

Ausgehend von der Flottenzusammensetzung (Abschnitt 4.2.1) werden die Fahrleistungen nach verschiedenen Strassenkategorien berechnet (4.2.2), was anschliessend eine räumliche Differenzierung der Emissionen erlaubt. Anhand der Emissionsfaktoren (4.2.3) können die Gesamtemissionen für die wichtigsten Schadstoffe nach den fahrzeugspezifischen Emissionsstufen abgeschätzt werden. Daraus lassen sich über die gewählten Kostenansätze (4.3.1) die externen Kosten für die einzelnen Fahrzeugkategorien und verschiedenen Treibstoffe berechnen (4.3.2).

Angesichts der vielfältigen Variablen, welche die Emissionen beeinflussen, müssen jedoch einige vereinfachende Annahmen getroffen werden. Diese Annahmen werden für die einzelnen Berechnungsschritte eingehend beschrieben. Bezüglich der Fahrleistungen und den daraus resultierenden Emissionen im Tessin gelten die folgenden vereinfachenden Annahmen:

Die Gesamtfahrleistung im Jahr 2003 wird über die im Tessin immatrikulierte Personenwagen- und Motorradflotte und die durchschnittliche Fahrleistung pro Fahrzeug gemäss dem Mikrozensus 2000 berechnet.

Die Emissionen dieser Gesamtfahrleistung werden vollumfänglich dem Kanton Tessin zugerechnet und die Emissionen anderer Verkehrsteilnehmer werden vernachlässigt.

Die Fahrleistung beruht nicht auf den üblichen Kategorien wie Binnen, Ziel-, Quell- und Transitverkehr aus den Verkehrsstatistiken.

Neben den Emissionen spielen für die Gesundheit und für die externen Kosten die Immissionen resp. die Exposition eine zentrale Bedeutung. Die Immissionen werden durch meteorologische Faktoren, wie Sonneneinstrahlung, Wind und Regen, stark beeinflusst. Ebenfalls bewirkt die Verfrachtung von Emissionen aus der Lombardei in den südlichen Kantonsteil eine Erhöhung der Immissionen und eine Verschlechterung der Luftqualität. Diese Faktoren können in der vorliegenden Studie jedoch nicht detailliert berücksichtigt werden.

4.2 Mengengerüst zur Berechnung der Emissionen des privaten Strassenverkehrs

4.2.1 Zusammensetzung der Fahrzeugflotte im Kanton Tessin

Die Zusammensetzung der Personenwagen- und Motorradflotte bildet die Grundlage zur Berechnung der Emissionen nach dem gewählten Bottom-up-Ansatz. Diese hat sich in den letzten Jahren wegen der starken Zunahme von Dieselfahrzeugen stärker gewandelt als in der Vergangenheit. Diese Entwicklung überlagert die kontinuierliche Umschichtung der Fahrzeugflotte und ist direkt von den Kaufgewohnheiten abhängig.

Tabelle 9 zeigt die quantitative Entwicklung des Personenwagenbestandes nach Treibstoffart im Kanton Tessin, wo sich der Bestand der Dieselfahrzeuge in 4 Jahren mehr als verdoppelt hat. Die Gesamtmenge der immatrikulierten Fahrzeuge hat im gleichen Zeitraum um etwas mehr als 5% zugenommen. Diese Veränderung schlägt sich direkt auf die Gesamtemissionen und externen Kosten nieder.

Tabelle 9: Entwicklung des Personenwagenbestandes im Kanton Tessin

	Benzin	Diesel	Elektro- fahrzeuge	VEL2	Total
2000	172'393	10'059	143	-	182'595
2001	173'513	12'294	163	62	186'032
2002	173'074	14'869	221	309	188'473
2003	169'939	17'935	247	826	188'947
2004	168'605	22'353	277	1'604	192'839

Quelle: BfS (2004) Statistik der Strassenfahrzeuge in der Schweiz und VEL2

Wie aus der Tabelle 9 hervorgeht hat sich der Bestand der Dieselfahrzeuge in 4 Jahren mehr als verdoppelt, während die Zahl der Benzinfahrzeuge leicht rückgängig war. Diese markante Zunahme von Dieselfahrzeugen ist besonders für die Emissionsentwicklung relevant.

Gleichzeitig findet auch eine kontinuierliche Umschichtung der Fahrzeugflotte statt. Ältere Fahrzeuge werden allmählich durch Neuwagen ersetzt, womit Fahrzeuge mit hohen Emissionen (EURO0) aus dem Verkehr gezogen und der Anteil von Fahrzeugen mit höheren Emissionsstandards und emissionsärmeren Antriebstechnologien zunimmt. In Tabelle 10 wird die Zusammensetzung des Personenwagenbestandes nach Emissionskonzepten für das Jahr 2000 und 2003 aufgezeigt. Sie zeigt deutlich, dass die Anzahl von Fahrzeugen mit höheren Emissionsstandards (EURO2, 3 und 4) für Benzinmotoren zunimmt, während die mit tieferen Emissionsstufen rückgängig ist. Eine analoge Entwicklung ist bei den Dieselfahrzeugen zu beobachten.

Tabelle 10: Aufteilung der Personenfahrzeuge nach Emissionsstufen im Kanton Tessin

Emissionskonzepte	Anzahl Fahrzeuge 2003	Anteil Fahrzeuge 2003 (in %)	Anteil Fahrzeuge 2000 (in %)
Benzinfahrzeuge			
Konv	4'327	2.30	5.3
Gkat<91	16'522	8.79	10.9
EURO1/FAV1	48'779	25.96	38.6
EURO2	60'580	32.24	29.6
EURO3	22'029	11.73	8.3
EURO4	17'702	9.45	0
Dieselfahrzeuge			
Konv	535	0.28	0.1
FAV1	2'409	1.28	3.4
EURO2	4'551	2.42	2.9
EURO3	8'031	4.27	0.9
EURO4	2'409	1.28	0

Quelle: BfS, (2004)

4.2.2 Fahrleistungen der Personenwagen im Tessin

Zur Berechnung der Fahrleistung und einer Abschätzung der Emissionen bestehen weitere Differenzierungsmöglichkeiten. So gilt es, die Fahrleistungen nach Hubraumkategorien zu unterscheiden, um die effektiven Emissionen zu berechnen. Weiter muss auch die räumliche Verteilung der Emissionen berücksichtigt werden, da die externen Kosten von der Exposition der Bevölkerung abhängen. Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Schritte beschrieben, welche diesen Berechnungen zu Grunde liegen.

Schritt 1: Mittlere Fahrleistung nach Hubraumkategorien im Tessin

Die Fahrzeugflotte wird nach drei Hubraumklassen (< 1.4 Liter; 1.4 – 2.0 Liter; > 2.0 Liter) für Benzinfahrzeuge und 2 Hubraumklassen (1.4 – 2.0 Liter; > 2.0 Liter) für Dieselfahrzeuge gegliedert. Die Aufteilung der Flotte nach Hubraumklassen für das Tessin erfolgt anhand der Durchschnittswerte des Schweizer Personenwagenbestandes (Buwal 2000).

Tabelle 11: Fahrleistung nach Hubraum und Treibstoffart im Tessin für konventionelle Personenwagen nach Schweizer Ansatz (Jahr 2003)

Hubraumkategorie und Treibstoffart	Benzin < 1.4 l	Benzin 1.4 l-2 l	Benzin 2.0 l	Diesel < 2.0 l	Diesel > 2.0 l	Total
Anteil Fahrleistung	18.40%	41.61%	26.58%	6.7%	6.7%	100%
Fahrleistung (in Mio. km)	459	1'037	662	167	167	2'492
Anteil Fahrzeuge	24.16%	46.49%	19.75%	4.75%	4.75%	100%
Fahrzeuge	45'520	87'595	37'200	8'968	8'968	188'251
Durchschnittliche Fahrleistung (km)	10'080	11'840	17'800	18'600	18'600	13'200

Quelle: BfS und Buwal – Bericht Nr.355

Die Gesamtfahrleistung im Tessin für das Jahr 2003 ergibt sich aus der durchschnittlichen Fahrleistung und der Anzahl Fahrzeuge für jede Kategorie. Die Gesamtfahrleistung beträgt gemäss der Tabelle 11 rund 2'550 Mio. Fahrzeugkilometer (Fzkm). Die Aufteilung der Fahrleistung nach Treibstoffart und Hubraum zeigt deutlich, dass die Dieselfahrzeuge eine

höhere mittlere Fahrleistung aufweisen als benzinbetriebene Fahrzeuge. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass Dieselfahrzeuge wegen dem geringeren Treibstoffverbrauch von Personen gekauft werden, die eine überdurchschnittliche hohe Mobilität aufweisen.

Schritt 2: Zusammensetzung der Fahrleistungen nach Emissionskonzepten

Die Aufteilung der Gesamtfahrleistung auf die verschiedenen Emissionsstufen beruht auf der Annahme, dass im Tessin die Flotte die gleiche Zusammensetzung wie in der Schweiz hat. Die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte nach Emissionsstufen wird unter der Annahme einer durchschnittlichen jährlichen Erneuerung von 12% geschätzt werden.

Table 12: Entwicklung der Fahrleistungen im Tessin nach Emissionsstufen gemäss Schweizer Ansatz (Jahr 2000)

Emissionskonzepte	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Benzinfahrzeuge						
Konv	4	3.4	2.8	2.2	1.6	1
Gkat<91	15	12.8	10.6	8.4	6.2	4
EURO1/FAV1	35	31.6	28.2	24.8	21.4	18
EURO2	35	33.6	32.2	30.8	29.4	28
EURO3	1	4.4	7.8	11.2	14.6	18
EURO4	0	3	6	9	12	15
Dieselfahrzeuge						
Konv	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0
XXIII/ FAV1	3	2.6	2.2	1.8	1.4	1
EURO2	4	3.8	3.6	3.4	3.2	3
EURO3	0	2	4	6	8	10
EURO4	0	0.6	1.2	1.8	2.4	3

Quelle: Eigene Schätzung aufgrund des Buwal-Berichtes Nr 355

Entgegen gängigen Vorurteilen wird im Buwal – Bericht 355 deutlich nachgewiesen, dass die technologischen Verbesserungen trotz einer Zunahme der Verkehrsleistung zu einer kontinuierlichen Abnahme der Emissionen und damit auch der externen Kosten führen. Dies geht direkt auf die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte nach den Emissionskonzepten in Tabelle 12 zurück.

Schritt 3: Die Verteilung der Fahrleistungen nach Strassenkategorien

Die Belastung der Bevölkerung durch Luftschadstoffemissionen hängt von der räumlichen Verteilung der Emissionen ab. Eine Möglichkeit, die räumliche Verteilung der Emissionen zu berücksichtigen, besteht darin, die Fahrleistungen auf die verschiedenen Strassenkategorien zu verteilen. Diese Aufteilung stellt eine grobe Annäherung an die effektiven Immissionsverhältnisse dar.

Gemäss dem Fahrverhalten nach dem Mikrozensus aus dem Jahre 2000 wird die Annahme getroffen, dass je ein Drittel aller Fahrzeugkilometer auf den Autobahnen (AB), ausserorts (AO) und innerorts (IO) gefahren werden. Diese Aufteilung kommt allgemein als Faustregel zur Anwendung, obwohl sie von verschiedenen Experten in Frage gestellt wird. Gemäss den Expertenmeinungen machen die Fahrleistungen auf der Autobahn bis zu 50% des Verkehrsvolumens aus und bilden das einzige Wachstumssegment des privaten Strassenverkehrs. In der vorliegenden Studie wird die Aufteilung nach dem Mikrozensus beibehalten, was tendenziell zu einer Überschätzung der externen Kosten führt, da die Kostenansätze für die auf der Autobahn verursachten Emissionen tiefer liegen.

Anhand der Emissionsfaktoren für die verschiedenen Strassenkategorien (Buwal 2000) können die Emissionen differenziert ermittelt werden. Den Berechnungen liegt dabei die Annahme zu Grunde, dass die Fahrleistungen auf Autobahnen, ausserorts und innerorts im Kanton Tessin dem schweizerischen Mittelwert entsprechen. Gemäss dieser Annahme haben im Tessin die Fahrleistungen und damit die räumliche Verteilung der Schadstoffe die gleiche Struktur wie in der restlichen Schweiz. Diese räumliche Verteilung der Emissionen erlaubt zudem eine grobe Differenzierung der Schadstoffbelastung (Exposition) der Bevölkerung durch die Verkehrsemissionen.

In Tabelle 13 ist das Mengengerüst der Fahrleistungen nach Emissionsstufen aufgeführt. Für die Berechnung der Emissionen und externen Kosten wurde dieses Mengengerüst zusätzlich nach den Hubraumkategorien differenziert. Aus Platzgründen wird das einfache Mengengerüst dargestellt.

Tabelle 13: Aufteilung der Fahrleistung im Tessin für das Jahr 2003 nach Emissionskonzepten und Strassenkategorie (in 1'000 km)

Emissionskonzepte	Innerorts	Ausserorts	Autobahn
Benzinfahrzeuge			
Konv.	18'276	18'276	18'276
Gkat<91	69'780	69'780	69'780
EURO 1/FAV1	206'017	206'017	206'017
EURO2	255'859	255'859	255'859
EURO3	93'040	93'040	93'040
EURO4	74'764	74'764	74'764
Dieselfahrzeuge			
Konv.	3'323	3'323	3'323
XXIII/ FAV1	14'953	14'953	14'953
EURO2	28'244	28'244	28'244
EURO3	49'842	49'842	49'842
EURO4	14'952	14'952	14'952

Quelle: Eigene Berechnungen IRE aufgrund der Auswertung des Mikrozensus 2000

Mit diesen drei Schritten wird im vorliegenden Bericht die Fahrleistung im Kanton Tessin nach technischen und räumlichen Kriterien gegliedert. Die Berechnung der Verkehrsemissionen beschränkt sich auf diese Parameter, obwohl das Handbuch zu den Emissionsfaktoren (HBEFA) detailliertere Analysen zulässt. So sind beispielsweise Faktoren wie die Steigungen, Durchschnittstemperaturen oder Fahrmuster nicht berücksichtigt worden. Denn jede weitere Verfeinerung der Analyse erfordert weitere Annahmen, womit die Berechnungsgrundlage immer unsicherer wird³⁴.

³⁴ Weitere Faktoren wie der Fahrstil werden nicht berücksichtigt, obwohl damit die Emissionen stark reduziert werden können, wie mit Ecodrive gezeigt wurde. So lässt sich alleine mit einem gemässigten Fahrstil bis zu 30% des Treibstoffverbrauches reduzieren.

4.2.3 Von den Emissionsfaktoren zu den Emissionen

Für die Berechnung der Emissionen werden die Emissionsfaktoren im Warmzustand (Fahrzeug in Betrieb) und im Kaltzustand (Kaltstart) gesondert betrachtet, da letztere für die flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) einen wesentlichen Anteil an den Gesamtemissionen ausmachen. Für NMVOC und Benzol sind auch die Emissionsfaktoren bei der Verdampfung nach Abstellen und bei der Tankatmung berücksichtigt worden. Diese Emissionen werden zu denjenigen im Warmzustand addiert.

Tabelle 14: Berücksichtigte Schadstoffe für Warmzustand, Startzuschläge, Verdampfung nach Abstellen und infolge Tankatmung

Zustand	CO	NMVOC	Benzol	SO ₂	NO _x	CO ₂	PM
Warmzustand	X	X	X	X	X	X	X
Startzuschläge	X	X	X	X	X	X	X
Verdampfung nach Abstellen	-	X	X	-	-	-	-
Verdampfung infolge Tankatmung	-	X	X	-	-	-	-

Quelle: HBEFA (Infras 2004)

Die Berechnungen der Emissionen für die Startzuschläge bzw. die Verdampfung nach Abstellen des Motors beruhen auf der Annahme, dass ein Fahrzeug durchschnittlich 2.75 mal pro Tag an- und abgestellt wird (Buwal Nr. 255), was zu rund 1'000 An- und Abschaltvorgängen pro Jahr führt.

Für jeden Schadstoff wurden 33 verschiedene Emissionsfaktoren berücksichtigt. Diese Faktoren unterscheiden sich nach Treibstoffart, Emissionsstufe der Fahrzeuge sowie Strassenkategorie. Gemäss dieser Aufgliederung liegen für Benzinfahrzeuge 18 und für Dieselfahrzeuge 15 verschiedene Emissionsfaktoren vor. Die Gesamtemissionen der berücksichtigten Schadstoffe für das Jahr 2003 sind in Tabelle 15 enthalten.

Tabelle 15: Verteilung der Schadstoffe im Tessin gemäss Schweizer Ansatz (Jahr 2003)

Schadstoff in Tonnen (Anteil in %)	Fahrzeugkategorie		Total
	Konventionell	Effizient	
CO	3'047 (96.9)	96 (3.0)	3'143.0 (100)
NOx	817 (97.4)	22 (2.6)	839 (100)
PM 10	18 (93.9)	1.2 (6.1)	19.2 (100)
PM 10 (Abrasion)	29.3 (89.2)	3.6 (10.8)	32.9 (100)
NMVOC	202.9 (99.2)	1.8 (0.8)	204.7 (100)
SO ₂	29.5 (95.2)	1.5 (4.8)	31 (100)
Benzol	19.8 (99.6)	0.1 (0.4)	19.9 (100)
CO ₂	23'8867 (89.4)	2'826 (10.6)	26'713 (100)
Fahrleistung in Mio. Fzkm (in %)	2'218 (89.2)	268 (10.8)	2'486 (100)

Quelle: Berechnungen IRE

Die Fahrleistung der (umwelt-) effizienten Fahrzeuge (EURO4) beläuft sich auf 10.8%, während deren Anteil an den Emissionen fast aller Schadstoffe geringer ist. Bei den CO₂-Emissionen ist ihr Anteil jedoch nur wenig tiefer als der Anteil ihrer Fahrleistungen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Fahrzeuge der EURO4-Norm nicht notwendigerweise den Standard für Energieeffizienz erfüllen, der von VEL2-Fahrzeugen gefordert wird und mit 120g /km CO₂-Emissionen definiert ist.

Zur Abschätzung der externen Kosten von Personenfahrzeugen und Motorrädern werden die Emissionen sowohl beim Fahren wie auch beim Tanken (Tankatmung) und Starten des Fahrzeuges (Kaltstart) berücksichtigt. Insbesondere bei den flüchtigen organischen Verbindungen ist der Anteil des Schadstoffausstosses beim Fahren deutlich geringer als beim

Motoranstellen oder Tanken. In Tabelle 16 wird der Anteil der Emissionen durch Kaltstart und Tankatmung an den Gesamtemissionen angegeben.

Tabelle 16: Anteil der Emissionen durch den Startvorgang und die Tankatmung

Schadstoffe	Emissionsanteil (in %)
CO	77.9
NO _x	15.7
PM10	15.1
NMVOC	71.7
SO ₂	9.1
Benzol	70.1
CO ₂	5.0

Quelle: Berechnungen IRE

Die Verteilung der verschiedenen Emissionen auf die drei Strassenkategorien ist in Tabelle 17 zusammengefasst. Die Berechnung der Emissionen der einzelnen Fahrzeugkategorien basiert auf den Emissionsfaktoren aus dem HBEFA (Infras 2004).

Tabelle 17: Verteilung der Schadstoffe im Tessin gemäss Schweizer Ansatz (Angaben in %)

Schadstoff*	Autobahn	Ausserorts	Innerorts	Total
CO	15	13	72	100
NO _x	36	26	38	100
PM10	36	31	33	100
NMVOC	24	25	51	100
SO ₂	34	27	39	100
Benzol	24	25	51	100
CO ₂	30	30	40	100

* keine Daten für 1-3 Butadiene.

Die Verteilung der Schadstoffemissionen nach Strassenkategorien zeigt für die einzelnen Strassenkategorien ein sehr unterschiedliches Muster. Emissionen, die beim Kaltstart oder bei der Tankatmung erfolgen, werden in der Tabelle dem Innerortsverkehr zugeordnet, was zu einem hohen Anteil der CO-Emissionen sowie der VOC und Benzol innerorts führt.

Exkurs: Emissionsfaktoren VEL2

Das Ziel von VEL2 ist die Förderung von energieeffizienten Fahrzeugen unabhängig von der Antriebsform. Das zentrale Kriterium bilden die Emissionen von CO₂. Energieeffiziente Fahrzeuge nach VEL2 dürfen höchstens 120g/km CO₂ emittieren. Gleichzeitig erfüllen alle VEL2-Fahrzeuge die Abgasnormen EURO4. Tabelle 18 zeigt die im Rahmen von VEL2 geförderten Fahrzeuge mit den entsprechenden Emissionsfaktoren. Der Emissionsfaktor VEL2 für die CO₂-Emissionen beruht auf einem Mittelwert aller berücksichtigten Fahrzeugmodelle. In den grau schraffierten Zellen sind die Typen von Personenwagen aufgeführt, die im Jahr 2003 nicht immatrikuliert waren.

Tabelle 18: Die in Verkehr gesetzten effizienten Fahrzeugmodelle und deren Emissionsfaktor für CO₂

Modell	Treibstoff	Anzahl	Emissionsfaktor CO ₂ in g/km
A2 1.4 TDI	Diesel	7	116
A2 1.4 TDI 90CV	Diesel	0	116
A2 ECO 1.2 TDI 3L	Diesel	73	81
C2 1.4 HDi	Diesel	0	113
C3 1.4 HDi	Diesel	0	115
Cuore 1.0, 5 porte	Benzin	49	114
Cuore Eco Top e S	Benzin	11	109
Punto 1.3 JTD	Diesel	46	114
Civic IMA	Ibrid	0	116
Astra ECO4 1.7 CDTI	Diesel	40	118
Corsa 1.3 CDTI Easytronic	Diesel	0	119
Corsa Eco Easytronic 1.0	Benzin	31	118
Fortwo 45 kW	Benzin	149	113
Fortwo 37 kW	Benzin	17	113
cdi 30 kW	Diesel	132	90
Roadster 45 kW	Benzin	0	116
Alto 1.1 GL	Benzin	145	119
Prius	Ibrid	30	120
Prius II	Ibrid	0	104
Yaris Eco	Benzin	4	120
Lupo 1.2 TDI 3L	Diesel	88	81
Lupo 1.4 16V FSI	Benzin	4	118

Quelle: VEL2

Zur Berechnung der externen Kosten der geschätzten Emissionswerte wurden die kategorie-spezifischen CO₂-Emissionswerte verwendet, während für die andern Schadstoffe die Emissionswerte von EURO4 berücksichtigt wurden. Diese vereinfachende Annahme wurde getroffen, obwohl bei den Personenwagen aus der VEL2- Liste sowohl die CO₂ als auch die andern Schadstoffemissionen tiefer liegen als bei EURO4. Nun konnten aber nicht die spezifischen Emissionswerte für die einzelnen Modelle berücksichtigt werden. In der vorliegenden Studie unterscheidet sich folglich die Kategorie der energieeffizienten Personenwagen, welche im Rahmen von VEL2 gefördert werden, von EURO4-Fahrzeugen nur bezüglich der externen Kosten der CO₂-Emissionen.

4.3 Bestimmung der externen Kosten

4.3.1 Auswahl des Kostenansatzes für die verschiedenen Externalitäten

Die Berechnung der externen Kosten stützt sich auf verschiedene, in Europa und der Schweiz durchgeführte Studien. Die Kostenansätze für die einzelnen Schadstoffe können sehr weit auseinander liegen, wie Tabelle 19 am Beispiel des PM10 Wertes für verschiedene Länderstudien zeigt.

Tabelle 19: Kostenansätze am Beispiel der PM10-Emissionen (Angaben in CHF)

Kostenansätze CHF/Tonne PM10	Innerorts	Autobahn/Ausserorts
Belgien	418'608	103'490
Deutschland	222'746	18'909
Finnland	174'763	9'339

Quelle: Friedrich & Bickel (2001)

Die externen Kosten hängen nicht nur von der Menge der emittierten Stoffe ab, sondern variieren mit der Anzahl der betroffenen Personen resp. Gebäuden. In der neusten Studie zu den Gesundheitskosten (ARE 2004) ist die Schadstoffbelastung der Schweizer Bevölkerung nach räumlichen und demographischen Kriterien im Detail aufgeschlüsselt. Die vorliegende Studie

unterscheidet nur zwischen städtischen oder dicht besiedelten Gebieten (Innerorts) und weniger stark bevölkerten Gebieten (Autobahn/Ausserorts). Diese Differenzierung erlaubt, der effektiven nach Standort differenzierten Wirkung einer bestimmten Luftschadstoffmenge grob Rechnung zu tragen.

So sind beispielsweise die externen Kosten im ländlichen Finnland rund 10 mal tiefer als in städtischen Verhältnissen in Belgien. Anhand dieses Beispiels lässt sich die Bedeutung der Wahl des Kostenansatzes für das Endergebnis leicht vorstellen. Da es keine spezifischen Kostenansätze für die Schweiz oder das Tessin gibt, musste ein möglichst plausibler Kostenansatz gewählt werden. Die folgenden Berechnungen beziehen sich auf die vergleichsweise hohen Kostenansätze für Belgien aus der ExternE-Studie. Obwohl Belgien von der Bevölkerungsdichte und den topographischen Gegebenheiten her nicht mit dem Tessin vergleichbar ist, wurde dieser Kostenansatz aus den folgenden Überlegungen gewählt:

- Die Besiedlung im Tessin beschränkt sich weitgehend auf die Talböden, die ungefähr 15 % der Kantonsfläche ausmachen.
- Allein auf dieser Fläche leben 80% der Bevölkerung, d.h. die Bevölkerungsdichte bezogen auf die besiedelte Fläche ist relativ hoch. Ein hoher Anteil der Bevölkerung ist entsprechenden Emissionswerten ausgesetzt.
- Die Exposition der Bevölkerung wird durch die topographischen und meteorologischen Verhältnisse verstärkt.

Die Differenzierung der Kostenansätze nach Stadt und Land entspricht zudem der Unterscheidung, welche für die Fahrleistungen gemacht werden kann und wofür unterschiedliche Emissionsfaktoren vorliegen. Dies erlaubt eine räumliche Differenzierung der Emissionen und der externen Kosten. Der gewählte Bottom-up-Ansatz ist damit in sich konsistent. Eine Ausnahme bilden die CO₂-Emissionen, die nur für die globale Klimabelastung relevant sind. Die berücksichtigten Kostenansätze für die einzelnen Schadstoffe, welche für die Luftbelastung berücksichtigt wurden, sind Tabelle 20 aufgelistet.

Tabelle 20: Verwendete Kostenansätze in CHF pro Tonne für die berücksichtigten Schadstoffe (Jahr 2000)

Kostenansatz ExternE (CHF/Tonne)			
Schadstoff	Innerorts	Ausserorts/ Autobahn	Global
CO	5.20	1.37	
NOx indirekt	5'465	4'920	
PM 10 (Verbrennung)	690'703	170'759	
PM 10 (Abrasion)	690'703	170'759	
NMVOc	2'833	2'833	
SO ₂ direkt	17'074	3'831	
SO ₂ indirekt	7'326	6'509	
Benzol	4'201	1'064	
CO ₂ tief			33
CO ₂ hoch			127

Quelle: Friedrich & Bickel (2001)

Der Kostenansatz für CO₂ beträgt nach ExternE 20 Euro/Tonne. Dieser Wert muss als untere Grenze betrachtet werden. Er ist jedoch deutlich höher als der im CO₂-Zertifikathandel 2004 realisierte durchschnittliche Preis von 5 Euro pro Tonne³⁵. Er liegt aber deutlich unter einer möglichen CO₂-Abgabe, welche auf 64 CHF ab 2006 und ab 2008 auf 128 CHF pro Tonne CO₂ veranschlagt wurde, was ungefähr 30 Rappen pro Liter Treibstoff entspricht (Bundesbeschluss vom 11. Juni 2004 und Vernehmlassungstext vom 20. Oktober 2004). Dieser Wert wurde in der vorliegenden Studie als obere Grenze betrachtet und auf das Jahr 2003 zurückgerechnet, was ungefähr den 77 Euro/Tonne CO₂ in Tabelle 20 entspricht. Diese Ausführungen zeigen, dass die

³⁵ Dieser Wert liegt jedoch in der Grössenordnung der vom Bundesrat im März 2005 vorgeschlagenen Belastung von Treibstoffen mit einem Klimarappen.

Wahl des Kostenansatzes für CO₂-Emissionen mit enormen Unsicherheiten verbunden und weitgehend eine Ermessensfrage ist.

Die Tabelle 20 zeigt, wie unterschiedlich die monetären Auswirkungen der einzelnen Schadstoffe je ausgestossener Tonne sind. Daraus lässt sich leicht verstehen, weshalb sich neuere Studien zu den gesundheitlichen Folgekosten ausschliesslich auf die Feinstaubemissionen konzentrieren. Feinstaub entsteht bei der Verbrennung und durch Abrasion. Für beide Feinstaubarten musste der gleiche Kostenansatz gewählt werden, da noch keine spezifischen Angaben zu deren externen Kosten vorliegen.

Die Annahme, welche Feinstaub aus der Abrasion als gleich gesundheitsschädlich einstuft wie jener aus der Verbrennung, der wegen seiner geringeren Teilchengrösse lungengängiger ist, entspricht nicht mehr den neusten Erkenntnissen. In der vorliegenden Studie wird jedoch aufgrund fehlender Daten davon ausgegangen, dass sich Feinstaubemissionen, die durch Abreibung entstehen, für die verschiedenen Fahrzeugkategorien nicht wesentlich unterscheiden.

4.3.2 Externe Kosten der Luftschadstoffe des privaten Strassenverkehrs im Tessin

Mit den nach Kategorien differenzierten Fahrleistungen und den Emissionsfaktoren aus dem Handbuch (HBEFA, Infrac 2004) können die externen Kosten berechnet werden. Die Resultate sind in Tabelle 21 aufgeführt. Für diesen Ansatz wurden drei Emissionswerte (AB/AO, IO) und die entsprechenden Kostenansätze für städtische und ländliche Verhältnisse verwendet.

Tabelle 21: Externe Kosten für die Schadstoffe und für die Gesamtfahrleistungen der Tessiner Personenwagenflotte für das Jahr 2003 (in 1'000 CHF)

Fahrzeugtyp	Konventionell		Effizient (EURO4/VEL2)		Elektro- mobile
	Schadstoffe	Benzin	Diesel	Benzin	
CO		40	0.34	0.70	0.41
NOx indirekt		4'084	830	46	74
PM (10)		1'536	5'651	178	307
PM (Abrasion)		8'760	1'312	1'018	203
SO2 direkt		201	63	21	8
SO2 indirekt		149	48	15	7
NMVOC		1'954	50	38	5
Benzol		163	1	2	0
Total		16'886	7'953	1'320	604
Fahrleistung in Mio. km		1'929	289	224	44
Kosten in Rp./Fzkm		0.88	2.75	0.59	1.36

Quelle: Berechnungen IRE

Die externen Kosten für die Luftbelastung pro Fahrzeugkilometer unterscheiden sich nach Treibstoffart und Emissionskonzept erheblich. Deutlich wird die enorme Belastung durch den Feinstaub, der vorwiegend bei der Dieselerverbrennung entsteht. Dieser Wert kann mit effizienten Fahrzeugen und insbesondere mit Partikelfiltern stark verringert werden. Da jedoch keine Angaben über die Anzahl der mit einem Dieselfilter ausgerüsteten Fahrzeuge existieren, konnte dieser Effekt in den Berechnungen nicht berücksichtigt werden. In Tabelle 22 werden die externen Kosten für CO₂ aufgeführt. CO₂-Emissionen wirken als Treibhausgas auf den globalen

Klimawandel, dessen Auswirkungen völlig unabhängig vom Emissionsstandort sind. Der Wirkungspfad ist somit nicht direkt mit der verkehrsexponierten Bevölkerung oder den Gebäuden verknüpft und eine räumliche Differenzierung nach den obigen Strassenkategorien erübrigt sich.

Tabelle 22: Durchschnittskosten für CO₂ (Emissionsfaktoren gemäss HBEFA, Infrac 2004 und VEL2) in 1'000 CHF

Fahrzeugtyp Schadstoff	Konventionell		Effizient (EURO4)		Effizient (VEL2)	
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel
CO ₂ -Emissionen in 1'000 Tonnen	401	54	44	8	0.70	0.65
Kosten CO ₂ tief	13'000	1'800	1'450	260	23	21
Kosten CO ₂ hoch	51'000	6'960	5'640	1'000	90	82
Kosten Rp./Fzkm tief	0.69	0.63	0.65	0.59	0.30	0.26
Kosten Rp./Fzkm hoch	2.65	2.40	2.52	2.29	1.16	0.98

Quelle: Berechnungen IRE (gerundete Werte)

Die Gesamtkosten für die CO₂-Emissionen variieren je nach Kostenansatz zwischen 17 und 67 Mio. CHF für das Jahr 2003. Im Gegensatz zu den externen Kosten der Luftschadstoffe sind im Bereich der CO₂-Emissionen die Unterschiede zwischen den Fahrzeugkategorien und Treibstoffarten Benzin und Diesel relativ gering.

4.3.3 Die externen Kosten von Motorrädern

Die Berechnung der von Motorrädern verursachten externen Kosten durch Luftverschmutzung erfolgt nach dem gleichen Schema wie für die Personenwagen. Als Referenzjahr dient das Jahr 2002, da die Gesamtzahl der im Jahr 2003 im Verkehr stehenden Motorräder für das Tessin zur Zeit der Analyse nicht zur Verfügung stand. Mit 32'692 Motorräder verkehren im Tessin

ungefähr 6% der in der Schweiz angemeldeten Motorräder (ohne Mofa). Tabelle 23 zeigt den Gesamtbestand und die Fahrleistung im Tessin.

Tabelle 23: Gesamtbestand der Motorräder im Kanton Tessin

Basisdaten Tessin 2002	
Motorräder Total	32'692
Fahrleistung (1'000 km)	102'024

Quelle: BfS (2000)

Die Zusammensetzung der Flotte ist bekannt, doch sind die Basisdaten leider nicht genügend detailliert, um vereinfachende Annahmen zu umgehen. Die Aufteilung in verschiedene Motorradkategorien erfolgt nach Zwei- und Viertaktmotoren und dem Hubraum (MR 2T <50,>50 bis >750), die mit Ausnahme für die Emissionsstufen „<EURO1“ und „EURO1“ bekannt sind. In Anbetracht der Tatsache, dass eine Motorradkategorie für das Jahr 2002 zwei Emissionsstufen enthält, musste folgende Annahme getroffen werden: Die Motorräder wurden hälftig auf zwei Emissionsstufen aufgeteilt. Tabelle 24 enthält die prozentuale Aufteilung nach den verschiedenen Motorradkategorien. Nicht aufgeführt in der folgenden Tabelle sind die Elektroscooter.

Tabelle 24: Verteilung der Motorräder nach Kategorien und Emissionsstufen für das Jahr 2002

Emissionsstufe	Motorradkategorien				
	MR 2T <50	MR 2T >50	MR 4T <250	MR 4T 250/750	MR 4T >750
2T/<EURO 1		16.50%			
2T/EURO 1		16.50%			
4T/<EURO 1			6%	12.50%	9%
4T/EURO 1			6%	12.50%	9%
<EURO 1	6%				
EURO 1	6%				
Total	12%	33%	12%	25%	18%

Quelle: BUWAL, Emissionsfaktoren

Für die Berechnung der externen Kosten wurde die Gesamtfahrleistung der Motorräder im Jahre 2002, wie für die Personenwagen, zu je einem Drittel auf die verschiedenen Strassenkategorien verteilt. Tabelle 25 gibt die totalen externen Kosten und die Durchschnittskosten der Luftverschmutzung für Motorräder an. Für die Feinstaubzeugung von Motorrädern liegen noch keine spezifischen Emissionsfaktoren vor. Aus diesem Grund werden für die Elektroscooter im Gegensatz zu den Elektromobilen keine Luftschadstoffemissionen ausgewiesen. Im Jahr 2003 standen 242 Elektroscooter im Kanton Tessin in Betrieb. Die Berechnungen der externen Kosten beruhen auf der Annahme, dass Motorräder und Elektroscooter auf die gleiche durchschnittliche jährliche Fahrleistung von 3'121 km kommen.

Tabelle 25: Gesamt- und Kilometerkosten für Motorräder im Tessin nach dem Kostenansatz
ExternE in CHF

Kostenansatz ExternE Fahrzeugtyp	Motorräder	Elektroscooter
CO	2'300	
NOx indirekt	75'400	
PM10 (Abrasion)		
SO ₂ direkt	3'700	
SO ₂ indirekt	3'100	
NMVOC	1'182'000	
Benzol	351'400	
Total CHF 2002	1'617'900	
Fahrleistung in 1'000 km	102'023	752
Kosten Rp./Fzkm	1.59	0.00

Quelle: Berechnungen IRE (gerundete Werte)

Obwohl für die Motorräder keine Feinstaubemissionen berücksichtigt werden konnten, sind deren externe Kosten für die Luftbelastung pro Kilometer mit denen effizienter Dieselfahrzeuge vergleichbar. (Vgl. Tabelle 21) Die Reduktionsmöglichkeiten von externen Kosten durch den Einsatz von Elektroscootern sind somit beträchtlich.

Die externen Kosten der klimarelevanten CO₂-Emissionen liegen bei Motorrädern wegen dem relativ geringen Energieverbrauch pro Kilometer unter den Werten der konventionellen und effizienten Personewagen. Das zeigt Tabelle 26.

Tabelle 26: Durchschnittskosten der CO₂-Emissionen Kostenansatz ExternE

Fahrzeugtyp	Motorräder	Elektroscooter
Schadstoffe		
CO ₂ (in Tonnen)	11'460	
Kosten CO ₂ tief	375'000	
Kosten CO ₂ hoch	1'444'000	
Fahrleistung in 1'000 Fzkm	102'000	752
Kosten in Rp/Fzkm		
Kosten CO ₂ tief	0.37	
Kosten CO ₂ hoch	1.42	

Quelle: Berechnungen IRE (gerundete Werte)

4.3.4 Lärmbedingte externe Kosten

Der Lärm stellt eine weitere wichtige Komponente der externen Kosten sowohl von Personenwagen wie auch von Motorrädern dar. Lärm wird als unerwünschter, belästigender oder schädigender Schall definiert. Seine Wirkungen hängen von den akustischen Eigenschaften wie zum Beispiel dem Lärmpegel, der Dauer der Einwirkung, Frequenzzusammensetzung und weiteren Faktoren ab. Die Belastung durch Lärm führt zu verschiedenen gesundheitlichen Störungen (Iten und Maibach 1992). Bezüglich Lärmemissionen liegen keine spezifischen Werte für Motorräder vor. Die Lärmbelastung durch den Verkehr wird ausser für den Fluglärm nicht nach der Lärmquelle ausgewiesen. Deshalb kann der Bottom-up-Ansatz für die Berechnung der externen Lärmkosten nicht angewendet werden. Die Berechnung ist deshalb mit dem Top-down-Ansatz erfolgt, wobei keine Unterscheidung zwischen konventionellen und effizienten Fahrzeugen vorgenommen werden konnte. Für Elektromobile wurden keine Lärmkosten berechnet. Lärmkosten entstehen insbesondere in Agglomerationen und in dicht besiedelten Gebieten, wo Elektromobile wegen den relativ geringen Geschwindigkeiten kaum

Lärm verursachen³⁶. Es wird jedoch davon ausgegangen, dass der gewählte Kostenansatz auch auf Motorräder für die Ermittlung der externen Lärmkosten auf die Gesundheit und die Verminderung von Mietwerten angewandt werden kann.

Zur Berechnung der Lärmkosten wurde für die vorliegende Studie ein Wert von 1.04 Rp/Fzkm für Personenwagen und 2.04 Rp/Fzkm für Motorräder verwendet, der aus verschiedenen untersuchten Studien gemittelt wurde (siehe Anhang). Dieser Wert ist für dicht besiedelte Gebiete wohl zu tief und überschätzt tendenziell die lärmbedingten externen Kosten entlang der Autobahnen.

4.3.5 Zusammenfassung und Interpretation der Ergebnisse

In Tabelle 27 werden die durch den individuellen Personen- und Motorfahrzeugverkehr verursachten externen Kosten in den Bereichen Luft-, Lärm- und Klimabelastung zusammengefasst. Gemäss der Zielsetzung des Projektes wurden nicht alle verkehrsbedingten Externalitäten erhoben, da die Unterschiede zwischen verschiedenen Fahrzeugtypen im Vordergrund stehen und nicht die gesamten externen Kosten.

Tabelle 27: Kilometer- und fahrzeugbezogene externe Kosten in Rp/Fzkm

Fahrzeug- typ	Konventionell		Effizient (EURO 4)		Effizient (VEL2)		Elektro- mobil
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	
Luft	0.88	2.75	0.59	1.36	0.59	1.36	0.45
Lärm	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	0
Klima (tief)	0.69	0.63	0.65	0.58	0.30	0.27	0
Total	2.61	4.42	2.28	2.98	1.93	2.67	0.45

Quelle: Berechnungen IRE

³⁶ Elektromobile verursachen keinen Motorenlärm aber bei Geschwindigkeiten von über 60km/h wird ein Fahrgeräusch hörbar.

Die externen Kosten von Elektromobilen liegen wesentlich tiefer als die aller anderen Fahrzeugtypen. Dieselfahrzeuge weisen in allen Kategorien die höchsten Werte auf, was auf die hohen externen Kosten der Feinstaubemissionen zurückzuführen ist, die durch den geringeren CO₂-Ausstoss nicht kompensiert werden können. Mit steigendem Kostenansatz für die CO₂-Emissionen reduziert sich die Differenz zwischen Benzin- und Dieselantrieb. Aus Sicht des VEL2-Projektes ist zu unterstreichen, dass die externen Kosten von konventionellen Benzinfahrzeugen mit 2.61 Rp/Fzkm leicht tiefer sind als die der geförderten Dieselfahrzeuge der Emissionskategorie VEL2 mit 2.67Rp/Fzkm. Erst der Einsatz von Partikelfiltern senkt diesen Wert auf 2.33 Rp/Fzkm, was dem mittleren externen Kosten eines EURO4-Benzinmotoren entspricht. Mit diesen Kostenansätzen und der Gesamtfahrleistung der einzelnen Fahrzeugkategorien wurden die gesamten externen Kosten für den Kanton Tessin ermittelt. Tabelle 28 gibt diese für die einzelnen Fahrzeugtypen wieder.

Tabelle 28: Externe Kosten für die Fahrleistungen im Jahre 2003 im Kanton Tessin nach verschiedenen Fahrzeugkategorien (Kostenansätze aus Tabelle 27)

Fahrzeugtyp	Konventionell		Effizient (EURO4)		Effizient (VEL2)		Elektro -mobil
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	
Fahrleistung Mio. km	1'929	289	224	44	8.1	7.6	2
Externe Kosten in 1'000 CHF							
Luft	16'900	8'000	1'300	610	50	100	9
Lärm	20'100	3'000	2'300	470	85	80	0
Klima (tief)	13'300	1'800	1'500	260	25	20	0
Total	50'300	12'800	5'100	1'340	160	200	9

Quelle: Eigene Berechnungen IRE (gerundete Werte)

Die externen Kosten, die im Tessin vom privaten Personenverkehr im Bereich der Luftbelastung, des Lärms und dem Klimawandel verursacht werden, belaufen sich für das Jahr 2003 auf rund 73.6 Mio. CHF. Dieser Berechnung liegt der tiefe Kostenansatz für die klima-

relevanten CO₂-Emissionen zu Grunde. Wird der hohe Kostenansatz zugrunde gelegt, steigt der Wert auf rund 118 Mio. CHF.

Die in Tabelle 28 aufgezeigten externen Kosten von Elektromobilen beziehen sich ausschliesslich auf die Feinstaubemissionen durch die Abrasion beim Fahren. Zur Berechnung dieses Wertes wurde auf den Kostenansatz für die Emissionen aus der Verbrennung zurückgegriffen. Der Emissionsfaktor für die Abrasion (13.20 mg/Fzkm) müsste für Elektromobile leicht reduziert werden, weil Elektromobile beim Bremsen weniger Feinstaub verursachen als konventionelle Fahrzeuge³⁷.

Für Elektroscooter liegen keine Emissionsfaktoren für Feinstaub durch Abrasion vor. Aus diesem Grunde werden keine externen Kosten unterstellt. Entsprechend hoch ist die Differenz zwischen den externen Kosten konventioneller und elektrischer Motorräder, wie sie Tabelle 29 zeigt.

³⁷ Da Elektromobile vorwiegend mit dem Elektromotor bremsen, weil sich damit auch Energie zurückgewinnen lässt.

Tabelle 29: Kilometer- und typenbezogene externe Kosten in Rp/Fzkm für Motorräder

Fahrzeugtyp	Motorrad	Elektro -scooter
Luft	1.59	0
Lärm	2.04	0
Klima (tief)	0.37	0
Total	4.00	0
Fahrleistung Mio km	102	0.75
Externe Kosten in 1'000 CHF		
Luft	1'600	0
Lärm	2'100	0
Klima	400	0
Total	4'100	0

Quelle: Berechnungen IRE (gerundete Beträge)

Neben den externen Kosten pro Fahrzeugkilometer ist der Bezug zum Treibstoffverbrauch interessant, was einen direkten Vergleich mit den aktuellen Treibstoffpreisen erlaubt. Tabelle 30 enthält den unterstellten durchschnittlichen Treibstoffverbrauch von konventionellen und effizienten Fahrzeugen. Es handelt sich dabei um geschätzte Durchschnittswerte aus dem Gesamtverbrauch.

Tabelle 30: Externe Kosten pro Liter Treibstoff

Fahrzeugtyp	Konventionell		Effizient (EURO 4)		Motorräder
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	
Treibstoffverbrauch in Liter/100 km	8.0	6.2	6.4	4.5	2.59
Externe Kosten in CHF/100 km	2.60	4.42	2.28	2.98	4.00
Externe Kosten in Rp./Liter Treibstoff	32.5	71.3	35.6	66.2	154.4

Quelle: Berechnungen IRE

Die Umlegung der in diesem Projekt erhobenen externen Kosten auf den Treibstoffverbrauch zeigt, dass die externen Kosten zwischen 20% und 50% des aktuellen Treibstoffpreises betragen. Die externen Kosten pro Liter Dieseltreibstoff bei konventionellen Fahrzeugen sind fast doppelt so hoch wie bei Benzinmotoren. Bei den effizienten Fahrzeugen reduziert sich die Differenz zwischen Benzin- und Dieselmotoren leicht. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die verbrauchsabhängigen Komponenten der externen Kosten beim Benzinmotor beim Übergang von konventionellen zu effizienten Fahrzeugen weniger ins Gewicht fallen. Es wird hier nochmals darauf hingewiesen, dass diese Werte nicht alle externen Kosten berücksichtigen und sie daher nicht direkt für eine Internalisierungsstrategie verwendet werden können. Sie dienen jedoch als interessanter Anhaltspunkt für eine Diskussion über die Internalisierung der externen Kosten.

Mit einer einfachen Sensitivitätsanalyse lässt sich zeigen, dass die Emissionen von CO₂ und PM10 zusammen 84% aller erhobenen externen Kosten im Tessin verursachen. Dieser Anteil steigt sogar auf 94%, wenn der hohe Kostenansatz für CO₂-Emissionen berücksichtigt wird. Eine Aufteilung der externen Kosten pro Fahrzeugkilometer auf die verschiedenen Schadstofftypen zeigt grosse Unterschiede zwischen den verschiedenen Fahrzeugtypen und Antriebsarten.

Die Tabelle 31 zeigt den prozentualen Anteil der durch die verschiedenen Schadstoffe verursachten externen Kosten für die einzelnen Fahrzeugtypen. Die Werte für CO₂-Emissionen

in dieser Tabelle beruhen auf dem tiefen Kostenansatz, während in der Tabelle 32 die externen Kosten von CO₂-Emissionen mit dem hohen Kostenansatz berechnet wurden.

Tabelle 31: Aufteilung der externen Kosten pro Fahrzeugkilometer Kostenansatz ExternE (CO₂ tief) (in %)

Fahrzeugtyp	Konventionell		Effizient (EURO4)	
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel
Schadstoffe				
CO	0.1	0.0	0.0	0.0
NOx indirekt	13.5	8.5	1.7	8.6
PM10 (Verbrennung)	5.1	57.9	6.4	35.4
PM (Abrasion)	29.1	13.4	36.5	23.4
SO ₂ direkt	0.7	0.7	0.8	1.1
SO ₂ indirekt	0.5	0.5	0.6	0.8
NMVOG	6.5	0.5	1.4	0.6
Benzol	0.5	0.0	0.1	0.0
CO ₂	44.0	18.5	52.5	30.1
Total	100	100	100	100

Quelle: Berechnungen IRE

Der Anteil der externen Kosten nach den verschiedenen Schadstoffen variiert insbesondere zwischen Benzin- und Dieselfahrzeugen: Bei den konventionellen Fahrzeugen ist die Differenz beim Feinstaub besonders ausgeprägt. Bei Benzinmotoren steigt der Anteil der klimarelevanten externen Kosten durch CO₂-Emissionen von 44% bei den konventionellen Fahrzeugen auf über 52% bei den effizienten. Der Energieverbrauch wird aus der Sicht der externen Kosten immer mehr zum treibenden Faktor, während beim effizienten Dieselfahrzeug dieser Wert wegen dem relativ hohen Anteil der externen Kosten durch die Feinstaubemissionen tiefer bleibt. Bei den EURO4-Dieselfahrzeugen entspricht der Anteil der externen Kosten durch CO₂-Emissionen

rund 30%. Dieser Anteil steigt mit dem Einsatz von Partikelfilter jedoch stark, weil die Feinstaubemissionen fast auf das Niveau des Benzinmotors abfallen. Die Ergebnisse der Tabelle 32 beruhen auf der Berechnung mit dem hohen CO₂-Kostenansatz von 127 CHF pro Tonne.

Tabelle 32: Aufteilung der externen Kosten pro Fahrzeugkilometer (in %)

Fahrzeugtyp	Konventionell		Effizient (EURO4)	
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel
Schadstoffe				
CO	0.1	0.0	0.0	0.0
NOx indirekt	6.0	5.6	0.7	4.6
PM (10)	2.3	37.9	2.6	19.1
PM (Abrasion)	12.9	8.8	14.6	12.6
SO ₂ direkt	0.3	0.4	0.3	0.6
SO ₂ indirekt	0.2	0.3	0.2	0.4
NMVOG	2.9	0.3	0.6	0.4
Benzol	0.2	0.0	0.0	0.0
CO ₂	75.1	46.7	81.0	62.4
Total	100	100	100	100

Quelle: Berechnungen IRE

Tabelle 32 zeigt deutlich, dass aus der Sicht der externen Kosten die CO₂-Emissionen und der Energieverbrauch das zentrale Problemfeld sind. Die anderen Schadstoffe können mit technischen Innovationen, welche durch gesetzliche Vorschriften und Grenzwerte induziert werden, stark reduziert werden. Die CO₂-Emissionen steigen dagegen weiter (Buwal, 355).

Bezüglich der räumlichen Verteilung der externen Kosten zeigt sich, dass beinahe 50% der externen Kosten von einem Drittel des Verkehrsvolumens in dicht besiedelten Gebieten (innerorts) verursacht werden. Besonders ins Gewicht fallen die externen Kosten der

Dieselfahrzeuge, welche mit 4.5% der Fahrzeugkilometer innerorts 13.8 % der externen Kosten erzeugen. Ausserorts fallen prozentual die geringsten externen Kosten an, wie Tabelle 33 zu entnehmen ist.

Tabelle 33: Verteilung der externen Kosten auf die Strassenkategorien

Fahrzeugtyp	Innerorts		Ausserorts		Autobahn	
	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel
Anteil externe Kosten in %	36.1	13.8	17.4	4.5	22.2	5.9
Anteil Fahrleistung in %	28.9	4.5	28.9	4.5	28.9	4.5

Quelle: Berechnungen IRE

Nach der eingehenden Darstellung der externen Kosten, die sich aus dem gewählten Bottom-up-Ansatz ergeben, sollen die Resultate mit jenen aus ausgewählten Studien, die das Top-down-Prinzip angewandt haben, verglichen und auf ihre Plausibilität hin geprüft werden.

4.4 Resultate aus den Top-down-Ansätzen für das Tessin

Tabelle 34 erlaubt einen Vergleich der Ergebnisse verschiedener Studien, die einen Top-down-Ansatz für die Bewertung der externen Kosten verwendet haben, mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung. Die Kosten beziehen sich auf die Bereiche Luftverschmutzung, Lärm- und Klimabelastung durch den privaten Personenverkehr im Kanton Tessin und werden anhand der Gesamtfahrleistung gemessen. Die externen Kosten aus den Top-down-Analysen entsprechen dem Anteil der im Tessin gefahrenen Fahrzeugkilometer am Gesamtverkehrsvolumen der Schweiz. Um die Vergleichbarkeit der Werte der verschiedenen Studien gewährleisten zu können, wurden die Werte in CHF umgerechnet und mit einem Landespreisindex für 2003 aktualisiert.

Tabelle 34: Vergleich von Berechnungen der totalen externen Kosten im Tessin für den privaten Personenverkehr (inkl. Motorräder) mit Top-down- und Bottom-up-Ansatz (in 1'000 CHF)

Ansatz Umweltbereiche	Unite	Infras/ IWW	ARE (2004a)	ARE (2004b)	IRE/CEPE Bottom -up
Luftverschmutzung	24'400	135'600	41'600		29'600
Lärm	33'100	54'600	22'000	28'300	27'400
Klima (33CHF/t CO ₂)	23'000	-	-	-	17'000
Total	80'500	190'200	63'600	28'300	74'000

Der Vergleich der Werte in Tabelle 34 zeigt, dass die in der vorliegenden Studie mittels Bottom-up-Ansatz ermittelten externen Kosten der Grössenordnung der neusten Studie des Bundesamtes für Raumplanung (ARE 2004a) entsprechen. Dagegen besteht eine grosse Differenz zu den Ergebnissen der Studie INFRAS/IWW. Dieser Unterschied ist auf die verwendeten Kostenansätze zurückzuführen, welche für CO₂-Emissionen und Lärm in letztgenannter Studie höher liegen.

5 Reduktionsmöglichkeiten externer Kosten mit dem VEL2-Förderprogramm

In diesem Kapitel wird auf die mit dem Förderprogramm VEL2 vermiedenen externen Kosten und das Reduktionspotenzial externer Kosten eingegangen. Im Zentrum stehen die durch die fahrzeugtechnischen Unterschiede bedingten Einsparungsmöglichkeiten externer Kosten.

Bei der Ermittlung der Reduktionsmöglichkeiten wird davon ausgegangen, dass die konventionellen Fahrzeuge entweder durch effiziente Fahrzeuge oder Elektromobile substituiert werden. Auf der Grundlage der in Kapitel 4 vorgestellten externen Kosten pro Fahrzeugkilometer für die verschiedenen Fahrzeugkategorien werden die Differenzen zwischen. Aus diesen Differenzen lassen sich über die Fahrleistungen die Reduktionsmöglichkeiten für verschiedene Substitutionsszenarien abschätzen.

5.1 Kostenansätze für die Reduktion externer Kosten

In der Tabelle 35 werden die externen Luft-, Lärm- und Klimakosten für die einzelnen Fahrzeugkategorien pro gefahrenem Kilometer zusammengefasst. Dabei gilt die Annahme, dass konventionelle und effiziente Personenwagen vergleichbare Lärmemissionen erzeugen, während Elektromobile und Elektroscooter keine lärmbedingten externen Kosten verursachen. In der linken Kolonne sind die externen Kosten nach dem HBEFA (Infras 2004), in der rechten Kolonne die Emissionswerte nach VEL2 (CO₂-Emissionen < 120g/km) aufgeführt.

Tabelle 35: Lokale und globale externe Kosten nach Fahrzeugkategorien und Emissionsfaktoren

Rp./Fzkm (2003)	Emissionsfaktoren HBEFA	Emissionsfaktoren VEL 2
Konventionell		
Benzin	2.61	
Diesel	4.42	
Effizient		
Benzin	2.28	1.93
Diesel	2.98	2.67
Diesel mit Partikelfilter	2.33	2.02
Elektromobile	0.45	0.45
Motorräder	4.00	
Elektroscooter	0.00	

Quelle: Berechnungen IRE

Tabelle 35 zeigt auch die externen Kosten von Dieselfahrzeugen mit Partikelfilter. Dieselmotoren können mit Partikelfiltern nachgerüstet werden. Der Partikelfilter kann bis zu 99% der Feinstaubemissionen zurückhalten und die Abgasemissionen und externen Kosten von Dieselfahrzeugen entsprechend reduzieren. In der vorliegenden Berechnung wird von einer Reduktion des Feinstaubes in der Grössenordnung von 95% ausgegangen. Diese Reduktion bezieht sich nur auf die Partikel aus der Verbrennung. Da keine Angaben über die Anzahl Dieselfahrzeuge mit Partikelfilter bestehen, sind die Angaben bezüglich der effektiven Gesamtreduktion externer Kosten dieser Fahrzeugkategorie rein hypothetisch.

Reduktionsmöglichkeiten hängen von der Substitution zwischen den verschiedenen Fahrzeugtypen ab. Laut den Studien zum Mobilitätsverhalten im Tessin (Buwal 2004, Haefeli 2005) im Rahmen des VEL1 und 2 hat der Kauf von drei- und vierrädrigen Leichtmobilen

durchschnittlich zu einer leichten Erhöhung der Gesamtfahrleistung geführt (+7%). Trotzdem konnten in den Haushalten mit Leichtmobilen der Energieverbrauch um 6 bis 20% und die Emissionen von CO₂, NO_x und PM₁₀ um 15 bis 30% (Buwal 2004) verringert werden.

Die in der vorliegenden Studie getroffenen Annahmen sind optimistischer, weil von einer direkten Substitution und gleich bleibender Fahrleistung ausgegangen wird. In der Tabelle 36 sind zwei unterschiedliche Substitutionsmöglichkeiten berücksichtigt worden. In den drei linken Kolonnen wird von einer Substitution von konventionellen durch effiziente Fahrzeuge des gleichen Treibstofftyps ausgegangen. In den zwei rechten Kolonnen wird eine Substitution von konventionellen Fahrzeugen durch Elektromobile resp. Elektroscooter bei Motorrädern angenommen. Die Annahme der vollständigen Substitution ist auch für die Motorräder optimistisch, da die Benutzung von Elektroscootern auch zu einer Verlagerung von Fahrten mit öffentlichen Verkehrsmitteln oder mit Fahrrädern geführt hat.

Die Berechnungen beziehen sich auf das Jahr 2003 für die Personenfahrzeuge und das Jahr 2002 für die Motorräder. Die externen Kosten für konventionelle Fahrzeuge und Motorräder bilden die Referenzgrösse für die Berechnung der Reduktionsmöglichkeiten und sind aus diesem Grunde nicht in den Tabellen enthalten. In der ersten Zeile wird jeweils die Differenz zwischen den Kostenansätzen der berücksichtigten Fahrzeugtypen angegeben. Mit einem effizienten Benzinmotor (EURO 4) können 0.33 Rp/Fzkm an externen Kosten gegenüber einem konventionellen Benzinauto eingespart werden. Dieser Wert erhöht sich beim Diesel auf 1.44 Rp/Fzkm und gar auf 2.09 Rp/Fzkm bei einem Dieselmotor mit Partikelfilter. Für Personewagen, welche die Effizienzkriterien von VEL2 erfüllen, erhöhen sich diese Werte zusätzlich. Die zweite Zeile gibt an, welche externen Kosten durch einen Wechsel von einem konventionellen zu einem effizienten Fahrzeug bei einer durchschnittlichen Fahrleistung von ungefähr 12'900 km in einem Jahr eingespart werden können. In der untersten Zeile sind die externen Kosten aufgeführt, die im Jahr 2003 dank dem Einsatz von effizienten und Elektromobilen im Rahmen von VEL2 eingespart wurden.

Tabelle 36: *Eingesparte externe Kosten anhand der Substitution von konventionellen Fahrzeugen (EURO1, 2, 3) durch effiziente Fahrzeuge und Elektromobile im Tessin im Jahre 2003*

Substitution	Fahrzeugkategorie				
	von	Benzin	Diesel	Benzin	Diesel
durch	Elektromobile		Effizient (VEL2)		Elektro-scooter
Reduktionseffekt (in Rp./Fzkm)	2.16	3.97	0.68	1.75	4
Fahrleistung/ Jahr (in Mio. km)	2.12	2.12	8.1	7.6	0.75
Reduktion in CHF 2003	45'600	84'400	55'000	134'000	30'000

Quelle: Berechnungen IRE

Hätten alle im Tessin zirkulierenden Elektromobile konventionelle Dieselfahrzeuge ersetzt, wäre im Jahr 2003 eine Reduktion der externen Kosten von 84'000 CHF erzielt worden. Diese Substitution ist nicht plausibel. Für eine realistischere Abschätzung der eingesparten externen Kosten durch VEL2 wird davon ausgegangen, dass die eine Hälfte der Elektromobile konventionelle Benzinfahrzeuge und die andere Hälfte Dieselfahrzeuge ersetzt haben. Unter dieser Annahme haben die Elektromobile rund 65'000 CHF externer Kosten eingespart.

Das gesamte Projekt VEL2 hat im Jahr 2003 zu einer Vermeidung von rund 284'000 CHF externer Kosten geführt. Die Fördersumme des Gesamtprojektes beträgt rund 948'000 CHF. Wird der langfristige Einspareffekt der im Jahre 2003 immatrikulierten effizienten und Elektrofahrzeuge über ihre Lebensdauer von 8 Jahren betrachtet, ergibt sich eine Reduktion der externen Kosten in der Höhe von 680'000 CHF. Das entspricht ungefähr 70% der Investitionen im Jahre 2003.

Im Weiteren wird gezeigt, welche Reduktionspotentiale sich durch die Einführung von EURO4 ergeben. Diese Einsparungen beruhen auf einem hypothetischen Vergleich mit einer Situation, in der nur konventionelle Fahrzeuge (<EURO4) zirkulieren. Der Betrag zeigt, wie sich die technischen Verbesserungen auf die externen Kosten auswirken.

Tabelle 37: Eingesparte externe Kosten durch EURO4-Fahrzeuge im Jahr 2003

Fahrzeugkategorie	Effizient (EURO4)		
	Benzin	Diesel	Diesel mit Partikelfilter
Reduktionansatz (in Rp./Fzkm)	0.33	1.44	2.09
Anzahl Fahrzeuge	17'702	2'409	2'409
Reduktion pro Fahrzeug und Jahr (in CHF)	40.5	267.8	389.2
Fahrleistung/ Jahr (in Mio km)	224	44.8	44.8
Reduktion in CHF 2003	717'000	645'000	937'000

Quelle: Berechnungen IRE

Die rund 20'000 EURO4-Fahrzeuge im Kanton Tessin haben im Jahre 2003 zu einer Verminderung der externen Kosten in der Höhe von 1.36 Mio. CHF beigetragen. Wären alle Dieselfahrzeuge zusätzlich mit einem Dieselfilter ausgerüstet gewesen, hätte sich dieser Wert auf 1.65 Mio. CHF erhöht.

5.2 Reduktionspotential externer Kosten

Aus der Differenz der externen Kosten zwischen konventionellen und effizienten oder elektrischen Fahrzeugen lässt sich das Reduktionspotential bestimmen. Dies hängt insbesondere von den Annahmen über den Fahrzeugbestand und den Substitutionseffekten ab. Wie in Abschnitt 4.2.1 gezeigt wurde, findet eine kontinuierliche Umschichtung der Fahrzeugflotte in Richtung emissionsärmerer Fahrzeuge statt. Damit reduzieren sich die externen Kosten bei gleichbleibender oder sogar steigender Fahrleistung stetig. In der folgenden Abschätzung des Reduktionspotenzials wurde von zwei Szenarien ausgegangen.

Im ersten Szenario entspricht das Reduktionspotential der Differenz zwischen den externen Kosten von 2003 und denen einer Fahrzeugflotte effizienter Fahrzeuge nach EURO4-

Abgasnorm mit der gleichen Aufteilung nach der Treibstoffart. Dabei wird für Dieselfahrzeuge zwischen EURO4 ohne und mit Partikelfilter unterschieden. Im zweiten Szenario wird das Reduktionspotential der Differenz zwischen den externen Kosten von 2003 der Gesamtflotte und den externen Kosten berechnet, die bei einer vollständigen Substitution aller Fahrzeuge mit Elektrofahrzeugen entstehen würde.

Tabelle 38: Reduktionspotential mit einer EURO4- oder Elektromobilflotte für das Jahr 2003

	Szenario I			Szenario II	
	Benzin	Diesel	Diesel mit Partikelfilter	Gesamte Flotte	Motorrad
Fahrleistung in Mio Fzkm 2003	2'153	334	334	2'489	102
Externe Kosten 2003 der konventionellen Fahrzeugflotte (in CHF 1'000)	55'000	14'000	14'000	69'000	4'000
Externe Kosten für effiziente Fahrzeuge (Szenario I) oder Elektrofahrzeuge (Szenario II) (in 1'000 CHF)	49'000	10'000	7'700	11'000	0
Reduktionspotential (in 1'000 CHF)	6'000	4'000	6'300	58'000	4'100
Anzahl Fahrzeuge	169'939	17'935	17'935	187'874	32'692
Reduktionspotential In CHF pro Fahrzeug	35	232	353	310	130

Quelle: Berechnungen IRE

Aus Tabelle 38 wird ersichtlich, dass sich das grösste Reduktionspotential durch eine vollständige Substitution der gesamten Personenwagenflotte durch Elektromobile ergibt. Die emissions- und lärmbedingten externen Kosten würden um 85% von 69 Mio. CHF auf 11 Mio. CHF reduziert. Dieses Szenario ist nicht sehr realistisch, während die Reduktionspotenziale im

Szenario I in den nächsten Jahren teilweise oder ganz abgeschöpft werden dürften. Die Ausrüstung der 17'935 Dieselfahrzeuge mit Partikelfiltern ergibt eine etwas höhere Reduktion der externen Kosten als mit einem Wechsel von 169'000 Benzinfahrzeugen auf die EURO4-Norm. Die Ergebnisse zeigen, dass das grösste Reduktionspotential pro Fahrzeug bei Dieselfahrzeugen mit Partikelfilter besteht. Dieses Reduktionspotential ist über 50% höher als dasjenige mit effizienten Dieselfahrzeugen und rund zehnmal grösser pro Fahrzeug als bei den Benzinmotorfahrzeugen.

5.3 Fazit

Mit dem Projekt VEL2 wird in die Förderung von effizienten und Elektrofahrzeugen investiert. Während ihrer Lebensdauer von 8 Jahren vermeiden sie externe Kosten in der Höhe von 70% der pro Jahr investierten Fördermittel.

Im Tessin verkehrten 2003 rund zehnmal mehr private Personenwagen mit Benzinmotoren als dieselbetriebene. Die globalen externen Kosten der benzinbetriebenen Personenwagen sind nur rund viermal höher als jene der dieselbetriebenen Fahrzeuge. Das Reduktionspotenzial bei Benzinmotoren ist entsprechend tiefer. Mit einer vollständigen Substitution der benzinbetriebenen Fahrzeuge durch effiziente Personenwagen (EURO4) können rund 12% der externen Kosten dieser Fahrzeugkategorie eingespart werden.

Würden alle Dieselfahrzeuge mit einem Partikelfilter ausgerüstet, könnten im Tessin rund 6 Mio. CHF an externen Kosten eingespart werden. Das entspricht fast 50% der externen Kosten dieser Fahrzeugkategorie und ungefähr dem Reduktionspotenzial der benzinbetriebenen Personenwagenflotte.

Die Nutzung der bestehenden Technologien (EURO 4 mit Partikelfilter) würde jährlich externe Kosten im Kanton Tessin in der Grössenordnung von 10-12 Mio. CHF einsparen, was rund 15% der erhobenen Gesamtkosten entspricht.

Eine Förderung von Dieselfahrzeugen zur Verringerung der Klimabelastung durch CO₂-Emissionen sollte auf dem Hintergrund der hohen externen Kosten durch den Feinstaub mit Grenzwerten für PM10 verbunden werden.

6 Die politische Debatte über externe Kosten

6.1 Problemstellung

Neben der rein quantitativen Bestimmung von verkehrsbedingten externen Kosten und der Abschätzung der Reduktionsmöglichkeiten wird deren Bedeutung im politischen Entscheidungsprozess anhand einer Stakeholderanalyse untersucht. Dieser Teil der Studie beabsichtigt, den politischen Spielraum für eine Internalisierung der externen Kosten zu erfassen und abzuklären, inwiefern sich die Förderung von effizienten und elektrischen Fahrzeugen über die Reduktion der externen Kosten rechtfertigen liesse. Die externen Kosten und deren Internalisierung werden seit längerer Zeit auf nationaler und internationaler Ebene diskutiert³⁸. In der heutigen Debatte werden verschiedene politische Massnahmen unter dem Begriff der Internalisierung externer Kosten diskutiert. Sie reichen von der Harmonisierung der Benzinsteuern bis zum Roadpricing in Städten. Bis heute sind jedoch nur wenige Massnahmen in diese Richtung erfolgreich umgesetzt worden.

In der vorliegenden Studie wird die politische Debatte um die externen Kosten nicht im Einzelnen nachgezeichnet. Grundsätzlich kann jedoch festgehalten werden, dass sie sehr emotional ausgetragen und jeweils zu einer starken Polarisierung führt. Meinungsumfragen zur Akzeptanz verschiedener umweltpolitischer Massnahmen und etliche Abstimmungen zu umwelt- und verkehrspolitischen Fragestellungen haben dies in der Vergangenheit deutlich bestätigt. (Güller 2001)

Im Zentrum der laufenden Diskussionen stehen einerseits die Verkehrsprobleme in den Agglomerationen und andererseits die globalen Klimaveränderungen. Mit der Ratifikation des Kyoto-Protokolls hat sich die Schweiz verpflichtet, Reduktionsziele für die CO₂-Emissionen zu erfüllen. Im vorliegenden Projekt sind die externen Kosten durch Verkehrsstaus ausgeblendet worden, womit die Diskussion über das Roadpricing zur Vermeidung von Staus hinfällig wird. Dagegen haben die CO₂-Emissionen zentrale Bedeutung, die wegen der stetigen Abnahme der anderen Schadstoffemissionen durch technologische Verbesserungen noch zunehmen wird. Im

³⁸ In der Schweiz fanden zu diesem Thema Publikationen wie „Umweltschutz per Portemonnaie“ (Rechsteiner 1990) und „Die vergessenen Milliarden“ (Infras 1996) eine breite öffentliche Aufmerksamkeit. In Europa wurde die Diskussion mit der Veröffentlichung des Grünbuchs „Faire und effiziente Preise“ (1995) auf breiter Basis eingeleitet.

Zusammenhang mit der Treibhausproblematik stehen vier Varianten einer CO₂-Abgabe zur Diskussion:

Variante 1: CO₂-Abgabe auf Treib- und Brennstoffen,

Variante 2: CO₂-Abgabe mit Zweckbindung zum Kauf von Emissionszertifikaten,

Variante 3: CO₂-Abgabe auf Brennstoffen und Klimarappen auf Treibstoffen,

Variante 4: Klimarappen mit freiwilligen Vereinbarungen.

Gemäss dem Beschluss des Bundesrates (UVEK 23.03.05) soll die CO₂-Abgabe nur auf Brennstoffen eingeführt werden und die Treibstoffe lediglich mit dem Klimarappen belastet werden. Sollte das Reduktionsziel mit dem Klimarappen und den freiwilligen Vereinbarungen zu einer Absenkung des Treibstoffverbrauches nicht erreicht werden, könnte auch auf Treibstoffen eine CO₂-Abgabe erhoben werden. Dieser Kompromiss mag insofern erstaunen, als das Reduktionsziel für Treibstoffe bis zum Jahr 2010 nach bestehenden Prognosen um zwei Mio. Tonnen und für Brennstoffe um 0.6 Mio. Tonnen verfehlt würde. Angesichts dieser Ausgangslage wäre gerade eine umgekehrte Lösung erwartet worden. Der gewählte Kompromiss hat aber in der abgelaufenen Vernehmlassung eine breitere Unterstützung gefunden und dürfte auch in der Bevölkerung eine Mehrheit finden.

Weiter stellt sich die Frage, inwiefern die Förderung von Dieseltreibstoffen zur Erreichung der vereinbarten Treibstoffreduktion im Rahmen der Kyoto-Ziele unterstützt werden soll. Dieseltreibstoffe sind in der Schweiz gegenüber dem Ausland nicht günstiger und Dieselfahrzeuge sind noch weit weniger verbreitet. Eine Förderung der Dieseltreibstoffe wäre aus Sicht der Absenkung von CO₂-Emissionen durchaus wünschenswert, ist aber aus gesundheitspolitischer Perspektive eher kritisch zu beurteilen, solange keine gesetzlichen Grenzwerte für Feinstaubemissionen festgelegt werden.

6.2 Fragestellungen

In diesem politischen Kontext wird anhand einer Befragung von Interessensvertretern die Bedeutung der externen Kosten für umwelt- und verkehrspolitische Massnahmen untersucht. Es wird beschrieben, wie Massnahmen für die weitere Förderung von effizienten und Elektromobilen politisch? ausgestaltet werden sollen und inwiefern diese Förderung durch die Reduktion von externen Kosten begründet werden kann. Es handelt sich dabei um keine repräsentative Meinungsumfrage, sondern um Stellungnahmen einzelner Interessenvertreter,

welche die Bandbreite der Meinungen und Argumente für und wider politische Massnahmen abstecken.

Im Vordergrund stehen die folgenden Fragen:

- 1) Wie wird die Bedeutung der externen Kosten für die Umwelt- und Verkehrspolitik grundsätzlich eingeschätzt?
- 2) Wie wird die Wirksamkeit einer Internalisierung beurteilt?
- 3) Welches sind die zentralen Gründe, die bis heute eine Internalisierung der externen Kosten verhindert haben?
- 4) In welchen Bereichen und auf welchen Emissionen müsste die Internalisierung der externen Kosten eingeführt werden?
- 5) Wie sollte die Internalisierung konkret ausgestaltet werden?

Als konkreter Anknüpfungspunkt dienen die Vorbereitungsarbeiten für eine Revision der Motorfahrzeugsteuer im Kanton Tessin. Diese Arbeiten werden von einer Arbeitsgruppe ausgeführt und haben im Frühling 2005 zu ersten Vorschlägen geführt. Die Revision der Motorfahrzeugsteuer soll den Kauf von energieeffizienten Fahrzeugen fördern. Die Grundidee ist ein Bonus-Malus-System auf der Grundlage der Energieetikette für Personenwagen.

Die Energieetikette dient zur Angabe des Treibstoffverbrauches und der CO₂-Emissionen von Personenneuwagen und soll den Käufer über den Energieverbrauch und die Umweltauswirkung informieren. Die Energieetikette enthält 7 Kategorien zur Abstufung der Energieeffizienz, welche mit den Buchstaben A (hohe Energieeffizienz) bis G (tiefe Energieeffizienz) bezeichnet werden und ein Farbenspektrum von dunkelgrün bis rot abdecken. Die Zuordnung zu einer dieser Kategorien erfolgt über eine Bewertungszahl, welche aus dem Treibstoffverbrauch und dem Leergewicht des Fahrzeuges ermittelt wird. Die Energieetikette ist Teil der freiwilligen Branchenvereinbarung zwischen Automobilimporteuren und dem Bundesrat und soll dazu dienen, das Ziel einer jährlichen Absenkung der CO₂-Emissionen um durchschnittlich 3% zu erreichen. Damit sollte die angestrebte Reduktion des mittleren Treibstoffverbrauches von 8.4 Liter pro 100 km im Jahr 2000 auf 6.4 Liter pro 100km im Jahr 2008 erreicht und die CO₂-Reduktionsziele des Kyoto-Protokolls eingehalten werden.

Die Energieeffizienz wird allerdings nur relativ gemessen und erlaubt nur einen Vergleich unter allen angebotenen Fahrzeugmodellen gleichen Gewichts und gleicher Treibstoffart, weil davon ausgegangen wird, dass der Kauf eines Fahrzeuges nach dem Fahrzweck erfolgt. Mit der

Energieetikette erhält der Konsument eine Vergleichsbasis für den Treibstoffverbrauch und die CO₂-Emissionen innerhalb eines Fahrzeugtyps und kann so seinen Kaufentscheid beeinflussen. Die Berücksichtigung des Leergewichtes zur Abstufung der Energieeffizienz von Personenneuwagen kann grundsätzlich dazu führen, dass schwere Fahrzeuge mit einem hohen Verbrauch einer höheren Energieeffizienz-Kategorie zugeordnet werden, als leichte Fahrzeuge mit einem geringen Treibstoffverbrauch. Je nach Stufenzugehörigkeit sollen die Motorfahrzeugsteuern mit einem Bonus oder Malus belegt werden. Mit dem Bonus werden diejenigen Fahrzeuge gefördert, welche innerhalb ihrer Gewichtskategorie den geringsten Treibstoffverbrauch ausweisen.

6.3 Ergebnisse der Stakeholderbefragung

In diesem Abschnitt wird auf die einzelnen Fragen eingegangen, welche an die Stakeholder mit einem standardisierten Fragebogen gerichtet und in Interviews vertieft wurden. Die erhobenen Daten sind zwar nicht repräsentativ, vermitteln aber ein interessantes Bild bezüglich der möglichen Bandbreite der Meinungen und Einstellungen zu den externen Kosten und deren Internalisierung. Es konnten sieben Stakeholder für die Befragung gewonnen werden, wovon je zwei Vertreter von Umwelt- und Automobilverbänden sind sowie drei aus der Verwaltung stammen, wo sie sich speziell mit Fragen zur Mobilität und Gesundheit auseinandersetzen³⁹. Im vorliegenden Bericht werden die unterschiedlichen Beurteilungen der externen Kosten und deren Internalisierung aufgezeigt.

6.3.1 Verständnis des Konzeptes der externen Kosten

Die befragten Interessenvertreter setzen sich aus verschiedener Perspektive mit dem Problem der Umweltbelastung durch den Verkehr auseinander und sollten daher grundsätzlich mit dem Konzept der externen Kosten vertraut sein. Gleichwohl sollte mit der ersten Frage herausgefunden werden, auf welchem Verständnis ihre Antworten beruhten und welche Beispiele zur Internalisierung der externen Kosten bekannt waren.

Die Antworten lassen darauf schliessen, dass alle befragten Stakeholder mit der Grundidee der externen Kosten vertraut sind. Sie verstehen darunter Umwelt- oder Gesundheitskosten, die nicht vom Verursacher getragen werden. Die externen Kosten werden nach den erhaltenen

³⁹ Der Interviewleitfaden ist im Anhang dieses Berichtes zu finden.

Antworten nicht nur durch den Verkehr verursacht, sondern auch in der Energieproduktion, in der Landwirtschaft oder beim Rauchen.

Zwei Stakeholder haben hervorgehoben, dass es falsch wäre, nur von externen Kosten zu sprechen, ohne die externen Nutzen zu berücksichtigen. Die externen Nutzen würden in der politischen Debatte zu wenig gewürdigt und deren Bedeutung völlig unterschätzt. Fast alle Stakeholder haben darauf verwiesen, dass die externen Kosten kaum internalisiert würden. Nur zwei Stakeholder konnten je ein Beispiel nennen, bei denen von einer Internalisierung der externen Kosten gesprochen werden kann. Das erste Beispiel betrifft die leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe (LSVA), die allerdings nach Meinung des Stakeholders nur die Abnutzung der Strassen berücksichtige und keine umwelt- oder gesundheitsbezogene Komponente enthielte. Das zweite Beispiel betrifft lärmpegelabhängige Landegebühren im Flugverkehr.

Kommentar: Aus ökonomischer Sicht wird der hohe Nutzen des Verkehrs keineswegs bestritten, aber dieser fällt ausschliesslich dem Verkehrsbenuer zu. Bedeutende externe Nutzen oder Erträge in der Höhe von mehreren Milliarden Franken für die Schweiz sind aus ökonomischer Sicht nicht vertretbar. Externer Nutzen, der nicht den Verkehrsteilnehmern zukommt, ist gemäss verschiedenen Studien vernachlässigbar und beschränkt sich auf ganz wenige Ausnahmen, wie beispielsweise den Notfalltransport und die damit verbundene Milderung des Leids von Angehörigen bei einem schnellen und erfolgreichen Transport eines Unfallsopfers.

6.3.2 Internalisierung externer Kosten als Steuerungsinstrument

Der zweite Frageblock betrifft die Bewertung der Internalisierung externer Kosten als Instrument zur Beeinflussung des Mobilitätsverhaltens. Angesichts der wenigen Beispiele erfolgreicher Internalisierung der externen Kosten in der Realität ist die Bedeutung und Wirksamkeit solcher politischer Instrumente recht schwierig zu beurteilen.

Die Antworten bezüglich der Bedeutung der Internalisierung der externen Kosten und ihrer Wirksamkeit sind trotzdem eindeutig ausgefallen, wie Tabelle 39 zeigt.

Tabelle 39 : Wie schätzen Sie die Bedeutung der externen Kosten für die Verkehrs- und Umweltpolitik ein?

	Absolut unwichtig	Ziemlich Unwichtig	Unbestimmt	Ziemlich wichtig	Sehr wichtig
Bedeutung			2		5

Quelle: Befragung IRE

Die Mehrheit der Stakeholder begründet dieses Urteil mit dem Argument, dass die fehlende Internalisierung von externen Kosten zu Marktversagen führt und die Mobilität so indirekt subventioniert wird. Das Ausblenden der externen Kosten im Bereich der Mobilität von Personen und Waren führt zu falschen Preissignalen, zu einer überhöhten Nachfrage und zu einer Benachteiligung lokaler Produktionsformen. Dadurch würden Alternativen nicht genügend gegeneinander abgewogen.

Die befragten Interessenvertreter meinen, eine Internalisierung wäre nicht nur auf den privaten Verkehr zu beschränken, sondern müsste auch den öffentlichen Verkehr umfassen. Eine Internalisierung der externen Kosten wird von ihnen deshalb als bedeutend eingestuft, weil die Sensibilisierung und die relativ hohe Umweltverantwortung im Bereich der Mobilität versagt hätten und Preise letztendlich das einzig wirksame Mittel darstellten. Die Bedeutung der Internalisierung wird damit direkt mit deren Wirksamkeit und Effizienz, im Sinne eines geringeren administrativen Aufwandes, verbunden.

Tabelle 40: Wie beurteilen Sie die Effizienz und Wirksamkeit von Massnahmen im Zusammenhang mit externen Kosten?

	sehr gering	gering	unbestimmt	hoch	sehr hoch
Effizienz		1	2	2	2
Wirksamkeit		1	2	1	3

Quelle: Befragung IRE

Die Antworten auf diese Frage sind differenzierter. Ein Stakeholder misst den Massnahmen wie der Internalisierung der externen Kosten schlicht deshalb geringe Wirksamkeit und Effizienz zu,

weil sie schwierig einzuführen sind. Weiter wird die Internalisierung teilweise als bloße Benachteiligung des privaten Strassenverkehrs betrachtet, weshalb die Massnahmen als wirkungslos, im Fragebogen „unbestimmt“, eingestuft werden.

Die Mehrheit der Stakeholder attestiert den möglichen Massnahmen zur Reduktion der externen Kosten hohe bis sehr hohe Wirksamkeit und Effizienz. Die Antworten werden allerdings von der konkreten Ausgestaltung und der Höhe der internalisierten Kosten abhängig gemacht. Diesbezüglich wird eine gewisse Skepsis geäussert und auf den möglichen Widerstand gegen eine Internalisierung der effektiven Kosten hingewiesen. So ist von mehreren Stakeholdern bemerkt worden, dass die externen Kosten entweder zu tief oder zu hoch angesetzt würden.

Noch wichtiger als die Festlegung der Höhe der externen Kosten ist die grundsätzliche Schwierigkeit, sie eindeutig zu bestimmen. In Kapitel 2 wurde eingehend auf die wissenschaftlichen Unsicherheiten und Unschärfen bei der Bestimmung der externen Auswirkungen und die methodischen Probleme verwiesen, die bei ihrer Monetarisierung entstehen. Inwiefern diese Schwierigkeiten von den Stakeholdern wahrgenommen und wie sie die Umsetzung des Konzeptes der externen Kosten beeinflussen, ist mit der dritten Frage untersucht worden. Die Antworten auf diese Frage sind in Tabelle 41 dargestellt.

Tabelle 41: Die Internalisierung der externen Kosten ist bis heute nur in wenigen Fällen realisiert worden. Welches sind Ihrer Meinung nach die wichtigsten Gründe dafür?⁴⁰

	Völlig unwichtig	Wenig wichtig	Egal	Ziemlich wichtig	Sehr wichtig
Komplexität	1		1	4	1
Kommunizierbarkeit	1		2	3	
Überschätzung der Kosten	1	1	2		2
Unterschätzung der Kosten		1	3	1	
Wissenschaftliche Unsicherheit			1	3	3
Soziale Ungerechtigkeit		1	2	1	3
Andere				2	3

Quelle: Befragung IRE

Die Verteilung der Antworten zeigt, dass sich die Stakeholder darin einig sind, wo die Umsetzungsschwierigkeiten der Internalisierung der externen Kosten liegen. Einerseits ist die Komplexität ein wichtiger Grund für die mangelnde Umsetzung von Internalisierungsmaßnahmen und andererseits die wissenschaftliche Unsicherheit. Aus den Kommentaren zu dieser Frage lässt sich ableiten, dass beide Gründe voneinander abhängen.

Aufgrund der Schwierigkeiten bei der Berechnung darf es nicht erstaunen, dass verschiedene Studien zu unterschiedlichen monetären Bewertungen der externen Kosten kommen. Diese Unterschiede sind für den Laien schwer verständlich und für Interessenvertreter schwer kommunizierbar. Einige Stakeholder gehen sogar noch weiter und zweifeln grundsätzlich an der Möglichkeit, dass alle Umwelt- oder Klimaschäden monetär bewertet werden können.

⁴⁰ Einige Stakeholder haben nicht alle Fragen beantwortet.

Ein weiterer Einwand gegen die Internalisierung, der immer wieder in der Diskussion auftritt, bezieht sich auf die angebliche soziale Ungerechtigkeit dieser Massnahmen. Nach Aussagen einiger Stakeholder besteht die Ungerechtigkeit nicht darin, dass Personen für Kosten aufkommen, die sie nicht verursachen, sondern wird damit begründet, dass die Internalisierung der externen Kosten zu einer Verteuerung der Mobilität führt. Diese Verteuerung trifft ökonomisch schwächere Gesellschaftsschichten härter und wird deshalb als ungerecht bezeichnet und als Argument gegen die Internalisierung verwendet.

Mit den ersten beiden Gründen hängen auch die Probleme der Kommunizierbarkeit des Konzeptes der externen Kosten zusammen. Mit den externen Kosten wird ein vielschichtiges Phänomen, wie es die Auswirkungen der Emissionen darstellen, auf eine einzige Dimension reduziert. Dabei kommt es zu einer Vereinfachung und Reduktion der Komplexität, die eigentlich die Kommunizierbarkeit verbessern helfen sollte. Bei den Stakeholdern löst diese Vereinfachung jedoch eine gegenteilige Reaktion aus. Einerseits stehen sie der Reduktion verschiedener externer Effekte skeptisch gegenüber, andererseits werten sie die Unsicherheit bezüglich der genauen Monetarisierung negativ.

Kommentar: Die Antworten der Stakeholder lassen sich mit deren grundsätzlichen Schwierigkeiten mit dem Konzept der externen Kosten erklären. Diese Schwierigkeiten ergeben sich aus der Tatsache, dass bei der Berechnung der externen Kosten auf unterschiedlichen Ebenen Unsicherheiten bestehen. Diese Unsicherheiten können und sollen trotz den „harten“ Ergebnissen in Franken und Rappen, welche am Schluss als externe Kosten präsentiert werden, nicht verleugnet werden. Sie können mit weiteren wissenschaftlichen Forschungen verringert, aber nicht vollständig eliminiert werden. Damit müsste eigentlich die Kommunikation diesen Aspekt stärker integrieren, um die Skepsis gegenüber „unsicheren“ Ergebnissen zu verringern⁴¹.

Ein weiteres Problem besteht aber auch darin, dass das Konzept immer wieder missverstanden wird. Dieses Missverständnis wurde auch bei der vorliegenden Befragung deutlich, sogar bei Personen, deren Verständnis der externen Kosten grundsätzlich korrekt erschien. Erstens wird mit den externen Kosten ein Instrument verbunden, das zu einer Eliminierung der Umweltbelastung und nicht auf ein aus ökonomischer Perspektive optimales Niveau führen

⁴¹ Versuche mit partizipativen Methoden, wie sie in der Klimapolitik oder kürzlich im Zusammenhang mit dem Roadpricing in öffentlichen Foren angewandt wurden, stellen diesbezüglich interessante Strategien zur Kommunikation komplexer und mit Unsicherheit behafteter Politikinstrumente dar.

sollte. Zweitens werden die externen Kosten und insbesondere deren Internalisierung als steuerliche Massnahme verstanden. Diese Missverständnisse zeigen, dass es sich bei den externen Kosten nicht um ein leicht kommunizierbares Konzept handelt.

Ein weiterer falscher Einwand oder Vorwand gegen die Internalisierung der externen Kosten ist die vermeintliche, soziale Ungerechtigkeit einer Internalisierungsstrategie. Dabei geht vergessen, dass ohne Internalisierung der Treibstoffverbrauch subventioniert wird. Je höher der Treibstoffverbrauch ist, desto mehr Subventionen erhält die entsprechende Person. Da bei höheren Einkommen von einem höheren Treibstoffverbrauch ausgegangen werden kann, werden ökonomisch schwächere Gesellschaftsschichten tendenziell weniger subventioniert. Diese Form der Benachteiligung würde mit der Internalisierung wegfallen und damit würde die soziale Ungerechtigkeit nicht erhöht sondern verringert.

Die Wirksamkeit der Internalisierung der externen Kosten ist wegen den geringen Erfahrungswerten äusserst schwierig zu beurteilen, insbesondere weil sich kurz- und langfristige Preisveränderungen überlappen (Infras 2002). Kurzfristige Veränderungen durch Treibstoffpreiserhöhungen an der Tanksäule wirken sich vor allem auf die Fahrleistungen im Nah- und Freizeitverkehr aus. Dabei muss aber von einer erheblichen zeitlichen Verzögerung von bis zu einem Jahr ausgegangen werden. Die geschätzten Elastizitäten für diese kurzfristigen Veränderungen liegen im Bereich von -0.3 bis -0.4, was bei einer 10%igen Preiserhöhung einer Reduktion der Fahrleistungen von ungefähr 3-4% entspricht. Als Vergleich zu diesem Befund hat sich im Jahr 2004 gezeigt, dass sich bei einer Erhöhung des Treibstoffpreises von ungefähr 16% oder durchschnittlich 20 Rappen pro Liter die Nachfrage nach Benzin kurzfristig um rund 2% verringerte, während der Dieselsatz um fast 7.5% zunahm.

Langfristige Veränderungen der Kosten der Mobilität durch die Erhöhung der Mineralölsteuer oder Motorfahrzeugsteuern mittels eines Bonus-Malus-System wirken sich neben dem Verkehrsverhalten auch auf das Kaufverhalten von Neuwagen aus (Schwegler 2001). Dabei spielen zusätzliche Faktoren wie die Konjunktur- und Einkommensentwicklung eine zentrale Rolle. Eine Steuererhöhung führt allerdings nicht unmittelbar zum Kauf von verbrauchsärmeren und kleineren Personenwagen, wie aus der Befragung von Fahrzeughändlern hervorging (Infras 2002). Die Wahl des Fahrzeugtyps wird vielmehr durch Elemente wie die Ausstattung und den Komfort beeinflusst, welche den Treibstoffverbrauch eher erhöhen. Der steigende Absatz von Dieselfahrzeugen als energiesparende Alternative kann jedoch als Reaktion auf den steigenden Treibstoffpreis verstanden werden.

6.3.3 Anwendungsbereiche der externen Kosten

In diesem Abschnitt wird gezeigt, wo die Stakeholder einen besonderen Bedarf einer Internalisierung der externen Kosten sehen und welche Schadstoffe prioritär erfasst werden sollten. Im Gegensatz zu der vorliegenden Studie, welche sich nur auf Bereiche bezog, wo ein Unterschied der externen Kosten zwischen konventionellen, effizienten und elektrischen Fahrzeugen besteht, wurden in die Befragung weitere Anwendungsbereiche einbezogen, wie beispielsweise Verkehrsstaus oder Unfälle. Tabelle 42 zeigt, in welchen Bereichen die Stakeholder eine Internalisierung als wichtig empfinden und in welchen nicht.

Tabelle 42: In welchen Bereichen sollte die Internalisierung der externen Kosten erfolgen?

	Absolut nicht	Nicht	Egal	Ja	Unbedingt ja
Gesundheit				2	5
Gebäudeschäden		2		1	4
Unfälle				2	5
Verkehrsstau		1	1	1	4
Landschaft		2		1	4
Klima		2		1	4
Lärm			2		5
Produktionseinbussen	2			2	3
Infrastrukturkosten		2		1	4

Quelle: Befragung IRE

Auf die Frage konnten zwei unterschiedliche Antwortmuster beobachtet werden:

- Durchgehendes Ankreuzen der rechten Kolonne: Diese Stakeholder können die einzelnen Bereiche nicht voneinander trennen, ja sie stehen für sie oft in einem direkten Zusammenhang, was in einer gleichförmige Behandlung der einzelnen Felder resultiert

- Nuanciertes Ankreuzen der einzelnen Anwendungsbereiche aufgrund unterschiedlicher Bedeutung der einzelnen Bereiche.

Die Bereiche Gesundheit und Unfälle erhalten von den Stakeholdern oberste Priorität. In beiden Bereichen sollen nach Meinung aller Stakeholder die externen Kosten berücksichtigt und internalisiert werden. Weniger wichtig erscheinen dagegen die Bereiche Gebäudeschäden, Verkehrsstau und Lärm sowie die Infrastrukturkosten. Zwei Stakeholdern gemäss sollen die Produktionseinbussen gar nicht berücksichtigt werden.

Ein ähnliches Bild ergibt sich bezüglich der Berücksichtigung der verschiedenen Schadstoffe. Zwei Stakeholder weigerten sich, zu dieser Frage Stellung zu nehmen. Gemäss den Antworten der meisten Stakeholder sollten die Schadstoffe NO_x, CO, CO₂, VOC, SO₂, PM10 und Lärm unbedingt berücksichtigt werden. Ein Stakeholder hat darauf hingewiesen, dass die Grenzwerte für SO₂ und CO eingehalten würden und daher kein Bedarf bestünde, die externen Kosten dieser Schadstoffe zu internalisieren. Ein zweiter Stakeholder erwähnte weitere Bereiche und Schadstoffe, die zusätzlich berücksichtigt werden müssten. Dazu zählen der Verlust an Biodiversität und die Versiegelung des Bodens. Als weitere Schadstoffe müssten Ozon und die Benzole einbezogen werden.

6.3.4 Internalisierungsformen

Politisch interessant ist die Frage, welche Internalisierungsstrategie die verschiedenen Stakeholder akzeptieren würden und aus welchen Gründen. Diese Frage ist jedoch recht theoretisch, da es nur wenige Beispiele gibt, die als Erfahrungsgrundlage dienen könnten. Zudem sind einzelne Aspekte der Instrumente oder Systeme zur Internalisierung äusserst technisch. Es wurde vermieden, die Stakeholder in solch technische Fragestellungen zu verwickeln. In der Befragung wurden drei Alternativen zur Diskussion und Auswahl vorgelegt. Tabelle 43 fasst die Akzeptanz für die verschiedenen Instrumente zusammen.

Tabelle 43: Welches Instrument würden Sie zur Internalisierung der externen Kosten akzeptieren?

Instrument	Ja	Nein
Motorfahrzeugsteuer	5	
Treibstoffpreis	4	1
Fahrzeugsteuer mit Bonus-Malus	4	2

Quelle: Befragung IRE

Nicht alle Stakeholder haben diese Frage beantwortet. Aus den Antworten geht jedoch hervor, dass das System der Fahrzeugsteuer favorisiert wird. Da die externen Kosten weitgehend von den gefahrenen Kilometern abhängen, werden die Vielfahrer mit einem System, das auf der Fahrzeugsteuer basiert, grundlegend bevorzugt. Verhaltene Fahrweisen oder ein eingeschränkter Gebrauch eines Autos werden mit diesem Instrument eher benachteiligt.

Kommentar: Die laufende Revision der Motorfahrzeugsteuer im Tessin sieht einen Wechsel von einer herkömmlichen Besteuerung nach Pferdestärken zu einer kombinierten Besteuerung nach der Motorenstärke, dem Leergewicht sowie der Energieeffizienz gemäss der Energieeffizienz-Kategorien der Energieetikette vor. Gemäss diesem Vorschlag würde die neue Motorfahrzeugsteuer mit einem Bonus-Malus-System verknüpft, welches auch von den befragten Stakeholdern mehrheitlich akzeptiert wird. Dieses System hat den Vorteil der Kostenneutralität und ist zudem transparent und leicht nachvollziehbar. Dieser Ansatz könnte mit wenig administrativem Aufwand eingeführt werden und würde beim Kauf von Neuwagen die mit der Einführung der Energieetikette erwünschte Lenkungsfunktion noch verstärken. Dagegen dürfte die Lenkungswirkung auf die Fahrleistungen und die Reduktion der externen Kosten bescheiden ausfallen.

Aus den von den Stakeholdern erwähnten Gründen stellt der Vorschlag zur Revision der Motorfahrzeugsteuer im Kanton Tessin durchaus einen interessanten Schritt in die richtige Richtung dar. Umsomehr als die Reaktionen der Stakeholder auf diesen Vorschlag positiv ausfallen. Die Einführung der neuen Motorfahrzeugsteuer ist jedoch weit von einer

Internalisierung der externen Kosten entfernt und deren Lenkungswirkung beschränkt sich vorwiegend auf den Kauf eines nach der Definition der Energieetikette energieeffizienten Neuwagens.

Erst eine verbrauchsabhängige Differenzierung der Motorfahrzeugsteuer könnte einen Einfluss auf das Verkehrsverhalten ausüben. Mit den Stakeholdern wurde die Möglichkeit einer solchen Motorfahrzeugsteuer nicht diskutiert, da sie einen radikalen und kaum akzeptanzfähigen Wechsel des heutigen Systems darstellen würde. Grundsätzlich liesse sich eine solche Motorfahrzeugsteuer mit der Erhebung der externen Kosten auf dem Treibstoff an der Tanksäule realisieren. Einer Erhöhung des Treibstoffpreises sind einige Stakeholder nicht abgeneigt. Konzeptionell wäre es trotzdem schwierig, die Treibstoffsteuern von einer Abgabe zur Internalisierung der externen Kosten zu unterscheiden und diesen Unterschied zu kommunizieren. Faktisch würde mit dieser Massnahme der Treibstoffpreis um 20% bis 50% erhöht.

6.4 Fazit

Die wichtigsten Punkte aus der Befragung und Diskussion mit den Stakeholdern lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Stakeholder sind sich bezüglich der schädlichen Auswirkungen des Verkehrs und den daraus entstehenden externen Kosten einig. Die einzige Differenz besteht bezüglich der Höhe der externen Kosten.
- Alle Stakeholder haben gewisse Zweifel bezüglich der Internalisierung der externen Kosten. Die Komplexität der Beziehungen zwischen den Ursachen und Wirkungen der Schadstoffemissionen und die daraus entstehenden Unsicherheiten im Zusammenhang mit der Monetarisierung der Externalitäten wurden als wichtige Hindernisse einer Umsetzung dieses Konzeptes identifiziert.
- Die Internalisierung der externen Kosten sollte nach Meinung der Stakeholder ausschliesslich im Bereich der Gesundheit, der Unfälle und des Klimawandels realisiert werden, während sie für Gebäudeschäden und Infrastrukturkosten weniger dringend erscheint.
- Eine Belastung der Verursacher in der Höhe von 20 bis 50% der gegenwärtigen Treibstoffpreise zur Internalisierung der gesundheits-, lärm- und klimarelevanten externen Kosten würde gemäss der Beurteilung der Stakeholder von der Bevölkerung

nicht akzeptiert. Dagegen dürften Anpassungen der Motorfahrzeugsteuern nach Kriterien der Energieeffizienz, welche eine Lenkungsfunktion auf den Kauf von Neuwagen ausüben, eine breite Abstützung finden.

- Die Positionen der verschiedenen Stakeholder sind sehr unterschiedlich. Die Antworten der Stakeholder repräsentieren nicht das Meinungsverhältnis in der Bevölkerung.

7 Schlussfolgerungen

Verschiedene Studien auf nationaler und internationaler Ebene haben gezeigt, dass der private und der öffentliche Verkehr auf der Strasse, Schiene, zu Wasser und in der Luft enorme externe Kosten verursacht. Diese Kosten werden nicht vom Verursacher getragen, sondern von Vielfahrern und Fahrzeugen mit hohem Treibstoffverbrauch auf Wenigfahrer mit geringem Treibstoffverbrauch oder Nichtfahrer überwältigt. Aus diesem Grunde besteht die Forderung, die externen Kosten zu internalisieren und den Verursachern vollumfänglich anzulasten. Das könnte die Belastungen des Verkehrs auf ein aus wohlfahrtökonomischer Perspektive optimales Niveau reduzieren.

Diese aus theoretischer Sicht völlig plausible Forderung ist in der Praxis mit erheblichen Umsetzungsproblemen verbunden. Die empirische Ermittlung der verschiedenen Grössen, die zur Berechnung der externen Kosten notwendig sind, ist mit grossen Unsicherheiten behaftet. Die Monetarisierung kann mit verschiedenen methodischen Ansätzen erfolgen, die zu dem relativ breiten Spektrum externer Kostenschätzungen beitragen. Die absoluten Werte der im Tessin jährlich verursachten externen Kosten des privaten Personenverkehrs sind daher mit Vorsicht zu geniessen. Die in der vorliegenden Studie ausgewiesenen externen Kosten in den Bereichen der Luftverschmutzung, der Lärmbelastung und des Klimawandels, die durch den privaten Tessiner Strassenverkehr im Erhebungsjahr 2003 verursacht wurden, belaufen sich auf rund 74 Mio. CHF. Dieser Betrag, der die externen Kosten des Güter- und öffentlichen Verkehrs ausklammert, liegt im Rahmen der in verschiedenen nationalen und internationalen Untersuchungen ermittelten externen Kosten.

Der in der vorliegenden Studie gewählte Bottom-up-Ansatz hat zu neuen und differenzierten Einsichten und Ergebnissen geführt. Die berechneten Differenzen der externen Kosten auf der Grundlage verschiedener Fahrzeugkategorien des privaten Personenverkehrs (Auto und Motorräder), Emissionskonzepten (Euronorm) und Antriebsarten (Benzin, Diesel, Elektrisch) sind in zweifacher Hinsicht bemerkenswert:

- Die Höhe der Auswirkungen des Verkehrs kann in den verschiedenen Bereichen wie Gesundheit und Klima auf die einzelnen Fahrzeugkategorien zurückgeführt werden.
- Es wird gezeigt, dass bei der Förderung verschiedene Kriterien berücksichtigt werden müssen, damit die gesamten externen Kosten reduziert werden. Besonders problematisch erscheinen die externen Kosten, welche durch konventionelle

Dieselfahrzeuge verursacht werden. Diese lassen sich mit effizienteren Motoren und Partikelfiltern stark reduzieren. Die Reduktionsmöglichkeiten durch die Substitution von konventionellen Fahrzeugen sind in diesem Segment besonders hoch.

Die verschiedenen Aktivitäten und die konkrete Förderung von effizienten Fahrzeugen durch das VEL2-Förderprogramm haben im Tessin zur Substitution von konventionellen Personenwagen und Motorrädern geführt. So konnten externe Kosten eingespart werden. Die 2003 immatrikulierten effizienten und Elektrofahrzeuge erzielen während ihrer durchschnittlichen Lebensdauer von acht Jahren eine Einsparung externer Kosten von 680'000 CHF, was 70% der 2003 investierten Fördermittel beträgt. Die Beurteilung der Zweckmässigkeit der Förderung von energie- und umwelteffizienten Technologien anhand einer blossen Gegenüberstellung dieser Beträge im Sinne einer Kosten-Nutzen Analyse würde zu kurz greifen. Um den Nutzen der Fördermassnahmen zu erfassen, ist ein umfassenderes Verständnis umweltrelevanter Innovationsprozesse notwendig. Denn mit VEL1 und VEL2 ist eine Dynamik und ein Lernprozess in einem äusserst schwierigen und emotional geladenen Gesellschaftsbereich eingeleitet worden, in dem auch in Zukunft eine Reduktion der externen Kosten angestrebt wird, ohne dass entsprechende Fördermittel fliessen. Zudem steht dieser gesellschaftliche Innovationsprozess erst am Anfang; die Barrieren und Schranken sind besonders hoch und deren Überwindung kostet viel Einsatz und Fördermittel.

In diesem Zusammenhang müssen auch die technologischen Verbesserungen erwähnt werden, die dank den gesetzlichen Auflagen erzielt werden. Der Übergang zu EURO4 wird in den nächsten Jahren zu einer erheblichen Reduktion der externen Kosten führen und die seit 1980 andauernde Tendenz der Schadstoffreduktion verstärken. In entgegengesetzter Richtung weisen der Energieverbrauch und die CO₂-Emissionen, welche immer mehr zum zentralen Problemfeld werden. Würden im Tessin nur Elektrofahrzeuge zirkulieren, könnten die externen Kosten um rund 85% von 70 Mio. CHF auf 11 Mio. CHF reduziert werden, was dem maximalen Reduktionspotenzial entspricht.

Nach dem Willen der Tessiner Kantonsregierung soll dem wachsenden Energieverbrauch mit einer Revision der Motorfahrzeugsteuer Einhalt geboten werden. Diese Steuer soll für die Fortsetzung von VEL2 eine neue Ausgangslage schaffen. Nach Aussagen der befragten Stakeholder stösst die Revision der Motorfahrzeugsteuer, die gegenwärtig vorbereitet wird, auf breite Zustimmung. Das neue kostenneutrale Modell für die Motorfahrzeugsteuer sieht ein

Bonus-Malus-System vor, das sich im Gegensatz zu VEL2 an der relativen Energieeffizienz orientiert, welche anhand der Energieetikette für Neupersonenwagen definiert wird. Damit beschränken sich die Anreize nicht mehr nur auf den Kauf von treibstoff- und emissionsarmen Fahrzeugen. Die Höhe dieser Anreize ist gemessen an einer vollständigen Internalisierung der geschätzten externen Kosten sehr bescheiden. Eine vollumfängliche Internalisierung bedeutete eine 20 bis 50%ige Treibstoffpreiserhöhung. Mit dem gewählten Anreizsystem wird das Kaufverhalten beeinflusst, aber nur in geringem Masse eine Reduktion der CO₂-Emissionen und externen Kosten erzielt.

Auf Grund dieser Studie wird empfohlen, die Förderung von umwelt- und energieeffizienten Fahrzeugen nicht einseitig nach einem einzigen Kriterium wie beispielsweise der Energieeffizienz zur Reduktion von CO₂-Emissionen auszurichten. Dies trifft vor allem bei Dieselfahrzeugen zu, die in den letzten Jahren eine beträchtliche Absatzsteigerung erfahren haben. Eine zusätzliche Förderung von Dieselfahrzeugen über ein Bonus-Malus-System müsste unbedingt mit einem Grenzwert für Feinstaubemissionen gekoppelt werden. Ansonsten besteht die konkrete Gefahr, dass aus Gründen des Klimaschutzes gesundheitsschädlichere Fahrzeuge gefördert und höhere externe Kosten verursacht werden.

Glossar

Belastungs-Wirkungsbeziehungen (concentration-response functions)

Quantitativer Zusammenhang zwischen der Exposition eines Risikofaktors (z.B. Belastung durch Luftschadstoffe) und den Auswirkungen (z.B. epidemiologisch fassbare Krankheits- und Todesfälle). Wie gesichert diese Zusammenhänge sind ist von Belastung zu Belastung unterschiedlich.

Contingent Valuation Methode

Bewertungsmethode, die direkt nach der Zahlungsbereitschaft für ein hypothetisches Gut oder eine Dienstleistung fragt. Wird oft für die Bewertung von Umweltgütern angewendet, die keine Marktpreise haben. Der Wert eines statistischen Lebens (VSL) basiert auf der Contingent Valuation Methode, in dem nach der Zahlungsbereitschaft für eine lebenssichernde Risikoreduktion gefragt wird.

Energieetikette

Angabe des Treibstoffverbrauches und der CO₂-Emissionen von neuen Personenwagen anhand von 7 Energieeffizienz-Kategorien. Die Zuordnung einzelner Modelle zu diesen Kategorien erfolgt über den Treibstoffverbrauch und das Leergewicht.

Effiziente Fahrzeuge

Fahrzeuge, welche die Abgasnormen und Grenzwerte EURO 4 erfüllen, werden in dieser Studie als effizient betrachtet.

Externe Kosten

treten da auf, wo die Konsum- oder Produktionsentscheidungen eines Individuums einen negativen Einfluss auf den Nutzen oder die Produktionsmöglichkeiten eines anderen Individuums haben, ohne dass die betroffene Partei eine Kompensation vom Verursacher der negativen Externalität erhält.

ExternE

„Externalities of Energy“. Europäisches Projekt, das eine einheitliche Berechnung der externen Kosten von Energie zum Ziel hat.

EURO 1,2,3,4

Europäische Abgasnormen für leichte und schwere Motorwagen

FAV

Schweizerische Abgasverordnungen

HBEFA

Das Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs des Umweltbundesamtes (Berlin) und des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (Bern) ist ein Instrument zur detaillierten Berechnung von verkehrsbedingten Emissionen nach vielfältigen Kriterien, Verkehrssituationen und Fahrzeugtypen.

Hedonic pricing Methode

Bewertungsmethode, die den Wert eines Gutes über die Attribute des Gutes bestimmt. In der Umwelt-

IRE-CEPE

	<p>ökonomie wird der Wert von Umweltqualität häufig aus Miet- oder Kaufpreisdifferenzen von Immobilien abgeleitet. Die Idee besteht darin, dass sich die Miete oder der Preis einer bestimmten Wohnung aus verschiedenen Charakteristika zusammensetzt. Stehen die entsprechenden Angaben zur Verfügung, kann mit Hilfe geeigneter statistischer Verfahren die Bedeutung jeder Eigenschaft bestimmt werden. Es lässt sich so zum Beispiel der implizite Preis für Ruhe ableiten.</p>
Impact Pathway Analyse	Analyse des Wirkungspfads von Belastungen auf Rezeptoren.
Kaufkraftparität (KKP)	Die Kaufkraftparität beschreibt die Menge an Gütern und Dienstleistungen, die in einem bestimmten Land gekauft werden können, im Vergleich zu einem anderen Land.
LEM	Leicht-Elektromobile.
Marginale Kosten (Grenzkosten)	Zusätzliche Kosten, die die letzte Verkehrseinheit verursacht. Marginale Kosten sind wichtig, wenn das Ziel eine Internalisierung der externen Kosten ist. Wenn die gesamten externen Kosten vom Ursprung aus proportional zum Verkehrsvolumen variiert, entsprechen die Grenzkosten den Durchschnittskosten.
Privatkosten	Interne Kosten, die dem Besitzer eines Verkehrsmittels privat anfallen.
Schattenpreis	Marginale Opportunitätskosten für den Verbrauch einer Ressource.
Soziale Kosten	Summe der internen und externen Kosten.
Value of statistical life (VSL)	Der Wert eines statistischen Lebens ist der Wert einer lebenssichernden Risikoreduktion.
VEL1	Pilotprojekt in Mendrisio zur Förderung von Leicht-Elektromobilen (Veicoli Elettrici Leggeri).
VEL2	Ausweitung von VEL1 auf effiziente Fahrzeuge und das ganze Gebiet des Kantons Tessin und zusätzliche Aktivitäten im Zusammenhang nachhaltiger Mobilität.
Willingness to pay (WTP)	Zahlungsbereitschaft für die Beibehaltung oder Verbesserung einer Umweltqualität. Erfassung der Zahlungsbereitschaft erfolgt über Bewertungsmethoden wie Contingent Valuation. Der deklarierte oder erfragte Geldbetrag wird als Hinweis für den Wert eines Umweltgutes oder –nutzens betrachtet.

Abkürzungen

ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
BfS	Bundesamt für Statistik
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
EURO 1,2,3, etc.	Europäische Abgasvorschriften für leichte und schwere Motorwagen. Fahrzeugkategorie nach Emissionsstufen.
Fzkm	Fahrzeugskilometer
KWh	Kilowatt-Stunde
MIV	Motorisierter Individualverkehr
MJ	MegaJoule
MJth	MegaJoule thermisch
LEM	Leicht-Elektromobile
LRV	Luftreinhalte-Verordnung
LSV	Lärmschutz-Verordnung
PW	Personenwagen
UNITE	UN ification of accounts and marginal costs for T ransport E fficiency
USG	Umweltschutzgesetz

Schadstoffe

DME	Diesel Motor Emission.
NMVO	Flüchtige organische Verbindungen ohne Methan, ohne FCKW. Methan und FCKW werden wegen der speziellen Wirkung getrennt behandelt. Entsteht beim Verdunsten von Lösungsmitteln und Treibstoffen und bei der unvollständigen Verbrennung. Hauptquellen ist neben Industrie und Gewerbe der Strassenverkehr. Auswirkungen: von nicht toxisch bis zu hochtoxisch und krebserzeugend. Zusammen mit Stickoxiden wichtige Vorläufersubstanzen für die Bildung von Ozon/Sommersmog (Quelle: BUWAL).
NOx	Stickoxide. Unter dem Begriff Stickoxide werden Stickstoffdioxid (NO ₂) und Stickstoffmonoxid (NO) zusammengefasst. Da NO rasch zu NO ₂ oxidiert, werden die Emissionen gesamthaft als Stickstoffdioxid (NO ₂)-Äquivalente angegeben. Es entsteht beim Verbrennen von Brenn- und Treibstoffen, insbesondere

IRE-CEPE

bei hohen Verbrennungstemperaturen. Hauptquelle ist der Strassenverkehr. Auswirkungen: Erkrankung der Atemwege, Schädigung der Pflanzen und empfindlicher Ökosysteme bei kombinierter Einwirkung mehrere Schadstoffe, Überdüngung von Ökosystemen. Wichtige Vorläufersubstanz für die Bildung von saurem Regen und Ozon/ Sommersmog.

O3

Ozon. Bodennahes Ozon ist ein Sekundärschadstoff und entsteht in der Troposphäre unter Einwirkung von Sonnenlicht aus Stickoxiden und flüchtigen organischen Verbindungen. Hauptquellen sind Verkehr, Industrie und Gewerbe. Auswirkungen: Ozon reizt die Schleimhaut der Atemwege, verursacht Druck auf die Brust, vermindert die Leistungsfähigkeit der Lungen, schädigt Pflanzen.

PM10

Feinstaub (Particulate matter). Unter der Bezeichnung PM10 versteht man Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner gleich 10 Mikrometer (oder 10 Tausendstel-Millimeter). Staub ist ein physikalisch-chemisch komplexes Gemisch. Es besteht sowohl aus primär emittierten wie aus sekundär gebildeten Komponenten natürlichen und anthropogenen Ursprungs (z.B. Russ, geologisches Material, Abriebspartikel, biologisches Material) und ist in seiner Zusammensetzung sehr vielfältig (Schwermetalle, Sulfat, Nitrat, Ammonium, organischer Kohlenstoff, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Dioxine/Furane). Es entsteht bei industriellen und gewerblichen Produktionsprozessen, bei Verbrennungsprozessen, mechanische Prozesse (Abrieb, Aufwirbelung), sekundäre Bildung (aus SO₂, Nox, NH₃, VOC). Hauptquellen sind Verkehr, Industrie und Gewerbe, Land- und Forstwirtschaft. Auswirkungen: Erkrankungen der Atemwege und des Herz-Kreislaufsystems, Zunahme der Mortalität sowie Krebsrisikos, Belastung des Bodens, der Pflanzen und – über die Nahrungskette – auch des Menschen durch im Staub enthaltene Schwermetalle.

SO2

Schwefeldioxid entsteht beim Verbrennen von schwefelhaltigen Brenn- und Treibstoffen. Hauptquelle ist Industrie- und Hausfeuerungen. Auswirkungen: Erkrankungen der Atemwege, vielfältige Schädigung der Pflanzen und empfindlicher Ökosysteme, Schädigung von Bauwerken und Materialien. Wichtige Vorläufersubstanz für die Bildung von sauren Niederschlägen und sekundären Aerosolen (d.h. sehr feinen Stäuben).

THG

Treibhausgasemissionen.

- CO₂** Kohlendioxid ist ein wichtiges Treibhausgas, das zum Klimawandel beiträgt.
- CO** Kohlenmonoxid entsteht bei der unvollständigen Verbrennung von Brenn- und Treibstoffen. Hauptquelle ist der Strassenverkehr. Auswirkungen: Atemgift beim Menschen und bei warmblütigen Tieren.

Bibliografie

- Abay & Meier et al. (2003) Begleituntersuchung Grossversuch mit Leicht-Elektromobilen (LEM) in Mendrisio - Auswirkungen der 3- und 4-Rädrigen LEM auf das Mobilitätsverhalten. Bern.
- ARE (Bundesamt für Raumentwicklung) (2001) Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse, Bern.
- ARE (Bundesamt für Raumentwicklung) (2004a) Externe Gesundheitskosten durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung in der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2000, Bern.
- ARE (Bundesamt für Raumentwicklung) (2004b) Externe Lärmkosten des Strassen- und Schienenverkehrs der Schweiz, Aktualisierung für das Jahr 2000, Bern.
- ARE (Bundesamt für Raumentwicklung) (2004c) Verkehrsbedingte Gebäudeschäden in der Schweiz, Aktualisierung der externen Kosten 2000, Bern.
- Baranzini, A. & Ramirez, J.V. (2001) Valuing the Impact of Noise on Rents: An Application of the Hedonic Approach to Geneva, *Working paper* series Nr. 02.01, Department of Economics, University of Geneva.
- BfS (2002) Leistungen des privaten motorisierten Personenverkehrs auf der Strasse: Aktualisierte Zeitreihe 1995-2001, Neuchâtel.
- BfS (2002) Umwelt Schweiz 2002 - Statistiken und Analysen, Neuchâtel.
- BfS (2003a) Schweizerische Strassenrechnung, Revision 2002, Neuchâtel.
- BfS (2003b) Strassenfahrzeuge in der Schweiz - 11 Verkehr und Nachrichtenwesen - Bestand am 30. September 2002, Neuchâtel.
- BFS, BUWAL, ARE (2003) Nachhaltige Entwicklung in der Schweiz – Indikatoren und Kommentare, Neuchâtel.
- Bickel, P., Schmid, S., Krewitt, W., Friedrich, R. (1997) External Costs of Transport in ExternE – Joule III, Research funded in part by the European Commission in the framework of the Non Nuclear Energy Programme.
- Bickel, P., Friedrich, R. (2001) Environmental External Costs of Transport, Stuttgart.

- Borruis, G., Danielis, R., Rotaris, L. (2001) I costi esterni dell'inquinamento atmosferico ed acustico: una stima per l'Italia, *Sistemi di Trasporto*, Anno XXIV, 2/2001, pp. 22-32.
- Buse, I. (1994) *Der Wert besserer Luft – untersucht am Beispiel der Stadt Zürich*, Dissertation, Universität Zürich, Verlag Hans Schellenberg, Winterthur.
- BUWAL (2000) *Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1950 - 2020 Nachtrag*: Schriftenreihe Umwelt Nr. 255.
- BUWAL (2001) *PM10. Fragen und Antworten zu Eigenschaften, Emissionen, Immissionen, Auswirkungen, und Massnahmen*, <http://www.umwelt-schweiz.ch/imperia/md/content/luft/fachgebiet/d/122.2.pdf>,
aufgerufen am 10. März 2005
- BUWAL (2002), *Das Klima in Menschenhand, Neue Fakten und Perspektiven*, Bern.
- BUWAL (2003) *Modelling of PM10 and PM2.5 ambient concentrations in Switzerland 2000 and 2010*, Environmental documentation No 169, Air, Bern.
- BUWAL (2004) *Kenngrossen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz (1990-2002)*, Bern.
- BUWAL (2004) *Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030*. Schriftenreihe Umwelt Nr.355, Bern.
- Carlson, F., Martinsson, P. (2001) Do Hypothetical and Actual Marginal Willingness to Pay Differ in Choice Experiments? *Journal of Environmental Economics and Management* 41 179-192.
- Danielis, R., Chiabai, A. (1998) Estimating the cost of air pollution from road transport in Italy, *Transportation Research: Part D*, 3 (4), pp. 249-258.
- Danielis, R., Rotaris, L. (2001) *Rassegna critica delle stime dei costi esterni dei trasporti*, in ACI ANFIA, *I costi e i benefici esterni del trasporto*, Torino.
- Danielis, R., Rotaris, L. (2003) *La stima dei costi esterni dei trasporti: difficoltà teoriche e applicative*, *Economica pubblica*, XXXIII (1).
- ECOPLAN (1996) *Monetarisierung der verkehrsbedingten externen Gesundheitskosten*, im Auftrag des Dienstes für Gesamtverkehrsfragen des EVED, Bern.
- European Commission (1999) *ExternE, Externalities of Energy*, Luxembourg.

- European Commission (2003) External Costs – Research results on socio-environmental damages due to electricity and transport, Brussel.
- Filliger, P., Puybonnieux-Textier, V., Schneider, J. (1999) Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution, PM10 Population Exposure.
- Friedrich, R. Bickel, P. (ed.) (2001) Environmental External Costs of Transport. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.
- Funk, K., Rabl, A. (1999) Electric versus conventional vehicles: social costs and benefits in France, *Transportation Research Part D* 4, 397-411.
- Garrod, G., Willis, K.G. (1999) *Economic Valuation of the Environment*, Edward Elgar, Cheltenham, UK, Massachusetts, USA.
- Güller, P. (2002) Road-Pricing: Konzept und Akzeptanz. NFP-41, Bern.
- Haefeli, U., Hofmann, H., Moreni, G., Schwegler, U. (2005) Auswirkungen neuer Fahrzeugtypen auf das Mobilitätsverhalten von Haushalten: Das Beispiel der Elektrofahrzeuge. In: *Jahrbuch 2004/2005 der Schweizerischen Verkehrswirtschaft*, St. Gallen.
- Hanley, N., Wright, R.E. and V Adamowicz (1998) Using Choice Experiment to Value the Environment, *Environmental and Resource Economics* 11(3-4), 413-428.
- Hidano, N. (2002) *The Economic Valuation of the Environment and Public Policy – A Hedonic Approach*, Edward Elgar, Cheltenham, UK, Northampton, MA, USA.
- Holland, M. and D. Forster (1999), eds. *Fuel Cycles for Emerging and End-Use Technologies, Transport & Waste*. ExternE: Externalities of Energy. Vol. 9, European Commission: Luxembourg.
- INFRAS & IWW (2000) External Costs of Transport – Accident, Environmental and Congestion Costs in Western Europe, Zürich/Karlsruhe.
- INFRAS/Econcept/Prognos (1996) Die vergessenen Milliarden – Externe Kosten im Energie- und Verkehrsbereich, Zürich.
- INFRAS (1999) Faire und effiziente Preise im Verkehr. Ansätze für eine verursachergerechte Verkehrspolitik in der Schweiz, Schlussbericht NFP 41, Zürich.
- INFRAS (2002) Evaluation kurzfristiger Benzinpreiserhöhungen. SVI 2000/442.

- INFRAS (2004) Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Version 2.1 (HBEFA); im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern; des Umweltbundesamtes Berlin, des Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie und des Umweltbundesamts Österreich, Bern/Berlin/Wien.
- Iten, R. (1990) Die mikroökonomische Bewertung von Veränderung der Umweltqualität – Dargestellt am Beispiel der Stadt Zürich, Schellenberg.
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (2004) Eine Information zum Thema Lärm, Karlsruhe. <http://www2.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt3/laerm/booklet.pdf>
- Link, H., Stewart, L.H., Maibach, M., Sanson, T., Nellthorp, J. (2000) The Accounts Approach, UNITE (UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency), Working Funded by 5th Framework RTD Programme, Deliverable D2, ITS, University of Leeds, Leeds.
- Litman, T.A. (2003) Transportation Cost and Benefit Analysis – Techniques, Estimates and Implications, Victoria Transport Policy Institute, Canada.
- Lombard, P.L., Molocchi, A., (1998) I costi ambientali e sociali della mortalità in Italia, FrancoAngeli, Milano.
- Maddison, D., Pearce, D.W., Johansson, T., Calthrop, E., Litman, T., and Verhoef, E. (1996) Blueprint 5: The True Costs of Road Transport, Earthscan, London.
- Maggi, R., Peter, M., Mägerle, J., Maibach, M. (2000) Nutzen des Verkehrs, Bericht D10 des NFP 41, Bern.
- Mayeres, I., Proost, S., Vandercruyssen, D., De Nocker, L., Int Panis, L., Wouters, G., De Borger, B. (2001) The External Costs of Transportation, Sustainable Mobility Programme, Federal Office for Scientific, Technical and Cultural Affairs, State of Belgium, Prime Minister's Services.
- Mitchell, R., Carson, R.T. (1989) Using Surveys to Value Public Goods: The Contingent Valuation Method, Washington, D.C., Resources for the Future.
- Müller-Wenk, R., Hofstetter, P. (2003) Monetisation of the health impact due to traffic noise, BUWAL UM No. 166, Bern.
- Nielsen, C. (1991) Der Erholungswert stadtnaher Wälder im Kanton Tessin, BUWAL.

- Ott, W., Seiler, B. et al. (1999) Externe Kosten im Verkehr: Regionale Verteilungswirkungen (Regionale Lasten - Auswirkungen von Internalisierung und Mittelverwendung). Bern, Verkehr und Umwelt (Wechselwirkungen Schweiz-Europa / Nationales Forschungsprogramm NFP 41).
- Pearce, D.W., Howarth, A. (2000) Cost Benefit Analysis and Policy Responses, RIVM-Report 48150520 (Technical Report on Methodology: Cost Benefit Analysis and Policy Responses, Commissione Europea).
- Pope C.A. III, Thun, M.J., Namboodiri, M.M., Dockery, D.W., Evans, J.S., Speizer, F.E., Heath, C.W: Jr (1995) Particulate air pollution as predictor of mortality in a prospective study of US adults, *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 151: 669-674.
- Rechsteiner, R. (1990) *Umweltschutz per Portemonnaie: Wege zur sauberen Wirtschaft*. Unionsverlag, Zürich.
- Schwegler, U. (2001) *Besteuerung von Autos mit einem Bonus/Malus-System im Kanton Tessin. Machbarkeitsuntersuchung*. Buwal – ASTRA, Bern.
- Sommer, H., Seethaler, R., Chanel, O., Herry, M., Masson, S., Vergnaud, J.-C. (1999) *Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution – An impact assessment project of Austria, France and Switzerland, prepared for the WHO Ministerial Conference on Environment and Health, London*.
- Suter, S., Sommer, H., Marti, M., Wickart, M. (Ecoplan) Schreyer, C., Peter, M., Gehrig, S., Maibach, M., Wüthrich, P. (Infras) and Bickel, P., Schmid, S. (IER) (2002) *The Pilot Accounts of Switzerland - Appendix Report (UNITE - UNification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Deliverable 5. Funded by 5th Framework RTD Programme. ITS, University of Leeds*.

Anhänge

Tabelle 44: Schadenskosten der verkehrsbedingten Luftbelastung (Euro/t Schadstoff)

Schadstoff	Luft – Stadtzentrum						Luft – ländlicher Raum			
	Belgien		Deutschland		Finnland		Belgien		Deutschland	
	Bruxelles Stadtzentrum		Stuttgart Stadtzentrum		Helsinki Stadtzentrum		Ländliches Dorf		Güstrow- Neustrelitz	
	lokal	regional	lokal	Regional	Lokal	regional	lokal	regional	lokal	regional
PM _{2,5}	388'460	34'861	192'965	34'828	170'523	4'732	74'172	30'434	4'005	15'338
SO ₂ direkt	9'923	533	4'927	2819	5'219	58	1'894	452	102	1281
SO ₂ indirekt	-	4440	-	6870	-	830	-	3945	-	3140
Nox indirekt	-	3312	-	7400	-	816	-	2982	-	4050
Nox via Ozon	-	-1829	-	-1136	-	354	-	-1829	-	-1136
NM VOC via Ozon		1717		1651		261		1717		1651
CO	2.86	0.33	1.42	0.35	1.25	0.05	0.55	0.29	0.03	0.17
Diesel Motor- emission	10'739	964	5'335	963	4'714	131	2'050	841	111	424
Benzol	2'330	246	1'157	252	1'018	36	445	216	32	118
1,3- Butadiene	87'361	10'317	43'384	10'769	38'180	1'736	16'674	9'127	1'869	5'336

Quelle: Friedrich, R. Bickel, P. (ed.) (2001)

Studien Externe Kosten

Nr.	Autoren	Titel	Ort der Publikation	Jahr	Bezug (CH/Ausland)	Externe Kosten	Quelle	Energiekosten	Forschungsperiode	Methode	Originaldaten	Pfad	Studientyp	Evaluation
1	M. Beuthe F. Degrandtort J.F. Geerts E. Jourquin	External costs of the Belgian interurban freight traffic: a network analysis of their internalisation	Belgium	2002	Ausland	Cost of pollution (mECU=1 ECU/1000), congestion (ECU per vehicle-hour), accidents(mECU/h-km), noise and road damages (ECU/h-km)	Interurban freight transports	Nein	1996	NCODUS network model (Software)	Ja (z.T. auch Daten aus ExternE)	_Beuthe_2002.pdf	Journal (Transportation Research)	1
2	Edward Cathrop Stef Proost	Road Transport Externalities (Interaction between Theory and Empirical Research)	Belgium	1998	Ausland	Costs of congestion, cost of air pollution	k.A.		1996	Keine empirische Daten	k.A.	_VCathrop_1998.pdf	Journal (Environmental and Resource Economics)	3
3	Participation of transport economists and engineers, policy makers and policy-advisors	Summary report, Deals on Wheels	San Salvador	1999	Ausland	k.A.	Sustainable transport		k.A.	(Workshop)	k.A.	_dealson_wheels.doc	Workshop	3
4	Stephen Glaister Dan Graham	The effect of fuel prices on motorists	London	2000	Ausland (OECD)	1. Effects of changes in fuel prices on fuel consumption and on traffic levels. 2. Incidence of changes in fuel prices on different kinds of household	(Traffic in general)		k.A.	Literaturarbeit	k.A.	_effect_fuel_prices.pdf	Bericht (AA Motoring Policy Unit and the United Kingdom Petroleum Industry Association)	2
5	Kenneth S. Kurani Thomas Tuminello Daniel Sperling	Testing vehicle demand in "Hybrid Households" using a reflexive survey	USA (Institute of Transportation Studies, University of California, Davis)	1996	Ausland	(Which attributes of electric vehicles play in the purchase decision)	k.A.		k.A.	Interactive and experiment-oriented interviews	k.A.	_ElectricVehDemand.pdf	Journal (Transportation Research)	2
6	Generalsekretariat UV EK / Dienst für Gesamtverkehrstragen	Externe Kosten des Verkehrs	Bern	1996	CH	Externe Gesundheitskosten (in Mio. CHF) durch verkehrsbedingte Luftverschmutzung (PM10)	Personenverkehr Güterverkehr OffRoad-Verkehr	Nein	1993	Epidemiologische Untersuchung	Nein	_ext_ka_werk_93_CH.pdf	Bericht (GVF-News Nr.36)	2-3
7	Wolfram Krewitt Petra Mayenhöfer Rainer Friedrich Alfred Trukenmüller Thomas Heck Alexander Gressmann et. al	ExternE National Implementation - Germany	University of Stuttgart, Germany	1997	Ausland (Germany and EU)	External costs (in general) for a wide range of technologies	Fossil fuel cycles, Nuclear fuel cycles, photovoltaic fuel cycle, wind fuel cycle, biomass fuel cycle	Ja	k.A.	1. Impact pathway for the assessment of the external impacts and associated costs. 2. Control costs method. 3. LCA	Ja (z.T. eigene Daten)	_externe_germany.pdf	Bericht (ExternE)	1-3 (die Quelle ist nicht Transport)
8	Gianluca Crapanzano Luca Dal Forno Marcella Pavan et. al	ExternE National Implementation - Italy	Italy	1997	Ausland (Italy and EU)	Air pollution, occupational health effects, global warming, impacts on the marine environment	Oil fuel cycle, gas fuel cycle, hydro fuel cycle, waste incineration	Ja	k.A.	1. Impact pathway for the assessment of the external impacts and associated costs. 2. Control costs method. 3. LCA	Ja	_externe_italy.pdf	Bericht (ExternE)	1-3 (die Quelle ist nicht Transport)
9	P. Bickel S. Schmid W. Krewitt R. Friedrich	External costs of transport in esterne	Germany	1997	Ausland	Health impact due to air pollution (PM2.5, SO2, CO, Sulphates, Nitrates, Ozone) (mECU/vehicle-km)	Vehicles in agglomerations, urban areas and extra-urban areas	Ja	k.A.	Impact pathway for the assessment of the external impacts and associated costs.	Ja	_externe_transport.pdf	Bericht (ExternE Transport)	1
10	Karna Funk An Rabl	Electric versus conventional vehicles: social costs and benefits in France	Harvard University, Cambridge, USA Ecole des Mines, France University of Colorado, USA	1999	Ausland (France)	External costs due to air pollution, that differ between electric and conventional vehicles (Euro/km)	Electric and conventional vehicles	Ja	1999	Impact pathway for the assessment of the external impacts and associated costs.	Nein (ExternE)	_Funk_rabl_1999.pdf	Journal (Transportation Research)	1

Studien Externe Kosten														
Nr.	Autoren	Titel	Ort der Publikation	Jahr	Bezug (CH/Ausland)	Externe Kosten	Quelle	Energiekosten	Forschungsperiode	Methode	Originaldaten	Pfad	Studientyp	Evaluation
11	E. Gibbons M. O'Mahony	External cost internalisation of urban transport: a case study of Dublin	Dublin (Irland)	2002	Ausland	Congestion (Passenger Car Unit/km), air pollution (Euro/km, Euro/p-km), accidents (Euro/km), noise (Euro/100km)	Urban traffic	Nein	1998-1999	1. Treuen Model demand module, supply module and equilibrium module (used for congestion) 2. Impact pathway (used for air pollution)	Nein (marginal external costs aus ExternE)	Gibbons_2002.pdf	Journal of Environmental Management	2
12	Stephan A. Schmid Peter Bickel Rainer Friedrich	External costs calculation for selected corridors	Germany	2001	Ausland/CH (asse Chiasso-Bergamo)	Air pollution, accidents, congestion and slot scarcity, noise, global warming	Road and rail freight transport	Ja	k.A.	Impact pathway for the assessment of the external impacts and associated costs.	Ja	Intermodal_2001.pdf	Bericht (Freiburg)	1
13	N. Johnston K. Karousakis	Economic incentives to reduce pollution from road transport: the case for vehicle characteristics taxes	London (UK)	1999	Ausland	External costs due to air pollution (and internalisation with a vehicle characteristics tax)	Road traffic and transport	Nein	k.A.	k.A.	Nein	Johnston_1999.pdf	Journal (Transport Policy)	2
14	Willet Kempton Steven E. Lottandie	Electric vehicles as a new power source for electric utilities	USA	1997	Ausland	k.A. (electric-drive vehicles generating electricity on board, will have value to electric utilities as power resources)	k.A.		k.A.	k.A.	k.A.	Kempton_1997.pdf	Journal (Transportation Research)	3
15	1. Ecoplan - Wirtschafts- und Umweltstudien Heini Sommer Siefen Suter 2. Planteam GHS AG- Projektteam Reto Hön 3. Begleitung seitens des Auftraggebers Rita Seethaler, Dienst GVF	Externe Lärmkosten des Verkehrs	Bern	1998	CH/Deutschland	Externe Lärmkosten (Lärm in Wohnung, am Arbeitsplatz, im Freizeitbereich und in Tourismus)	Strasse-, Schienen- und Luftverkehr	Nein	1988 (Aufarbeitung auf 1993 der Daten)	Historischer Bewertungsansatz, contingent valuation (mittels Befragung wird die Zahlungsbereitschaft für weniger Lärm erfragt) und Vermeidungskostenansatz	Ja	Lärm_Ecoplan_1998.pdf	Bericht (Ecoplan)	1
16	Pierre Thomas Légar	Willingness to Pay for Improvements in Air Quality	Montréal (Canada)	2001	Ausland (Montréal)	k.A. (relationship between ozone levels, health status and medical care consumption)	k.A.		k.A.	1. Hedonic pricing method/preference model 2. Contingent valuation method 3. Cost-of-illness approach 4. Production-function approach	k.A.	Legar_2001.pdf	Bericht	3
17	Markus Mabach, INFRAS	External costs of transport - Accident, Environmental and congestion costs in western Europe	Zürich	2000	Western Europe (EU member states, Switzerland, Norway)	External costs due to accidents, noise, air pollution (health, material damages, biohaz), climate change risks, other environmental and non-environmental risks and congestion (Euro per 1000 pkm/hkm)	Road, air, rail transport (passenger and freight) Waterborne transport (freight)	Nein	1995 (and trend for 2010)		Ja	INFRAS_MW_2000_Final.pdf	Bericht (Infras)	1
18	Patrick B. McCarthy Richard S. Tay	New vehicle consumption and fuel efficiency: a nested logit approach	USA New Zealand	1998	Ausland	k.A. (nested logit model of new vehicle demand)	k.A.		1999	k.A.	k.A.	McCarthy_1998.pdf	Journal (Logistic and Transport Review)	3
19	R. Marconi A. Bauerb D. Hunt	Options for refuelling hydrogen fuel cell vehicles in Italy	Italy (Rome)	2002	Ausland (Italy)	Air pollution in urban centres (US\$/ton) for different types of vehicles including fuel cell vehicles	Urban traffic	Ja	(1999-2001)	ExternE_Technology_Impact_pathway	Ja	Marconi_2002.pdf	Journal of Power Sources	2
20	Ian W.H. Parrs Kamath A. Small	Does Britain or the United States have the right gasoline tax?	USA (California)	2002	Ausland (USA and UK)	Air pollution, congestion, accident (taken into account to provide a calculation for the optimal gasoline tax)	k.A.		k.A.	k.A.	k.A.	ParrsSmall_2002.pdf	Bericht University of California Energy Institute	3

Studien Externe Kosten

Nr.	Autoren	Titel	Ort der Publikation	Jahr	Bezug (CH/Ausland)	Externe Kosten	Quelle	Energiekosten	Forschungsperiode	Methode	Originaldaten	Pfad	Studentyp	Evaluation
21	Stefan Suter	Theoretical view on pricing. Latest developments in research: Theory, application and impacts	Bern	2002	Ausland/CH	Marginal infrastructure, noise and air pollution costs (Euro/1000pkm/tkm)	Different countries and types of traffic (freight and passengers)	Nein	k.A.	short run social marginal cost pricing (SMCP)	Nein (Infras)	..Pricing_Ecoplan_2002.pdf	Bericht (Ecoplan)	1
22	S. Proost, K. Van Dender, C. Cuorcelle, B De Borger, J. Peirson, D. Sharp, R. Vickermann, E. Gibbons, M. O'Mahony, Q. Heaney, J. Van den Bergh, E. Verhoef	How large is the gap between present and efficient transport prices in Europe?	Belgium	2002	Ausland (urban areas - Amstersam, Brussels, Dublin, London - Interregional transport Belgium and Ireland-)	Congestion, Air pollution, accidents (analyze of the gap between present and efficient transport prices with the help of six case studies)	Passenger and freight road transport (urban and interregional)	Nein	Focus on 2005	TRENEN model	Nein (ExternE for air pollution)	..VProost_2002.pdf	Journal (Transport Policy)	2
23	Stef Proost Edward Calthrop	Environmental Pricing in Transport	Belgium	2002	Ausland	(Same data as 24)	(Same data as 24)		(Same data as 24)	(Same data as 24)	k.A.	..VProost2002.pdf	Working Paper (Katholische Universität Leuven)	3
24	Kristen Halsnaes, Anil Markandya, Jayant Sythaye (UNEP)	Transport and the Global Environment: Accounting for GHG Reductions in Policy Analysis	France, Denmark	2001	Ausland	External costs due to air pollution (cents/km)	Diesel passenger cars in agglomerations, urban areas and motorway		k.A.	k.A.	k.A.	..UNEP.pdf	Bericht (UNEP)	2
25	Heini Sommer René Neuenschwander	Soziale und externe Kosten der Verkehrsunfälle in der Schweiz	Bern	1993	CH	Externe Kosten der Verkehrsunfälle	Strassenverkehr Schienenverkehr	Nein	1992-1993	k.A.	Ja	..Verkehrsunfälle1993.pdf	Bericht (Ecoplan)	1
26	Europäische Kommission	Die Europäische Verkehrspolitik bis 2010: Weichenstellungen für die Zukunft	Luxemburg	2001	EU	k.A.	k.A.		k.A.	k.A.	k.A.	..weissbuch_eu.pdf	Bericht (Europäische Kommission)	3
27	Christopher Zegras	The costs of transportation in Santiago de Chile: analysis and policy implications	Santiago (Chile)	1998	Ausland (Santiago)	(Estimation of transportation costs in general, noise and air pollution, infrastructure, congestion, Land, accidents, ownership and operating)	Focus on passenger transport		k.A.	k.A.	k.A.	..VZegras_1998.pdf	Journal (Transport Policy)	2
28	Michele Fontana	Parte I: Le stime nei costi esterni del trasporto	Italia	2002	Italia	Costi esterni dovuti alla congestione ed incidenti	Traffico	Nein	k.A.	Confronto di diversi metodi (ExternE, Infras-lww/Uic, Adt/Fs-Confitarma, Csst-Istiee/Anfia-Aci)	Nein	..Le stime dei costi esterni del trasporto3_Partell.doc	Bericht	1
29	Simone Gagnati	Parte II: Il modello di astra-Italia	Italia	2002	Italia	Costi esterni dovuti all'inquinamento atmosferico, rumore, incidentalità e congestione stradale (dati nell'appendice)	Traffico passeggeri e merci	Nein	Anno base 2000 Scenario di riferimento 2000-2030	Astra Italia (Systems Dynamics Modelling - simula il sistema dei trasporti, macroeconomico territoriale ed ambientale)	Ja (eigene Schätzungen und Vergleich mit anderen Modellen)	..Le stime dei costi esterni del trasporto4_Partell.doc	Bericht	1
30	Simone Gagnati	Parte II: Il modello di astra-Italia (appendice)	Italia	2002	Italia	Vengono indicati i costi monetari delle emissioni in lire/tonn. I costi del rumore in ambito urbano ed extraurbano (Euro/p-km o t-km - moto, auto, bus, treno, aereo). Costi degli incidenti stradali in Euro/persona o incidente	Traffico passeggeri e merci	Nein	Anno base 2000 Scenario di riferimento 2000-2030	Astra Italia (Systems Dynamics Modelling - simula il sistema dei trasporti, macroeconomico territoriale ed ambientale)	Ja (eigene Schätzungen und Vergleich mit anderen Modellen)	..Le stime dei costi esterni del trasporto5_Allegati.doc	Bericht	1

Studien Externe Kosten

Nr.	Autoren	Titel	Ort der Publikation	Jahr	Bezug (CH/Ausland)	Externe Kosten	Quelle	Energiekosten	Forschungsperiode	Methode	Originaldaten	Pfad	Studientyp	Evaluation
31	Romeo Danielis Lucia Rotaris	La stima die costi esterni die trasporti: difficoltà teoriche e applicative	Università di Trieste (Italia)	2003	k.A.	(Methodological uncertainties connected with the estimation of external costs of air pollution, congestion and accidents)	k.A.		k.A.	k.A.	k.A.	Ordner doc nr.31	Journal (Economia Pubblica)	3
32	Jonathan Murray Nicholas Sarantis	Quality, User Cost, Forward-Looking behavior, and the Demand for Cars in the UK	New York	1999	Ausland (UK)	Model for the demand for new cars and the rental price of used cars	k.A.		k.A.	Hedonistic price equations	k.A.	Ordner doc Nr. 32	Journal of Economics and Business	3
33	C. Jakobsson S. Fujii T. Garling	Determinants of private car users' acceptance of road pricing	Göteborg (Sweden)	2000	Ausland (a metropolitan area of Sweden)	(Acceptance of road pricing is negatively affected by perceived infringement of freedom and unfairness)	k.A.		k.A.	Questionnaire	k.A.	Ordner doc nr. 33	Journal (Transport Policy)	3
34	Andrew Stirling	Limits to the value of external costs	Brighton (UK)	1997	Ausland	(the aim of this paper is to show the variability in the monetary valuation results obtained in the literature)	k.A.		k.A.	Literaturarbeit	k.A.	Ordner doc nr. 34	Journal (Energy Policy)	3
35	Wolfram Krewitt Thomas Heck Rainer Friedrich Alfred Trukenmüller	Environmental damage costs from fossil electricity generation in Germany and Europe	Stuttgart (Germany)	1999	Ausland (Germany/Europe)	Damage costs (Mortality, morbidity, materials, corps) in US\$/tSO ₂ /NO _x /PM10	Electricity generation (fossil fired power plants)	Ja	1990	Impact pathway (ExternE)	Ja	Ordner doc. Nr 35	Journal (Energy Policy)	2-3
36	Peter S. Glaser	Green Power Marketing Claims: A Free Ride on Conventional Power?	Washington DC (USA)	1999	Ausland	k.A.	k.A.		k.A.	k.A.	k.A.	Ordner doc. Nr 36	The Electricity Journal	3
37	Stefan Hirschberg Martin Jakob (PSI)	Cost Structure of the Swiss Electricity Generation under Consideration of External Costs	Bern	1999	CH	Damage costs for various energy chains in EU countries in mECU/kWh	Electricity production	Ja	k.A.	Impact pathway	k.A.	Ordner doc. Nr 37	SAAE Seminar "Strompreise zwischen Markt und Kosten: Führt der freie Strommarkt zur Kostenwarheit?"	2-3
38	Sandro Furlan	Towards a cleaner way to move: A cost-benefit analysis in developing the Electric Vehicle Option in urban areas	CH	?	CH (Bern, Geneva, Zurich, Lugano and Mendrisio)	1. External costs due to Electricity generation and Life-Cycle emission. 2. External cost of air pollution	1. Vehicle and fuel production in urban areas 2. Conventional and Electric vehicles	Ja	1999	Literature of different studies and transfer from site specific valuation to CH geographical areas	Ja	_Final report_Furlan/final.pdf	Bericht	1
39	Inge Mayers Sara Ochelen Stef Proost	The marginal external costs of urban transport	Belgium (Katholische Universität Leuven)	1996	Ausland (urban areas of Belgium)	Marginal external costs of congestion, accidents, air pollution and noise (ECU/km)	Urban transportation (Car, bus, tram, metro and trucks)	Nein	1990/2005	(Direct damage estimation approach)	Ja (aber auch Bezug auf ExternE)	Ordner doc Nr. 38	Journal (Transportation Research)	1
40	T.R. Lakshmanan P. Nijkamp P. Rietveld E.T. Verhoef	Benefits and costs of transport (classification, methodologies and policies)	Boston/Amsterdam	2001	Ausland	k.A.	Transport		k.A.	(only theoretical aspects)	k.A.	Ordner doc Nr. 39	Journal (Papers in Regional Science)	3

Studien Externe Kosten

Nr.	Autoren	Titel	Ort der Publikation	Jahr	Bezug (CH/Ausland)	Externe Kosten	Quelle	Energiekosten	Forschungsperiode	Methode	Originaldaten	Titel	Studientyp	Evaluation
41	Prof. Dr. Ruedi Müller-Wenk, Institut für Wirtschaft und Ökologie, Uni St. Gallen	Zurechnung von lärmbedingten Gesundheitsschäden auf den Strassenverkehr	Born	2002	CH	Lärmbedingte Gesundheitsschäden (keine Angaben der Kosten)	Strassenverkehr (und Verkehr im allg.)		1995-1996	(?)	k.A.	.Vuzätzliche Artikel/ÖNWA/Geu ndheitskosten_Lärm.p df	Bericht (BUWAL)	2/3
42	André Müller (ECCOPLAN)	Monetarisierung der werkeisbedingten externen Gesundheitskosten, Synthesebereich	Born/Zürich	1996	CH	Gesundheitskosten durch Luftverschmutzung (Mio CHF)	Strassenverkehr	Nein	1993	Epidemiologische Untersuchung, Ermittlung der Luftverschmutzung und monetarisierung (Produktionsausfall, Immaterielle Kosten, Med. Behandlungskosten und Administrativkosten)	Ja	.Vuzätzliche Artikel/Ecoplan/Ecoplan_Gesundheitskosten.pdf	Bericht (Ecoplan)	2
43	Hani Sommer Stefan Suter Michael Marti	Unfallkosten im Strassen- und Schienenverkehr der Schweiz	Born	1998	CH	Unfallkosten (soziale und externe Kosten) (Personenwagen, Fahrrad, Mofa in Mio. CHF; Rp/FZkm)	Strassenverkehr	Nein	1998	Datengrundlagen wie med. Heilungskosten, Wiederbesetzungskosten, Nettoproduktionsausfall usw.	Ja	.Vuzätzliche Artikel/Ecoplan/Ecoplan_Unfallkosten.pdf	Bericht (Ecoplan)	1
44	Fredrik Carlsson Olof Johansson-Stenman	Costs and Benefits of Electric Vehicles - A 2010 Perspective	Göteborg (Sweden)	2002	Ausland (Sweden)	(The purpose of this paper is to find out whether it is likely that electric vehicles will be privately and socially profitable in the foreseeable future)	(-)	Nein	Forecast 2010	Cost-benefit-analysis	k.A.	.Vuzätzliche Artikel/Electric_vehicles/Carlsson_2002.pdf	Working Paper (Department of Economic, Göteborg University)	1/2
45	Fredrik Carlsson Olof Johansson-Stenman	The costs and benefits of electric vehicles (should battery, hybrid and fuel cell vehicles be publicly supported in Sweden?)	Göteborg (Sweden)	2000	Ausland (Sweden)	A social cost-benefit analysis is undertaken for increasing the number of various kinds of electric vehicles in the Swedish transport sector, by subsidizing them.	(-)	Ja	Forecast 2010	Cost-benefit-analysis	Nein	.Vuzätzliche Artikel/Electric_vehicles/Carlsson_2000.pdf	KFB-Report (Swedish Transport and Communications Research Board)	1/2
46	Romeo Daniels Aline Chiabai	Estimating the cost of air pollution from road transport in Italy	Dipartimento di Scienze Economiche e Statistiche, Università degli Studi di Trieste, Trieste (Italia)	1998	Ausland (Italia)	Estimation of air pollution costs (the cost of increased premature mortality from exposure to total suspended particulates) (Costs per type of vehicle and v-km)	Transport	Nein	1993-1994	Direct estimation method	Nein	.Vuzätzliche Artikel/Daniels_1998.pdf	Journal (Transportation Research)	1
47	Mark A. Delucchi	Personal nonmonetary costs of motor-vehicle use	Institute of Transportation Studies, University of California, Davis, California	1998	Ausland (USA)	Travel time, accidental pain, suffering, death, etc.	Vehicles in general		1990-1991	(-)	k.A.	.Vuzätzliche Artikel/Delucchi.pdf	Bericht (The annual social cost of Motor-vehicle use in the US)	2/3
48	David J. Forkenbrock	Comparison of external costs of rail and truck freight transportation	University of Iowa City, USA	2001	Ausland (USA)	Accidents (fatalities, injuries and property damages), emissions (air pollution and greenhouse gases) and noise	Freight train and railroad		1994	(-)	k.A.	.Vuzätzliche Artikel/Forkenbrock_2001.pdf	Journal (Transportation Research Part A)	2
49	Markus Maibach Christian Schneider	External costs of corridors (a comparison between air, road and rail)	Zürich	2002	CH/Ausland	External accidents and environmental costs, infrastructure net balance, time costs (Euro/Pass. per Corridor)	Air, road and rail transport on the european corridors: Amsterdam-Milan, Munich-Athens, London-Paris, London-Manchester, Rome-Madrid	Nein	2000-2001	Marginal costs approach	Ja	.Vuzätzliche Artikel/Markus_Estimate_L_Costs_of_Corridors.pdf	Bericht (Infra)	2
50	Max Hery Markus Schuster Martin Russ Stefan Wolf (HERRY, Vienna) Markus Maibach Christoph Schreyer Christian Schneider (INFRAS, Zurich)	External costs of transport in central and eastern Europe	Zürich/Vienna	2002	Europe	Accidents (medical care), noise, Air pollution (Health, material), climate change (damage of global warming), Nature and landscape, ground sealing) (Mio Euro/Year, Euro/1000 tkm)	Road, rail, aviation	Nein	1995 (and transit for 2010)	(Willingness-to-pay, dose response functions)	Ja	.Vuzätzliche Artikel/Markus_Zusammenfassung_Final.pdf	Report (INFRAS, OECD Environment Directorate, Austrian Ministry for agriculture and forestry, Environment and water management, Task force on transport of the CEI working group environment)	1

Studien Externe Kosten

Nr.	Autoren	Titel	Ort der Publikation	Jahr	Bezug (CH/Ausland)	Externe Kosten	Quelle	Energiekosten	Forschungsperiode	Methode	Originaldaten	Pfad	Studientyp	Evaluation
61	Heini Sommer, Rita Seethaler, Oliver Chanel, Max Herry, Serge Masson, Jean-Christoph Vergnaud	Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution (An impact assessment project of Austria, France, Switzerland)	London/Bern	1999	Switzerland, Austria, France	Health effect of air pollution	Road traffic	Nein	1996	Epidemiologic approach	?	WCPEs121194\Groups\Economics\Projekte\Externe Kosten\Artikel\Zusätzliche Artikel\WHO\Health Costs due to Road Traffic-related Air Pollution	Bericht (World Health Organisation)	1
62	Herbert Baum Karl-Josef Höhnscheid	Volkswirtschaftliche Kosten der Personenschäden im Strassenverkehr	Köln	1999	Deutschland	Personenschäden wie Unfallkosten (Unfallkostensätze je Unfallopfer nach Schweregradkategorien)	Strassenverkehr		1994	Schadenkostenansatz Zahlungsbereitschaftsansatz	k.A.	Bericht	Bericht (Berichte der Bundesanstalt für Strassenwesen - Mensch und Sicherheit)	3
63	Markuns Maibach Samuel Peter Mauch Rolf Iten Silvia Banfi (Inras) Walter Ott Elmar Ledergerber (Econcept) Klaus p. Masuhr (Prognos)	Die vergessenen Milliarden - externe Kosten im Energie- und Verkehrsbereich	Bern, Stuttgart, Wien	1996	CH (Agglomeration Zürich, Region Bern und Stadt Neuenburg)	Luftverschmutzung insgesamt (inkl. Gesundheitlichen Schäden) Treibhauseffekt, Verkehrsunfälle und Verkehrslärm, Infrastrukturkosten (Strasse und Schiene)	Verkehrsbereich, Personen und Güterverkehr (PW, Tram, Bus, Trolley, Bahn) Energiebereich		1993	Schadenkostenansatz Vermeidungskostenansatz	k.A.	Buch	Buch (Haupt)	2
64	Caroline Gallez	Indicateur d'évaluation de scénarios d'évolution de la mobilité urbaine	France	2000	Paris	Accidents (0.04 FR/km), bruit (0.12 FR/km), pollution (0.05 FR/km), congestion (0.06 FR/km)	Déplacements en voiture	Nein	1997	?	Nein	Bericht	Bericht INRETS (Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité)	2
65	Rainer Friedrich Peter Bickel	Environmental External Costs of Transport	Stuttgart (Germany)	2001	Ausland (Belgium, Finland, France, Germany, Greece, The Netherlands, UK)	Health costs	Road and rail good and passenger transport, inland shipping, aircraft transport	Ja	1995/1997	Impact Pathway	Nein	Buch	Buch (Springer-Verlag)	2
66	Rolf Iten	Die mikroökonomische Bewertung von Veränderungen der Umweltqualität - Dargestellt am Beispiel der Stadt Zürich	Zürich	1992	Schweiz (Zürich)	Lärmkosten (Reduktion der Durchschnittsmiete)	Verkehr	Nein	k.A.	Hedonic pricing and contingent valuation	Ja	Kopie des Buches	Dissertation (Geschäftsführender Direktor des Instituts für empirische Wirtschaftsforschung der Universität Zürich - Verlag Hans schellenberg, Witerthur)	1/2
67	Andrea Baranzini José V. Ramirez	Valuing the Impact of noise on rents: An application of the hedonic approach to Geneva	Geneva	2002	Schweiz (Genf)	Lärmkosten (Immobilienwert)	Verkehr	Nein	1993-2000	Hedonic Pricing	Ja	Dokument	Working Paper	2
68	Bundesamt für Raumentwicklung (ARE)	Externe Lärmkosten des Verkehrs: Hedonic Pricing Analyse	Bern	2001	Schweiz	Lärmkosten (Verminderung der Mietzinse oder Immobilienpreise bei Zunahme des Verkehrslärms - Ergebnisse im internationalen Vergleich)	Verkehr	Nein	-	Hedonic Pricing	Nein	Bericht	Bericht	2
69	Walter Ott Benno Seiler Roland Kälin	Externe Kosten im Verkehr: Regionale Verteilungswirkungen- Regionale Lasten - Auswirkungen von Internalisierung und Mittelverwendung	Bern	1999	Schweiz	Gebäudenschäden, Gesundheit, Unfälle, Lärm, Landwirtschaft, Infrastrukturdefizite, Klimaänderung	Strassenverkehr, Schienenverkehr	Nein	1995	Keine eigene Berechnung der Daten	Nein	Bericht	Bericht (Verkehr und Umwelt, Wechselwirkung Schweiz-Europa, Nationales Forschungsprogramm NFP 41)	1



Università della Svizzera italiana

Facoltà di scienze economiche

Istituto di ricerche economiche IRE

Centre for Energy Policy and Economics
Swiss Federal Institutes of Technology

Indagine nell'ambito di un progetto sul potenziale di risparmio di costi esterni, grazie all'uso di veicoli efficienti ed elettrici in Ticino.
Studio commissionato dall'Ufficio federale delle strade.
I dati saranno trattati in maniera assolutamente confidenziale unicamente a scopo di questa ricerca

Nome
Cognome
Istituzione/Impresa
Luogo
Data Intervista. Ora

1. Il concetto dei costi esterni le è familiare? Conosce ambiti dove si parla di costi esterni, dove i costi esterni sono stati internalizzati?

Commento
.....
.....
.....
.....

Per eventuali domande si rivolga direttamente a Roman Rudel (058 666'46'67)

2. Come valuta, in modo molto generale, il concetto di costi esterni per la politica ambientale e del traffico?

Assolutamente non importante	Poco importante	Indifferente	Abbastanza importante	Molto importante

Per quali motivi ha risposto in questo modo?

.....

.....

.....

Quali sono la forza e la debolezza di questo concetto? Particolarità dei costi esterni rispetto altre misure di politica ambientale/del traffico.

.....

.....

.....

.....

Come valuta l'efficienza/efficacia delle misure legati ai costi esterni?

	Assolutamente ininfluyente	Poco influente	Indifferente	Abbastanza influente	Molto influente
Efficiente					
Efficacia					

In che misura i costi esterni contribuiscono a risolvere i problemi del traffico o a ridurli?

Commento.....

.....

.....

.....

.....

3. Finora i costi esterni sono stati applicati in pochi ambiti. Quali possono essere, secondo lei, i motivi principali?

	Assolutamente non importante	Poco importante	Indifferente	Abbastanza importante	Molto importante
Complessità					
Difficilmente comunicabili					
Sovrastima dei costi					
Sottostima dei costi					
Scientificamente incerti					
Socialmente ingiusti					
Altri					

Commento.....

4. Il traffico genera impatti con costi esterni in vari ambiti (circo CHF 5 Mrd/anno). Quali di questi impatti/costi esterni dovrebbero essere pagati da chi li genera?

	Assolutamente no	No	Indifferente	Sì	Assolutamente sì
Salute					
Danni agli edifici					
Incidenti					
Congestione					
Ambiente e paesaggio					
Clima					
Rumore					
Mancata produzione)					
Infrastrutture					

Commento.....

5. Quali sostanze (emissioni) nocive dovrebbero essere integrate nei calcoli degli impatti ambientali?

	Assolutamente no	No	Indifferente	Si	Assolutamente si
NO _x					
CO					
CO ₂					
VOC					
SO ₂					
PM ₁₀					
Rumore					
Altri					

Quali sono i motivi per la sua scelta, indicazione?

.....

.....

.....

6. Secondo quali principi e metodi bisognerebbe determinare i costi esterni?

	Assolutamente no	No	Indifferente	Si	Assolutamente sì
I costi esterni devono coprire tutti i costi					
Coprire parzialmente					
Il più elevati possibile					
In base alle conoscenze scientifiche					
Prevenire i danni					
Coprire i danni					
Adeguati alla disponibilità dichiarata					

Commento.....

.....

.....

.....

.....

7. Modalità di implementare i costi esterni

- Con l'imposta di circolazione
- Sulle tasse del carburante
- Con un sistema di Bonus – Malus.....

8. A quale scopo politico principale dovrebbe servire l'internalizzazione dei costi esterni?

- Ridurre inquinamento
- Aumentare le risorse finanziarie
- Favorire la mobilità con mezzi meno inquinanti

Commento.....

Colgo, in nome di tutto il gruppo di lavoro, l'occasione di ringraziarla per la sua gentile disponibilità.

Coridiali saluti,

Collaboratore scientifico
 Roman Rudel

Si prega gentilmente di mandare il questionario riempito a roman.rudel@lu.unisi.ch o a
 Roman Rudel
 Istituto di Ricerche Economiche/USI
 Via Buffi 13
 6900 Lugano