

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie
und Kommunikation / Bundesamt für Strassen

Forschungspaket Mobility Pricing: Projekt B2

**Quantitative Auswirkungen von
Mobility Pricing Szenarien
auf das Mobilitätsverhalten und
auf die Raumplanung**

**Effets quantitatifs des scénarios du Mobility Pricing sur la
mobilité et le développement territorial**

**Quantitative impacts of mobility pricing scenarios on
mobility behaviour and spatial planning**

Forschungsauftrag Nr. 2005/005 auf Antrag der Vereinigung
Schweizerischer Verkehrsingenieure

September 2007

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation /
Bundesamt für Strassen

Quantitative Auswirkungen von Mobility Pricing Szenarien auf das Mobilitätsverhalten und auf die Raumplanung

Effets quantitatifs des scénarios du Mobility Pricing sur la mobilité et le
développement territorial

Quantitative impacts of mobility pricing scenarios on mobility behaviour and spatial
planning

Forschungsauftrag: Nr. SVI 2005/005 auf Antrag der Vereinigung
Schweizerischer Verkehrsingenieure

Forschungsstelle: Verkehrsconsulting Fröhlich (IG MODUS), Zürich
TransOptima GmbH (IG MODUS), Olten
Ernst Basler + Partner AG, Zürich

Bearbeitung:
Verkehrsconsulting Fröhlich Dipl.-Ing. Philipp Fröhlich (Projektleiter)

TransOptima Dr.-Ing. Milenko Vrtic

Ernst Basler + Partner Dipl.-Ing. Pascal Kern
Dipl.-Ing. René Huber
Dipl.-Ing. Toralf Dittrich

Begleitende Kommission:

- Paul Widmer, Büro Widmer, Frauenfeld (Vorsitzender)
- Dr. Matthias Rapp, RappTrans AG, Basel (Gesamtprojektleiter Mobility Pricing)
- Michael Arendt, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Bern
- Amira Ayoubi, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern (bis Januar 2007)
- Dr. Casimir de Rham, SYSTEMS CONSULT, Monaco
- Martin Howald, SBB, Bern
- Roland Koch, Stadt Luzern, Luzern
- Michael Löchl, IVT ETH Zürich, Zürich
- Daniel Mühlemann, Touring Club Schweiz (TCS), Genf
- Guido Rindsfuser, Emch + Berger, Bern
- Thomas Stadler, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern (ab Februar 2007)

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	XIII
Resumé	XIX
Executive Summary	XXV
1 Hintergründe und Ziele der Untersuchung	1
2 Methoden	2
2.1 Einleitung	2
2.2 Verkehrsmittelwahlveränderungen	6
2.3 Zielwahlveränderungen	8
2.4 Routenwahlveränderungen	9
2.5 Abfahrtszeitveränderungen	11
3 Datengrundlagen	14
4 Erstellung der Referenz-Matrizen für das Jahr 2030.....	15
4.1 Referenznetz.....	15
4.1.1 Referenznetz MIV.....	15
4.1.2 Referenznetz ÖV.....	16
4.2 Quell-Ziel-Matrizen für das Referenzjahr 2030.....	17
5 Definition Szenarien	27
5.1 Szenario A – Objektpricing.....	27
5.2 Szenario B – Zonenmodell	29
5.3 Szenario C – Netzmodell.....	30
5.4 Szenario D – ZSZ-Modell	31
5.5 Szenario E – Gebietsmodell mit km-Abgabe.....	32
5.6 Übersicht zu den Preisannahmen in den Szenarien und zur Anzahl der Modellschritte	32
6 Resultate Szenarien.....	34
6.1 Szenario A - Objektpricing.....	35
6.2 Szenario B - Zonenmodell.....	41
6.3 Szenario C – Netzmodell.....	50
6.4 Szenario D – ZSZ-Modell	57
6.5 Szenario E – Gebietsmodell mit Km-Abgabe	63

6.5.1	Szenario E1 – Gebietsmodell mit Km-Abgabe.....	64
6.5.2	Szenario E2 – Gebietsmodell mit Km-Abgabe.....	70
6.6	Übersicht zu den Szenarien	77
7	Auswertungen	80
7.1	Fahrgeschwindigkeit und Auslastung im Strassennetz	80
7.2	Auswirkung der Mobility Szenarien auf die Strassenverkehrssicherheit.....	91
7.3	Auswirkungen der Mobility Pricing Szenarien auf die Umwelt.....	94
7.3.1	Lärmschutz	94
7.3.2	Schadstoffe.....	97
7.4	Räumliche Auswirkungen von Mobility Pricing	98
7.4.1	Einfluss von Road Pricing auf die Raumentwicklung	98
7.4.2	Beurteilung der räumlichen Wirkungen für die Mobility-Pricing-Szenarien	100
7.4.3	Spezifische Auswertung der Zielwahlveränderungen	101
7.5	Auswirkungen von Mobility Pricing auf ÖV-Unternehmungen	104
7.5.1	Auswirkungen auf die ÖV-Nachfrage.....	104
7.5.2	Auswirkungen der Mobility Pricing Szenarien auf die ÖV-Einnahmen...105	
7.5.3	Interpretation der ÖV-Nachfrage je Szenario.....	105
7.5.4	Allgemeine Aussagen zum ÖV	106
8	Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf.....	107

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Kombiniertes Modell der Routen-, Abfahrtszeit- und Verkehrsmittelwahl	4
Tabelle 2	Parameter der Verkehrsmittelwahl in der Pivot-Point-Methode.....	7
Tabelle 3	Gewichteter Mittelwert der Variablen aus den SP-Daten	8
Tabelle 4	Parametereinstellungen in Visum für die stochastische Umlegung.....	10
Tabelle 5	Zukünftige Strassenprojekte laut ZEB-Projekt.....	16
Tabelle 6	Vorgehen bei der Berechnung der Quell-Ziel-Matrizen des Binnenverkehrs für das Referenzmodell.....	19
Tabelle 7	Charakteristiken des Referenzmodells 2030.....	20
Tabelle 8	Vergleich der Kennwerte für 2000, 2030 ARE und 2030 Referenzmodell	21
Tabelle 9	Objektliste für Szenario A (Objektpricing)	28
Tabelle 10	Übersicht zu den Preisannahmen in den Szenarien	32
Tabelle 11	Anzahl der zu berechnenden Modellschritte	33
Tabelle 12	Charakteristiken des Szenarios A (Objektpricing)	35
Tabelle 13	Charakteristiken des Szenarios B1 (Zonenmodell)	42
Tabelle 14	Verschiebung der Wahl der Abfahrtszeit mit Bezug auf die durch eine Zonenmaut betroffenen MIV-Wege pro Tag im Jahr 2000	42
Tabelle 15	Verschiebung der Wahl der Abfahrtszeit mit Bezug auf alle MIV-Wege pro Tag im Jahr 2000	43
Tabelle 16	Charakteristiken des Szenarios C – Netzmodell	50
Tabelle 17	Charakteristiken des Szenarios D – ZSZ-Modell.....	57
Tabelle 18	Charakteristiken des Szenarios E1 – Gebietsmodell mit km-Abgabe .	64
Tabelle 19	Charakteristiken des Szenarios E2 – Gebietsmodell mit km-Abgabe .	71
Tabelle 20	MIV-Fahrten, MIV-Wege und ÖV-Wege pro Werktag im Modellgebiet	77

Tabelle 21	Szenarien Fahrzeugkilometer und Fahrzeugstunden nach Streckentyp	78
Tabelle 22	Verkehrsleistung im MIV und ÖV der Szenarien in P-km.....	79
Tabelle 23	Unfallrate und Verunfalltenrate nach Strassentyp in der Schweiz 2003	91
Tabelle 24	Abschätzung der Unfälle und der Verunfallten auf Strassen nach Szenario.....	92
Tabelle 25	Gesamtabschätzung (Schweiz und Ausland) der Unfälle und der Verunfallten nach Szenario	93
Tabelle 26	Veränderung der Lärmbelastung auf Strecken im bebauten Gebiet ...	94
Tabelle 27	Veränderung der Lärmbelastung in bebautem Gebiet im Szenario A (Objektpricing).....	95
Tabelle 28	Veränderung der Lärmbelastung in bebautem Gebiet im Szenario B (Zonenmodell)	95
Tabelle 29	Veränderung der Lärmbelastung in bebautem Gebiet im Szenario C (Netzmodell).....	95
Tabelle 30	Veränderung der Lärmbelastung in bebautem Gebiet im Szenario D (ZSZ-Modell)	96
Tabelle 31	Veränderung der Lärmbelastung in bebautem Gebiet im Szenario E1 (Gebietsmodell).....	96
Tabelle 32	Veränderung der Lärmbelastung in bebautem Gebiet im Szenario E2 (Gebietsmodell).....	96
Tabelle 33	Schadstoffausstoss pro Jahr.....	97
Tabelle 34	MIV-Zielwahlveränderung nach Gemeindetyp-Relation	102
Tabelle 35	Zielwahlveränderung der MIV-Fahrten zwischen den Stadtzonen der jeweiligen Kordonpricingzonen (Relation 0-0)	102
Tabelle 36	Auswirkungen der Mobility Pricing Szenarien auf die ÖV-Personenkilometer.....	104
Tabelle 37	Auswirkungen der Mobility Pricing Szenarien auf die ÖV-Einnahmen pro Tag.....	105

Tabelle 38 Auswirkungen der Mobility Pricing Szenarien auf die ÖV-Einnahmen pro Jahr.....105

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Schema zur Wahl der Abfahrtszeit	12
Abbildung 2	Vorgehen bei der Berechnung der Quell-Ziel-Matrizen des Binnenverkehrs für das Referenzmodell 2030.....	18
Abbildung 3	MIV Referenzmodell 2030	21
Abbildung 4	MIV Referenzmodell 2030 (Ausschnitt Mittelland).....	22
Abbildung 5	MIV Referenzmodell 2030 (Ausschnitt Romandie).....	23
Abbildung 6	ÖV Referenzmodell 2030	24
Abbildung 7	ÖV Referenzmodell 2030 (Ausschnitt Mittelland)	25
Abbildung 8	ÖV Referenzmodell 2030 (Ausschnitt Romandie)	26
Abbildung 9	Nationalstrassennetz und Strassennetz von Bedeutung	31
Abbildung 10	Standorte der Vergleichsquerschnitte auf der Autobahn A1	34
Abbildung 11	MIV-Szenario A (Objektpricing): Differenzbelastung zur Referenz..	36
Abbildung 12	MIV-Szenario A (Objektpricing): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland).....	37
Abbildung 13	MIV-Szenario A (Objektpricing): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie).....	38
Abbildung 14	ÖV-Szenario A (Objektpricing): Differenzbelastung zur Referenz ...	39
Abbildung 15	ÖV-Szenario A (Objektpricing): Differenzbelastung zur Referenz ...	40
Abbildung 16	ÖV-Szenario A (Objektpricing): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie).....	41
Abbildung 17	MIV-Szenario B (Zonenmodell): Differenzbelastung zur Referenz ..	44
Abbildung 18	MIV-Szenario B (Zonenmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland).....	45
Abbildung 19	MIV-Szenario B (Zonenmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie).....	46

Abbildung 20	ÖV-Szenario B (Zonenmodell): Differenzbelastung zur Referenz ...	47
Abbildung 21	ÖV-Szenario B (Zonenmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)	48
Abbildung 22	ÖV-Szenario B (Zonenmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)	49
Abbildung 23	MIV-Szenario C (Netzmodell): Differenzbelastung zur Referenz.....	51
Abbildung 24	MIV-Szenario C (Netzmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)	52
Abbildung 25	MIV-Szenario C (Netzmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)	53
Abbildung 26	ÖV-Szenario C (Netzmodell): Differenzbelastung zur Referenz	54
Abbildung 27	ÖV-Szenario C (Netzmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)	55
Abbildung 28	ÖV-Szenario C (Netzmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)	56
Abbildung 29	MIV-Szenario D (ZSZ-Modell): Differenzbelastung zur Referenz	58
Abbildung 30	MIV-Szenario D (ZSZ-Modell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)	59
Abbildung 31	MIV-Szenario D (ZSZ-Modell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)	60
Abbildung 32	ÖV-Szenario D (ZSZ-Modell): Differenzbelastung zur Referenz	61
Abbildung 33	ÖV-Szenario D (ZSZ-Modell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)	62
Abbildung 34	ÖV-Szenario D (ZSZ-Modell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)	63
Abbildung 35	MIV-Szenario E1 (Gebietsmodell mit km Abgabe): Differenzbelastung zur Referenz.....	65
Abbildung 36	MIV-Szenario E1 (Gebietsmodell mit km-Abgabe): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland).....	66

Abbildung 37	MIV-Szenario E1 (Gebietsmodell mit km-Abgabe): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie).....	67
Abbildung 38	ÖV-Szenario E1(Gebietsmodell mit km-Abgabe): Differenzbelastung zur Referenz.....	68
Abbildung 39	ÖV-Szenario E1 (Gebietsmodell mit km-Abgabe): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland).....	69
Abbildung 40	ÖV-Szenario E1 (Gebietsmodell mit km-Abgabe): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie).....	70
Abbildung 41	MIV-Szenario E2 (Gebietsmodell): Differenzbelastung zur Referenz.	71
Abbildung 42	MIV-Szenario E2 (Gebietsmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland).....	72
Abbildung 43	MIV-Szenario E2 (Gebietsmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie).....	73
Abbildung 44	ÖV-Szenario E2 (Gebietsmodell): Differenzbelastung zur Referenz	74
Abbildung 45	ÖV-Szenario E2 (Gebietsmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland).....	75
Abbildung 46	ÖV-Szenario E2 (Gebietsmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie).....	76
Abbildung 47	Szenario A (Objektpricing): Veränderung der Fahrgeschwindigkeit unter Belastung (vaktuell) im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz gegenüber dem Referenzmodell.....	81
Abbildung 48	Szenario B (Zonenmodell): Veränderung der Fahrgeschwindigkeit unter Belastung (vaktuell) im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz gegenüber dem Referenzmodell.....	82
Abbildung 49	Szenario C (Netzmodell): Veränderung der Fahrgeschwindigkeit unter Belastung (vaktuell) im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz gegenüber dem Referenzmodell.....	83
Abbildung 50	Szenario D (ZSZ-Modell): Veränderung der Fahrgeschwindigkeit unter Belastung (vaktuell) im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz gegenüber dem Referenzmodell.....	84

Abbildung 51	Szenario E1 (Gebietsmodell): Veränderung der Fahrgeschwindigkeit unter Belastung (vaktuell) im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz gegenüber dem Referenzmodell.....	85
Abbildung 52	Szenario E2 (Gebietsmodell): Veränderung der Fahrgeschwindigkeit unter Belastung (vaktuell) im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz gegenüber dem Referenzmodell.....	86
Abbildung 53	Referenzmodell: Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz.....	87
Abbildung 54	Szenario A (Objektpricing): Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz.....	88
Abbildung 55	Szenario B (Zonenmodell): Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz.....	88
Abbildung 56	Szenario C (Netzmodell): Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz.....	89
Abbildung 57	Szenario D (ZSZ-Modell): Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz.....	89
Abbildung 58	Szenario E1 (Gebietsmodell): Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz.....	90
Abbildung 59	Szenario E2 (Gebietsmodell): Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz.....	90

SVI 2005/005

Quantitative Auswirkungen von Mobility Pricing Szenarien auf das Mobilitätsverhalten und auf die Raumplanung

Philipp Fröhlich
Verkehrsconsulting Fröhlich
c/o IVT
Wolfgang-Pauli-Strasse 15
CH-8093 Zürich

Milenko Vrtic
TransOptima GmbH
Friedaustasse 18
CH-4600 Olten

Pascal Kern
Ernst Basler + Partner AG
Mühlebachstrasse 11
CH-8032 Zürich

Telefon: +41 44 633 31 96
Telefax: +41 44 633 10 57
froehlich@ig-modus.ch

Telefon: +41 62 212 03 19
Telefax: +41 62 212 03 19
vrtic@ig-modus.ch

Telefon: +41 44 395 16 74
Telefax: +41 44 395 16 17
pascal.kern@ebp.ch

September 2007

Kurzfassung

In der verkehrspolitischen Diskussion der Schweiz nimmt Mobility Pricing einen prominenten Platz ein. Dabei geht es um die Umstrukturierung der Preise im motorisierten Individualverkehr (MIV) und öffentlichen Verkehr (ÖV) zu mehr benutzungsbezogenen Abgaben als auch um die Nachfragebeeinflussung. Für den MIV ist dies auch unter dem Begriff Road Pricing bekannt. Die technische Realisierbarkeit von Road Pricing wurde im Ausland in einigen Städten und Regionen gezeigt. Es bestehen aber Wissenslücken aufgrund der mangelnden Übertragbarkeit der Nachfragereaktionen aus internationalen Projekten bezüglich der Auswirkungen preislicher Massnahmen auf die Wahl des Ziels, des Verkehrsmittels, der Fahrtroute und der Abfahrtszeit, aber auch auf Siedlungsstruktur, Verkehrssicherheit und Umwelt.

Innerhalb des Projekts wurden Verkehrsmodelle für den MIV und ÖV für das Referenzjahr 2030 erstellt. Die Wirkungen von sechs verschiedenen Mobility Pricing Szenarien auf die Verkehrsnachfrage wurden berechnet sowie der Einfluss auf Siedlungsstruktur, Verkehrssicherheit und Umwelt untersucht. Die Modellergebnisse zeigen plausible Resultate und die erwarteten Wirkungszusammenhänge. Insgesamt sind die Nachfrageverlagerungen vom MIV zum ÖV moderat, da die zusätzliche Maut durch die Einführung von Mobility Pricing in den Szenarien auch meist mit einer Verringerung des Benzinpreises gekoppelt ist. Die Verkehrsmodelle und Ergebnisse sind auch eine Grundlage für Untersuchungen von Mobility Pricing Szenarien für Städte und Regionen sowie für andere Forschungsprojekte.

Schlagworte

Mobility Pricing; Road Pricing; Verkehrsmodell; Schweiz

Zitierungsvorschlag

Fröhlich, Ph., M. Vrtic und P. Kern (2007) Quantitative Auswirkungen von Mobility Pricing Szenarien auf das Mobilitätsverhalten und auf die Raumplanung, Endbericht SVI 2005/005, *Schriftenreihe*, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern.

SVI 2005/005

Effets quantitatifs des scénarios du Mobility Pricing sur la mobilité et le développement territorial

Philipp Fröhlich
Verkehrsconsulting Fröhlich
c/o IVT
Wolfgang-Pauli-Strasse 15
CH-8093 Zürich

Milenko Vrtic
TransOptima GmbH
Friedaustasse 18
CH-4600 Olten

Pascal Kern
Ernst Basler + Partner AG
Mühlebachstrasse 11
CH-8032 Zürich

Téléphone: +41 44 633 31 96
Téléfax: +41 44 633 10 57
froehlich@ig-modus.ch

Téléphone: +41 62 212 03 19
Telefax: +41 62 212 03 19
vrtic@ig-modus.ch

Téléphone: +41 44 395 16 74
Téléfax: +41 44 395 16 17
pascal.kern@ebp.ch

Septembre 2007

Abrégé

Le Mobility Pricing joue un rôle important dans les discussions sur la politique des transports en Suisse. Il s'agit d'une restructuration des prix en transports privé et public vers des redevances plus adaptées à l'usage ainsi que d'une gestion de la demande. Pour le transport motorisé privé, ces mesures sont aussi connues sous le nom de Road Pricing. Il a été démontré pour certaines régions et villes à l'étranger que des mesures de Road Pricing sont techniquement réalisables. Néanmoins, il existe des lacunes à cause du manque de portabilité des résultats obtenus à l'étranger, surtout en ce qui concerne les effets de changements des prix sur le choix de destination, de mode de transport, de route et de temps de départ, ainsi que sur les structures urbaines et l'environnement.

En résumé, ce projet a développé des modèles pour établir le réseau et la demande de transport pour l'année de référence 2030 afin de quantifier le effets de 6 scénarios de Mobility Pricing sur la demande et d'estimer l'impact sur le développement territorial, la sécurité routière et l'environnement. Les résultats de la modélisation sont plausibles et indiquent les relations de causes à effets attendues. En tout, l'ampleur du transfert modal est modérée. En effet, l'augmentation du péage par l'introduction de mesures de Mobility Pricing est pour la plupart liée à une baisse du prix de l'essence. Les résultats et le modèle pourront servir à tester des scénarios de Mobility Pricing pour de différentes villes ou régions et pour d'autres projets de recherche.

Mots-clef

Mobility Pricing; Road Pricing; modèle de transport; Suisse

Citation

Fröhlich, Ph., M. Vrtic et P. Kern (2007) Quantitative Auswirkungen von Mobility Pricing Szenarien auf das Mobilitätsverhalten und auf die Raumplanung, Endbericht SVI 2005/005, *Schriftenreihe*, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern.

SVI 2005/005

Quantitative impacts of mobility pricing scenarios on mobility behaviour and spatial planning

Philipp Fröhlich
Verkehrsconsulting Fröhlich
c/o IVT
Wolfgang-Pauli-Strasse 15
CH-8093 Zürich

Milenko Vrtic
TransOptima GmbH
Friedaustasse 18
CH-4600 Olten

Pascal Kern
Ernst Basler + Partner AG
Mühlebachstrasse 11
CH-8032 Zürich

Telephone: +41 44 633 31 96
Telefax: +41 44 633 10 57
froehlich@ig-modus.ch

Telephone: +41 62 212 03 19
Telefax: +41 62 212 03 19
vrtic@ig-modus.ch

Telephone: +41 44 395 16 74
Telefax: +41 44 395 16 17
pascal.kern@ebp.ch

September 2007

Abstract

In Switzerland there is considerable interest in mobility pricing at the policy level. Mobility pricing means restructuring the pricing schema for motorized private transport (MPT) and public transport (PuT) to a more user charge system and in order to influence transport demand. For MPT this is also known as road pricing. The technical feasibility of road pricing has been proven in several foreign cities and regions, but there remain questions regarding the transferability to Switzerland of demand reactions to specific mobility pricing changes from international projects. These include the impact of price changes on destination, mode, route and departure time choice as well as the resulting effects on the environment, road safety and land use.

In summary, this research project developed models to establish the transport network and demand for the reference year 2030, to quantify the effects of six mobility pricing scenarios on travel demand, and to estimate the impact on land use, road safety and the environment. The model results for the mobility pricing scenarios are meaningful and show the expected effects. The demand shift from private vehicle transport to public transport is moderate; this is because the additional mobility pricing charge is compensated for by the reduction in fuel prices for private transport in most scenarios. The research results and model could be useful for testing additional mobility pricing scenarios for cities or regions and other research projects.

Keywords

Mobility Pricing; Road Pricing; transport model; Switzerland

Preferred citation style

Fröhlich, Ph., M. Vrtic and P. Kern (2007) Quantitative Auswirkungen von Mobility Pricing Szenarien auf das Mobilitätsverhalten und auf die Raumplanung, Endbericht SVI 2005/005, *Schriftenreihe*, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern.

Zusammenfassung

Die Einführung von Mobility Pricing als ein möglicher Beitrag zur Lösung von Verkehrs- und Umweltproblemen wird in vielen Ländern und Regionen diskutiert. Dabei geht es sowohl um die Umstrukturierung der Preise im motorisierten Individualverkehr (MIV) und öffentlichen Verkehr (ÖV) zu mehr benutzungsbezogenen Abgaben als auch um die Nachfragebeeinflussung. Für den MIV ist dies auch unter dem Begriff Road Pricing bekannt.

In der verkehrspolitischen Diskussion der Schweiz nimmt Mobility Pricing einen prominenten Platz ein. Die technische Realisierbarkeit von Road Pricing wurde im Ausland in einigen Städten und Regionen gezeigt. Es bestehen aber Wissenslücken aufgrund der mangelnden Übertragbarkeit der Nachfragereaktionen aus internationalen Projekten bezüglich der Auswirkungen preislicher Massnahmen auf die Wahl des Ziels, des Verkehrsmittels, der Fahrtroute und der Abfahrtszeit, aber auch auf Siedlungsstruktur und Umwelt. Für eine vertiefte sachliche Diskussion fehlen somit die entsprechenden Grundlagen.

Im Forschungspaket Mobility Pricing werden verschiedene Szenarien von Mobility Pricing Systemen für den Personenverkehr in der Schweiz analysiert. Der Güterverkehr wird nicht berücksichtigt. Die Szenarien werden so definiert, dass verschiedene Lenkungs- und Finanzziele überprüft werden können. Dementsprechend sind bei einzelnen Szenarien unterschiedliche Nachfragewirkungen zu erwarten.

Die Aufgabenstellung in diesem Projekt ist es, die taktischen Nachfrageveränderungen im Personenverkehr für die definierten Szenarien zu quantifizieren sowie die Auswirkungen auf den Raum und die Umwelt zu analysieren. Um die Aussagekraft sicherzustellen, beziehen sich die Berechnungen und Interpretationen immer auf die ganze Schweiz. Als Grundlage für die Arbeiten dienen das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) des UVEK (Vrtic, Fröhlich, Schüssler, Axhausen, Dasen, Erne, Singer, Lohse und Schiller, 2005), die geschätzten Entscheidungsmodelle aus dem Einzelprojekt B1 im Forschungsprogramm Mobility Pricing „Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhalten“ (Vrtic, Axhausen, Schüssler, Erath, Maggi und Bierlaire, 2006), sowie die im Einzelprojekt A2 „Bedeutung von Mobility Pricing für die Verkehrsfinanzierung der Zukunft“ (Ecoplan und INFRAS, 2006) im Forschungsprogramm Mobility Pricing definierten Mobility Pricing Szenarien.

Für die Modellberechnungen wird zuerst ein Referenzzustand ohne neue Massnahmen im Mobility Pricing erstellt. Dieser Zustand beschreibt das Verkehrsangebot und die Verkehrsnachfrage für das betrachtete Referenzjahr 2030. Die Netzzustände für den MIV können anhand des NPVM sowie der vorgesehenen Angebotserweiterungen bis zum betrachteten Referenzjahr in Zusammenarbeit mit den zuständigen Bundesämtern bestimmt werden. Im ÖV musste auf das ÖV-Modell 2005 zurückgegriffen werden.

Für die Verkehrsnachfrage stehen die Quell-Ziel-Matrizen für das Jahr 2000 zur Verfügung. Die im Rahmen des NPVM für das Jahr 2030 erstellten Matrizen beinhalten nur soziodemographische und siedlungsstrukturelle Nachfrageveränderungen, aber keine Nachfragereaktion aufgrund von Änderungen im Verkehrssystem zwischen 2000 und 2030. Für den gewählten Referenzzustand 2030 müssen daher zusätzlich die Auswirkungen von Angebotsveränderungen auf die Verkehrsnachfrage berechnet werden, wobei sowohl Ziel- als auch Verkehrsmittelwahleffekte bei allen drei Verkehrsmitteln (MIV, ÖV und LIV (Langsamer Individualverkehr)) auftreten. Diese Effekte können, wie bei der Erstellung des NPVM, durch die Anwendung eines simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells in der Planungssoftware VISEVA berechnet werden.

Eine Voraussetzung für die Modellberechnungen ist die Erstellung von Angebotsveränderungen durch die Einführung des Mobility Pricings. Das für das Referenzjahr erstellte Verkehrsangebot wird damit durch die Abbildung des Mobility Pricings als weitere Kostenkomponente (nach Strecken) ergänzt. Anhand des erstellten Verkehrsangebotes mit und ohne Mobility Pricing sowie anhand der aktualisierten Quell-Ziel-Matrizen und Umlegungsparameter werden im folgenden Schritt die Umlegungsläufe in der Umlegungssoftware VISUM durchgeführt, um die nötigen Angebotskenngrößen wie Fahrzeit, Fahrkosten, Umsteigehäufigkeit, usw. nach Quell-Ziel-Beziehung auszuschreiben. Die ermittelten Angebotskenngrößen sind dann die Grundlage für die Berechnung der Nachfrageveränderungen. Da hier die Angebotsveränderungen betrachtet werden, die eine stochastische Nachfragereaktion verursachen, müssen auch die Nachfrageveränderungen mit entsprechenden Ansätzen berechnet werden.

Es wurden für alle Szenarien die gleichen MIV- und ÖV-Netze verwendet, nur die Mobility Pricing Komponenten sind je Szenario unterschiedlich. Diese drei Komponenten sind:

- Benzinpreis
- Maut und
- ÖV-Preis.

Die Einführung von Mobility Pricing zwingt die Verkehrsteilnehmer, sich bei ihren Entscheidungen zum Mobilitätsverhalten mit einer weiteren Angebotskomponente zu beschäftigen. Die Verhaltensänderungen können je nach definierter Pricing-Komponente Zielwahl-, Verkehrsmittelwahl-, Routenwahl- und Abfahrtszeitveränderungen sein, wobei von keiner Veränderung der Mobilitätsrate (Anzahl Wege pro Person) durch Mobility Pricing ausgegangen wird. Für die Quantifizierung der relevanten Verhaltensänderungen sind angesichts der unterschiedlichen Zahlungsbereitschaft und Kostenwahrnehmung der Verkehrsteilnehmer die Anwendung von diskreten Entscheidungsmodellen und stochastischen Umlegungsverfahren notwendig. Dafür wurden innerhalb des Forschungspakets Mobility Pricing im Projekt B1 entsprechende Entscheidungsmodelle geschätzt. Mit vereinfachten Ansätzen auf Grundlage der Elastizitäten-Methode wären nur grobe Abschätzungen auf einem stark aggregierten Niveau möglich.

Folgende Szenarien wurden berechnet und analysiert: Das Szenario A (Objektpricing) sieht ein Objekt- und Valuepricing an einigen ausgewählten Streckenabschnitten vor. Die Mauthöhe wurde derart festgelegt, dass die Summe der Einnahmen über alle ausgewählten Projekte maximiert wird. Im Szenario B (Zonenmodell) ist ein Kordon-Pricing vorgesehen und dabei wird für jede Überfahrt der Gemeindegrenze einer der 11 grössten Schweizer Städte in den Spitzenstunden (6-8 und 16-18 Uhr) eine Maut von 3 Franken erhoben. Szenario C (Netzmodell) sieht eine Abgabe von 4 Rp. pro Fz-km auf dem Nationalstrassennetz und dem Netz von Bedeutung (insgesamt ca. 5'000 km) vor. Gleichzeitig wird der Mineralölsteuerzuschlag um 12 Rp. pro Liter Benzin gesenkt. Das Szenario D (Zonen-Strecken-Zonen-Modell) kombiniert das Szenario B (Zonenmodell) und C (Netzmodell). Im Szenario E1 (Gebietsmodell mit km-Abgabe) ist eine distanzabhängige Abgabe von 4 Rp. pro Fz-km im gesamten Schweizer Strassennetz vorgesehen, zusätzlich wird der Mineralölsteuerzuschlag von 30 Rp. pro Liter abgeschafft. Für das Szenario E2 (Gebietsmodell mit km-Abgabe) wurde von generell hohen Mobilitätskosten ausgegangen. Die km-Abgabe beträgt 15 Rp. pro Fz-km, der Mineralölsteuerzuschlag von 30 Rp. pro Liter Benzin wird abgeschafft und die ÖV-Preise werden im gleichen absoluten Ausmass wie die gesamten variablen MIV-Preise erhöht, daher steigen die ÖV-Preise pro km um mehr als 50%.

Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht zu den Nachfrageveränderungen der Szenarien gegenüber dem Referenzfall 2030, zusätzlich sind für Vergleichszwecke auch die Werte aus dem NPVM für das Jahr 2000 wiedergegeben.

Tabelle 1 Übersicht: Anzahl MIV-Wege, ÖV-Wege und Verkehrsleistung

in Mio. pro Tag	MIV-Wege	ÖV-Wege	Fz-km CH	MIV P-km CH	ÖV P-km CH
NPVM 2000	11.194	1.885	114.1	165.4	45.0
Referenz 2030	13.630	2.579	145.8	201.3	67.5
Sz. A (Objektpricing)	13.626	2.581	145.4	200.7	67.6
Sz. B (Zonenmodell)	13.557	2.650	144.0	198.8	72.4
Sz. C (Netzmodell)	13.571	2.636	140.0	193.1	71.4
Sz. D (ZSZ-Modell)	13.495	2.712	137.3	189.5	76.3
Sz. E1 (Gebietsmodell)	13.523	2.684	139.6	192.6	72.1
Sz. E2 (Gebietsmodell)	13.403	2.803	130.7	180.4	75.1
Relative Veränderungen zur Referenz in %					
NPVM 2000	-17.9	-26.9	-21.7	-17.9	-33.2
Sz. A (Objektpricing)	0.0	+0.1	-0.3	-0.3	+0.2
Sz. B (Zonenmodell)	-0.5	+2.7	-1.2	-1.2	+7.3
Sz. C (Netzmodell)	-0.4	+2.2	-4.0	-4.0	+5.8
Sz. D (ZSZ-Modell)	-1.0	+5.2	-5.9	-5.9	+13.1
Sz. E1 (Gebietsmodell)	-0.8	+4.1	-4.3	-4.3	+6.9
Sz. E2 (Gebietsmodell)	-1.7	+8.7	-10.4	-10.4	+11.3

Im NPVM für das Jahr 2000 ist die Anzahl ÖV-Wege pro Werktag um 27% und die Anzahl MIV-Wege pro Werktag um 18% geringer als im Referenzfall 2030. Die Verkehrsleistung gemessen in Personen-Kilometer (P-km) in der Schweiz war im Jahr 2000 im MIV um 18% und im ÖV um 33% geringer als im Referenzjahr 2030. Bei den ebenfalls angegebenen Verkehrsleistung MIV in Fahrzeug-Kilometer (Fz-km) wird zusätzlich die Veränderung des Besetzungsgrades (von 1.45 Personen pro PW im Jahr 2000 zu 1.38 Personen pro PW im Jahr 2030) berücksichtigt. Die Modellergebnisse zeigen plausible Resultate und die erwarteten Wirkungszusammenhänge. Insgesamt sind die Nachfrageverlagerungen vom MIV zum ÖV moderat, da die zusätzliche Maut durch die Einführung von Mobility Pricing in den Szenarien auch meist mit einer Verringerung des Benzinpreises gekoppelt ist.

In den Tabellen 2 und 3 sind die Auswirkungen auf die Umwelt und die Strassenverkehrssicherheit der verschiedenen Szenarien aufgeführt.

Tabelle 2 Abschätzung der Auswirkungen auf die Strassenverkehrssicherheit und Schadstoffemissionen

Pro Jahr	Unfälle	Verunfallte	CO ₂ [to]	NO _x [to]	PM 10 [to]
Referenz	37'557	18'527	10'472'000	17'233	2'901
Szenario A (Objektpricing)	37'539	18'533	10'444'000	17'200	2'891
Szenario B (Zonenmodell)	36'902	18'260	10'365'000	17'112	2'865
Szenario C (Netzmodell)	37'399	18'656	10'064'000	16'735	2'742
Szenario D (ZSZ-Modell)	36'663	18'348	9'912'000	16'560	2'691
Szenario E1 (Gebietsmodell)	36'615	18'112	10'114'000	16'814	2'782
Szenario E2 (Gebietsmodell)	35'664	17'755	9'586'000	16'185	2'597
Relative Veränderungen zur Referenz in %					
Szenario A (Objektpricing)	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.4
Szenario B (Zonenmodell)	-1.7	-1.4	-1.0	-0.7	-1.3
Szenario C (Netzmodell)	-0.4	0.7	-3.9	-2.9	-5.5
Szenario D (ZSZ-Modell)	-2.4	-1.0	-5.4	-3.9	-7.3
Szenario E1 (Gebietsmodell)	-2.5	-2.2	-3.4	-2.4	-4.1
Szenario E2 (Gebietsmodell)	-5.0	-4.2	-8.5	-6.1	-10.5

Tabelle 3 Veränderung der Lärmbelastung auf Strecken im bebauten Gebiet

Szenario	Abnahme > 1 dBA (1)	Zunahme > 1 dBA (2)	Differenz (2)-(1)
Szenario A (Objektpricing)	30.8 km	35.8 km	+5.0 km
Szenario B (Zonenmodell)	131.1 km	64.0 km	-67.1 km
Szenario C (Netzmodell)	78.1 km	181.7 km	+103.6 km
Szenario D (ZSZ-Modell)	121.6 km	160.6 km	+39.0 km
Szenario E1 (Gebietsmodell)	63.1 km	62.8 km	-0.3 km
Szenario E2 (Gebietsmodell)	99.7 km	155.1 km	+55.4 km

Das Szenario A (Objektpricing) hat aufgrund der Definition und der geforderten Vergleichbarkeit zu den anderen Szenarien nur geringe Wirkung auf die Nachfrage. Die Auswirkungen sind lokal begrenzt und eine Verlagerung vom MIV auf den ÖV ist kaum feststellbar.

Bei Szenario B (Zonenmodell) sind die Wirkungen in den Agglomerationsgebieten deutlich sichtbar. Es erfolgt eine Verschiebung der Zielwahl hin zu mehr Fahrten innerhalb der Pricing-Zone im MIV, als auch eine Verlagerung auf den ÖV und eine Verflachung des Spitzenstundenverkehrs. Zusätzlich entstehen aber auch MIV-Umfahrungsverkehre um die Pricing-Zone. Bei der Lärmentwicklung und der Strassenverkehrssicherheit zeigt dieses Szenario positive Effekte. Der ÖV gewinnt im Umkreis der Städte auf den Radiallinien in den Spitzenstunden Fahrgäste dazu, dies kann aber zu ÖV-Zusatzinvestitionen führen. Die raumstrukturellen Auswirkungen durch Szenario B können direkt an den Pricingzonengrenzen, also lokal sehr begrenzt, und mit geringer Intensität auftreten.

Das Szenario C (Netzmodell) beeinflusst die Verkehrsmittelwahl der längeren Wege Richtung ÖV und entlastet durch Verlagerung von Fahrten auf den Autobahnen ins untergeordnete Netz das Hochleistungsstrassennetz. Andererseits erhöht sich dadurch die Verkehrsbelastung in den bebauten Gebieten. Die MIV-Aussen- und Transitverkehre werden in ihrer Routenwahl beeinflusst und vermehrt auf ausländische Strecken verlagert. Die Verlagerung von Fahrzeugkilometern ins untergeordnete Netz bringt insbesondere bei der Lärmbelastung und bei der Strassenverkehrssicherheit negative Aspekte mit sich. Die Tagesdurchschnittsgeschwindigkeit auf den Autobahnen nimmt in den dicht besiedelten Gebieten zu. Die ÖV-Zuwächse konzentrieren sich auf die interregionalen und nationalen Verbindungen.

Das Szenario D (Zonen-Strecken-Zonen-Modell) kombiniert das Szenario B (Zonenmodell) und C (Netzmodell) und führt sowohl in den Agglomerationen als auch auf den Autobahnen zu einer Entlastung. Teilweise heben sich die Wirkungen der Szenarien B und C gegenseitig auf. Dies zeigt sich sowohl bei der Lärmbelastung mit moderaten Verschlechterungen als auch bei der Strassenverkehrssicherheit mit geringen Verbesserungen. Die durchschnittliche Geschwindigkeit pro Tag nimmt auf den Autobahnen zu. Im ÖV kommt es sowohl auf den radial auf die Städte zulaufenden Linien als auch auf den übergeordneten Verbindungen zu Fahrgastgewinnen.

Szenario E1 (Gebietsmodell mit km-Abgabe) hat aufgrund der geringen Mauthöhe und der gleichzeitigen Senkung des Benzinpreises nur eine geringe Wirkung auf die Nachfrage. Auch hier erfolgt sowohl eine Verlagerung vom MIV zum ÖV als auch eine Beeinflussung der Aussen- und Transittfahrten. Hier zeigen sich nur geringe und räumlich ausgeglichene verteilte Veränderungen bei den Umweltauswirkungen als auch bei der Strassenverkehrssicherheit. Es zeigt sich ein leichter Anstieg der Tagesdurchschnittsgeschwindigkeit auf Autobahnen und eine leichte Verringerung im untergeordneten Netz.

Szenario E2 (Gebietsmodell mit km-Abgabe) bewirkt aufgrund der Mauthöhe eine Verlagerung von MIV-Fahrten auf den ÖV. Bei der Routenwahl ist einerseits eine erhöhte Distanz-

sensibilität, welche teilweise zu höheren Belastung im untergeordneten MIV-Netz führt, als auch andererseits eine massive Verlagerung der Aussen- und Transitfahrten auf das ausländische Strassennetz bemerkbar. Durch die Verlagerung von MIV-Fahrten ins untergeordnete Netz, durch eine höhere Distanzsensibilität, kommt es zu unerwünschten Effekten bei der Strassenverkehrssicherheit und der Lärmentwicklung. Die durchschnittliche Geschwindigkeit pro Tag im Autobahnnetz steigt an, auf einigen Netzabschnitten, wie z.B. dem Gotthard-Tunnel, massiv, im untergeordneten Netz kommt es teilweise zu einer Verringerung der Geschwindigkeit. Beim ÖV gewinnen die interregionalen und nationalen Verbindungen massiv dazu. Auch zeigt das Szenario E2, in welchem das höchste Abgabenniveau der untersuchten Szenarien vorgesehen ist, im Vergleich zu den Werten aus dem NPVM für das Jahr 2000, dass die MIV-Verkehrsleistung auch mit einem Mobility Pricing System mit hohen Mobilitätskosten signifikant höher liegen würde als im Jahr 2000.

Résumé

L'introduction du Mobility Pricing comme contribution possible à la solution de problèmes du trafic et de l'environnement est discutée dans beaucoup de pays et de régions. Il s'agit d'une restructuration des prix en transports privé et public vers des redevances plus adaptées à l'usage ainsi que d'une gestion de la demande. Pour le transport motorisé privé, ces mesures sont aussi connues sous le nom de Road Pricing.

Le Mobility Pricing joue un rôle important dans les discussions sur la politique des transports en Suisse. Il a été démontrée pour certaines régions et villes à l'étranger que des mesures de Road Pricing sont techniquement réalisables. Néanmoins, il existe des lacunes à cause du manque de portabilité des résultats obtenus à l'étranger, surtout en ce qui concerne les effets de changements des prix sur le choix de destination, de mode de transport, de route et de temps de départ, ainsi que sur les structures urbaines et l'environnement. Il manque donc les bases nécessaires pour une discussion approfondie sur le sujet.

Dans le cadre du projet de recherche « Mobility Pricing », différents scénarios de l'introduction de systèmes de Mobility Pricing en Suisse seront analysés. Le transport de marchandises ne fera pas partie des analyses. Les scénarios seront définis de façon à ce que différents buts, de gestion et financiers, pourront être contrôlés.

Le but du projet est la quantification des changements de demande pour les scénarios donnés, ainsi que leurs effets sur l'espace et l'environnement. Pour certifier la signification des résultats, les calculs et interprétations se reporteront toujours à l'entière de la Suisse. Le modèle national de transport de personnes (MNTP) du DETEC (Vrtic, Fröhlich, Schüssler, Axhausen, Dasen, Erne, Singer, Lohse et Schiller, 2005), les modèles de choix estimés au cours du projet B1 dans le programme Mobility Pricing Intégration des frais de déplacements dans la modélisation du comportement de mobilité» (Vrtic, Axhausen, Schüssler, Erath, Maggi et Bierlaire, 2006), ainsi que les scénarios de Mobility Pricing définis dans le projet A2 «Importance du Mobility Pricing pour le financement du trafic de l'avenir» (Ecoplan et INFRAS, 2006), serviront de base pour les travaux.

Pour la modélisation, il sera d'abord établi un état de référence, sans Mobility Pricing. Cet état décrit l'offre et la demande de transport pour l'année de référence 2030 considérée. Les réseaux routiers peuvent être établis en coopération avec les offices fédéraux responsables à partir de l'MNTP ainsi que des élargissements prévus jusqu'à l'année de référence.

Pour la demande de transport, les matrices origine/destination pour l'année 2000 sont disponibles. Les matrices conçues pour l'MNTP de l'année 2030 ne contiennent que les changements de demande dus à la sociodémographie et les structures urbaines et ne prennent pas en considération la réaction de la demande sur les changements des systèmes de transport entre 2000 et 2030. Il faut donc calculer additionnellement les effets des changements de

l'offre sur la demande pour l'année de référence choisie, en considérant les effets sur le choix de destination et de mode de transport. Ces effets pourront être calculés par l'application d'un modèle simultané de choix de destination et de mode de transport, comme celui utilisé pour l'élaboration de l'MNTP. Le logiciel VISEVA sera utilisé à cette fin.

Une condition pour le calcul des modèles est la création de changements de l'offre par l'introduction du Mobility Pricing. L'offre modelée pour l'année de référence sera complétée par le Mobility Pricing comme composant de coûts supplémentaire. En utilisant l'offre créée sans et avec le Mobility Pricing ainsi que les matrices actualisées et les paramètres pour le calcul de l'affectation, ce calcul sera effectué avec le logiciel VISUM afin de déterminer les caractéristiques de l'offre, comme les temps de parcours, les coûts, les changements de véhicule etc., par relation origine-destination. Ces caractéristiques serviront alors de base pour le calcul des changements de demande. Comme on considère les changements causant une réaction stochastique de la demande, les changements de la demande doivent eux aussi être calculés par des approches correspondantes.

Les mêmes réseaux routiers et de transports en commun ont été utilisés pour tous les scénarios, les différences se limitant aux composants du Mobility Pricing. Les 3 éléments sont :

- prix de l'essence
- péage et
- prix pour les transports en commun.

L'introduction du Mobility Pricing contraint les usagers à considérer un composant additionnel lorsqu'ils prennent des décisions sur leur comportement. Les adaptations du comportement peuvent être des changements dans le choix de destination, de mode de transport, d'itinéraire et de temps de départ. Pour la quantification de ces changements, l'application de modèles de choix discrets et de procédures stochastiques pour le calcul de l'affectation sont nécessaires compte tenu des différentes demandes solvables et sensibilités aux coûts. À cette fin, des modèles de choix discrets correspondants ont été estimés dans le cadre du projet B1. En utilisant des modèles d'élasticité simplifiés, il ne serait possible d'obtenir que des estimations grossières à un niveau très agrégé.

Les scénarios suivants ont été analysés: Le scénario A (péage ouvrage) prévoit un péage ouvrage et un Value Pricing pour quelques sections de route choisies. La hauteur du péage est déterminée de façon à ce que la somme des revenus à travers les projets choisis soit maximale. Le scénario B (modèle zone) prévoit un péage cordon où en heures de pointe (6-8 et 16-18 hrs.), pour chaque passage à la frontière d'une des 11 plus grandes villes suisses, un péage de 3.- CHF sera perçu. Le scénario C (modèle réseau) prévoit une redevance de 4 centimes par véhicule et kilomètre sur le réseau routier national et le réseau relevant (ca. 5000 km). En même temps, la surtaxe sur les produits pétroliers sera baissée de 12 centimes par litre d'essence. Le scénario D (modèle zone-réseau-zone) combine les scénarios B et C. Le scénario E1 (modèle territorial avec redevance kilométrique) prévoit une redevance de 4 centimes par véhicule et kilomètre parcouru, tout en supprimant la surtaxe sur les produits

pétroliers de 30 centimes par litre. Le scénario E2 (modèle territorial avec redevance kilométrique) prend comme base des coûts généraux de mobilité élevés. La redevance kilométrique est de 15 centimes par véhicule et kilomètre, la surtaxe sur les produits pétroliers est supprimée et les prix pour les transports en commun sont augmentés dans la même mesure absolue que les coûts totaux variables du transport routier, ce qui mène à une augmentation des prix pour les transports en commun de plus de 50% par km.

Le tableau 1 résume les changements de demande des scénarios vis-à-vis du cas de référence 2030. En vue d'une meilleure comparabilité, les valeurs de l'MNTP sont aussi indiquées.

Tableau 1 Aperçu: Nombre de trajets en t.i., t.c. et prestation de transport t

en mio par jour	trajets t.i.	trajets t.p.	[véh*km] CH	[véh*km] CH	t.p. t.c.	[véh*km] t.c. CH
MNTP 2000	11.194	1.885	114.1	165.4		45.0
Référence 2030	13.630	2.579	145.8	201.3		67.5
Sc. A (péage ouvrage)	13.626	2.581	145.4	200.7		67.6
Sc. B (modèle zone)	13.557	2.650	144.0	198.8		72.4
Sc. C (modèle réseau)	13.571	2.636	140.0	193.1		71.4
Sc. D (modèle z-r-z)	13.495	2.712	137.3	189.5		76.3
Sc. E1 (modèle territorial)	13.523	2.684	139.6	192.6		72.1
Sc. E2 (modèle territorial)	13.403	2.803	130.7	180.4		75.1
changements relatifs au cas de référence [%]						
MNTP 2000	-17.9	-26.9	-21.7	-17.9		-33.2
Sc. A (péage ouvrage)	0.0	+0.1	-0.3	-0.3		+0.2
Sc. B (modèle zone)	-0.5	+2.7	-1.2	-1.2		+7.3
Sc. C (modèle réseau)	-0.4	+2.2	-4.0	-4.0		+5.8
Sc. D (modèle z-r-z)	-1.0	+5.2	-5.9	-5.9		+13.1
Sc. E1 (modèle territorial)	-0.8	+4.1	-4.3	-4.3		+6.9
Sc. E2 (modèle territorial)	-1.7	+8.7	-10.4	-10.4		+11.3

Dans l'MNTP pour l'année 2000, le nombre de trajets en transports en commun est inférieur de 27% au cas de référence 2030, celui de trajets et trafic individuel de 18%. La différence en demande mesurée en [pers*km] est de 18% pour le trafic routier resp. de 33% pour les transports en commun. Les demandes en [véh*km] indiquées tiennent compte du changement du taux d'occupation de 1.45 pers/véh en 2000 à 1.35 en 2030. Les résultats de la modélisation sont plausibles et indiquent les relations de causes à effets attendues. En tout,

l'ampleur du transfert modal est modérée. En effet, l'augmentation du péage par l'introduction de mesures de Mobility Pricing est pour la plupart liée à une baisse du prix de l'essence.

Les effets sur l'environnement et la sécurité routière sont indiquées dans les tableaux 2 et 3.

Tableau 2 Estimation des effets sur l'environnement et la sécurité routière

Pro Jahr	Accidents	Personnes accidentées	CO ₂ [to]	NO _x [to]	PM 10 [to]
Référence 2030	37'557	18'527	10'472'000	17'233	2'901
Sc. A (péage ouvrage)	37'539	18'533	10'444'000	17'200	2'891
Sc. B (modèle zone)	36'902	18'260	10'365'000	17'112	2'865
Sc. C (modèle réseau)	37'399	18'656	10'064'000	16'735	2'742
Sc. D (modèle z-r-z)	36'663	18'348	9'912'000	16'560	2'691
Sc. E1 (modèle territorial)	36'615	18'112	10'114'000	16'814	2'782
Sc. E2 (modèle territorial)	35'664	17'755	9'586'000	16'185	2'597
Changements relatifs au cas de référence [%]					
Sc. A (péage ouvrage)	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.4
Sc. B (modèle zone)	-1.7	-1.4	-1.0	-0.7	-1.3
Sc. C (modèle réseau)	-0.4	0.7	-3.9	-2.9	-5.5
Sc. D (modèle z-r-z)	-2.4	-1.0	-5.4	-3.9	-7.3
Sc. E1 (modèle territorial)	-2.5	-2.2	-3.4	-2.4	-4.1
Sc. E2 (modèle territorial)	-5.0	-4.2	-8.5	-6.1	-10.5

Tableau 3 Changements en émissions de bruit sur les routes en environnement construit

Scénario	Diminution > 1 dBA (1)	Augmentation > 1 dBA (2)	Différence (2)-(1)
Sc. A (péage ouvrage)	30.8 km	35.8 km	+5.0 km
Sc. B (modèle zone)	131.1 km	64.0 km	-67.1 km
Sc. C (modèle réseau)	78.1 km	181.7 km	+103.6 km
Sc. D (modèle z-r-z)	121.6 km	160.6 km	+39.0 km
Sc. E1 (modèle territorial)	63.1 km	62.8 km	-0.3 km
Sc. E2 (modèle territorial)	99.7 km	155.1 km	+55.4 km

Le scénario A (péage ouvrage) a une faible influence sur la demande à cause de sa définition et de la comparabilité des scénarios exigée. Les effets sont localement limités, et il n'y a pratiquement pas de transfert modal.

Pour le scénario B (modèle zone) les effets dans les agglomérations sont clairement visibles. Côté choix de destination, il y a plus de trajets au trafic individuel à l'intérieur des zones de péage. En même temps s'effectue un transfert modal vers les transports en commun, ainsi qu'un aplatissement de la demande en heures de pointe. Or, il y a en plus des effets de contournement des zones de péage. Ce scénario a des effets positifs sur les émissions de bruit et sur la sécurité routière. Les transports publics gagnent des passagers sur les lignes radiales autour des villes en heures de pointe, ce qui peut néanmoins mener à des surplus d'investissements dans les transports en commun. Des effets sur les structures urbaines peuvent survenir en proximité des limites des zones de péage. Ils sont donc localement limités et peu intenses.

Le scénario C (modèle réseau) influence le choix de mode transport et provoque un transfert modal vers les transports en commun, surtout pour les trajets longs. Le réseau autoroutier est décongestionné par un transfert des trajets sur le réseau subordonné. Cependant, ceci entraîne un surplus de l'intensité du trafic dans l'environnement construit. Les trafics extérieurs et de transit sont influencés dans leur choix d'itinéraire et plus souvent déroulés sur les réseaux étrangers. Le transfert de la prestation de transport vers le réseau subordonné a des effets négatifs, surtout en ce qui concerne les émissions de bruit et la sécurité routière. La vitesse journalière moyenne sur les autoroutes augmente dans les territoires habités. Les surplus en transport communs se concentrent sur les connections interrégionales et nationales.

Le scénario D (modèle zone-réseau-zone) combine les scénarios B et C et mène à une décongestion dans les agglomérations et sur les autoroutes. En partie, les effets des scénarios B et C se contrecarrent. Ceci se montre par des aggravements mineurs au niveau des émissions de bruit et par des améliorations peu importantes du côté de la sécurité routière. La vitesse moyenne journalière sur les autoroutes augmente, pendant que les transports en commun gagnent des usagers sur les lignes radiales vers les villes ainsi que sur les connections d'ordre supérieur.

Le scénario E1 (modèle territorial avec redevance kilométrique) n'a qu'un effet faible sur la demande en raison du péage bas et de la baisse simultanée du prix d'essence. Il se montre un transfert modal ainsi qu'une influence sur les trajets extérieurs et de transit. Du côté de l'environnement et de la sécurité routière, les changements sont faibles et distribués sur l'espace de façon équilibrée. Il y a une augmentation de la vitesse moyenne journalière sur les autoroutes et une diminution dans le réseau subordonné.

Le scénario E2 (modèle territorial avec redevance kilométrique) entraîne un transfert modal à cause du péage élevé. Pour le choix d'itinéraire, il y a d'un côté une sensibilité à la distance

élevée qui mène en partie à des charges élevées sur le réseau subordonné. De l'autre côté, un transfert massif des trajets extérieurs et de transit sur les réseaux étrangers est à remarquer. Le transfert de trajets du réseau autoroutier vers le réseau subordonné mène à des effets indésirables du côté des émissions de bruit et de la sécurité routière. La vitesse moyenne journalière dans le réseau autoroutier augmente, même massivement sur certaines parties du réseau, comme le tunnel du Gotthard. Dans des parties du réseau subordonné a lieu une diminution des vitesses. En transports publics, les connections interrégionales et nationales augmentent considérablement leur nombre de passagers. De plus, le scénario E2, dans lequel les redevances sont le plus élevées, montre que même en présence d'un système de Mobility Pricing, la prestation de transport en trafic routier augmenterait significativement par rapport à l'année 2000.

Executive Summary

Many countries and regions are now discussing the introduction of mobility pricing as a possible solution for growing transport and environment problems. Mobility pricing means restructuring the pricing schema for motorized private transport (MPT) and public transport (PuT) to a more user charge system and in order to influence transport demand. For MPT this is also known as road pricing.

In Switzerland there is considerable interest in mobility pricing at the policy level. The technical feasibility of road pricing has been proven in several foreign cities and regions, but there remain questions regarding the transferability to Switzerland of demand reactions to specific mobility pricing changes from international projects. These include the impact of price changes on destination, mode, route and departure time choice as well as the resulting effects on the environment and land use. In summary, some fundamental facts on the impact and effectiveness of mobility pricing strategies are missing. The goal of this research project was to develop information to address this knowledge gap.

The research project developed a model to analyze several mobility pricing (MP)-scenarios for passenger transport; freight transport was not considered in the study. The study scenarios were defined to provide information on different control strategies and finance goals. Therefore, demand is expected to react differently for the different scenarios. The project goal was to quantify the passenger transport demand reactions under the different scenarios and to estimate the effects on land use and the environment. The calculation and interpretation considered the entire country of Switzerland. The study was based on the Swiss National Passenger Transport Model, NPVM, (Vrtic, Fröhlich, Schüssler, Axhausen, Dasen, Erne, Singer, Lohse und Schiller, 2005); and the discrete choice models estimated in the project B1 "Including travelling costs in the modelling of mobility behaviour" (Vrtic, Axhausen, Schüssler, Erath, Maggi und Bierlaire, 2006). The mobility pricing scenarios were defined in the project A2 "The role of Mobility Pricing in future transport financing" (Ecoplan und INFRAS, 2006).

The first step in developing the mobility pricing model was to establish a reference case without mobility pricing. This model describes the transport system and demand for the reference year 2030. The transport networks for road transport were established based on the NPVM and the planned motorways according to federal authority. The network and timetables for public transport were based on the year 2005 situation since no coordinated public transport timetable was available for the year 2030.

In the NPVM the demand for the year 2030 was estimate. Transport demand was based on existing origin/destination (OD) matrices from the year 2000 and projected changes to socio demographic conditions and land uses. The effect of transport system changes on demand

in 2030 were not considered in the NPVM, therefore those had to be done in the current project. The changes were calculated by applying the simultaneous destination and mode choice software tool VISEVA, like in the NPVM. This allowed to consider possible destination and mode changes for the three transport modes (private transport, public transport and walking).

Once the future networks and demand had been estimated, it was necessary to add the mobility pricing information to the network, in other words to establish the transport network changes that would be imposed through the introduction of mobility pricing. This was done by adding an additional cost element to certain links in the network.

Next, the VISUM assignment software, the actualized OD matrices and the assignment parameters were used to calculate the skim matrices for travel time, travel price, number of transfers for every OD relation in the network both with and without mobility pricing. The obtained skim matrices were then used to calculate the demand changes due to the introduction of mobility pricing. The transport system changes affect the demand stochastic and therefore the demand reaction must be calculated with related methods.

The study considered several different mobility pricing scenarios. The same road and public transport network were used for all the scenarios, only the mobility pricing components differed. The mobility pricing components consist of:

- Fuel price;
- Road charge; and,
- Public transport price.

The introduction of mobility pricing forces transport users to consider an additional attribute in their transport decisions. The behavior changes caused by this attribute will depend on the mobility pricing definition; they can include changes to destination, mode, route or/and departure time. In order to quantify these changes discrete choice models and stochastic assignment methods must be used to estimate the different willingness to pay of users. The discrete choice models were estimated as part of the Mobility Pricing Research Project B1. In contrast, simplified methods based on the demand elasticity can only provide rough estimations on a very aggregate level of mobility pricing impacts.

The research considered the following six scenarios: Scenario A – Object Charging – This scenario implements an object and value pricing schema on selected links. The charge per kilometer amounts is chosen to maximize gross income. Scenario B – Zone Charging – This is a cordon pricing system, where every vehicle crossing the municipal border of one of the eleven largest Swiss cities during the peak periods (6:00-8:00 and 16:00-18:00) pays a fee of 3 Swiss Francs (CHF). Scenario C – Network Charging – This scenario consists of charging vehicles a fee of 4 Rappen (1/100 of a Swiss Franc – Rp.) per vehicle-km traveled on the national network (mainly motorways) and the highway network of importance (overall approximate 5'000km). At the same time the fuel price is reduced by 12 Rp/liter. Scenario D –

Zone-Network-Zone Charging – This scenario combines scenarios B (zone model) and C (network charging model). Scenario E1 – Area Charging – This scenario consists of charging vehicles 4 Rp per vehicle-km traveled for the entire Swiss road network and lowering the fuel price by 30 Rp per liter. Scenario E2 - Area Charging – This scenario considers much higher mobility costs. It consists of increasing the cost to 15 Rp per vehicle-km, lowering the fuel price by 30 Rp per liter, and increasing the price for public transport to be equal to the variable price for motorized private transport (therefore increasing the public transport price per km by more than 50%).

Table 1 summarizes the demand reactions to these six scenarios in comparison to the reference case for 2030 and also the data for the year 2000.

Table 1 Estimated Impact of Mobility Pricing on Travel Demand

in millions per day	MPT trips	PuT trips	MPT vehicle-km	MPT person-km	PuT person-km
NPVM 2000	11.194	1.885	114.1	165.4	45.0
Reference Case 2030	13.630	2.579	145.8	201.3	67.5
Sc. A (Object Charging)	13.626	2.581	145.4	200.7	67.6
Sc. B (Zone Charging)	13.557	2.650	144.0	198.8	72.4
Sc. C (Network Charging)	13.571	2.636	140.0	193.1	71.4
Sc. D (Zone-Network-Zone Charging)	13.495	2.712	137.3	189.5	76.3
Sc. E1 (Area Charging)	13.523	2.684	139.6	192.6	72.1
Sc. E2 (Area Charging)	13.403	2.803	130.7	180.4	75.1
Relative change compared to reference case in %					
NPVM 2000	-17.9	-26.9	-21.7	-17.9	-33.2
Sc. A (Object Charging)	0.0	+0.1	-0.3	-0.3	+0.2
Sc. B (Zone Charging)	-0.5	+2.7	-1.2	-1.2	+7.3
Sc. C (Network Charging)	-0.4	+2.2	-4.0	-4.0	+5.8
Sc. D (Zone-Network-Zone Charging)	-1.0	+5.2	-5.9	-5.9	+13.1
Sc. E1 (Area Charging)	-0.8	+4.1	-4.3	-4.3	+6.9
Sc. E2 (Area Charging)	-1.7	+8.7	-10.4	-10.4	+11.3

As shown in Table 1, the number of public transport trips per workday was 27% lower and the number of private vehicle trips 18% lower in 2000 than in the reference year 2030. The total distance traveled in Switzerland, measured in person-kilometers (P-km), was 33% lower for public transport and 18% lower for motorized private transport in 2000 than in the refer-

ence year 2030. The motorized private transport vehicle-km was calculated based on the assumption that average vehicle occupancy decreases from 1.45 persons (2000) to 1.38 persons (2030).

The model results for the mobility pricing scenarios are meaningful and show the expected effects. As shown in Table 1, the demand shift from private vehicle transport to public transport is moderate; this is because the additional mobility pricing charge is compensated for by the reduction in fuel prices for private transport in most scenarios.

Tables 2 and 3 summarize the estimated impacts of the mobility pricing scenarios on road safety and the environment.

Table 2 Estimated Annual Impact of Mobility Pricing on Road Safety and Environment

Per year	Accidents	Casualties	CO ₂ [tons]	NO _x [tons]	PM 10 [tons]
Reference Case 2030	37'557	18'527	10'472'000	17'233	2'901
Sc. A (Object Charging)	37'539	18'533	10'444'000	17'200	2'891
Sc. B (Zone Charging)	36'902	18'260	10'365'000	17'112	2'865
Sc. C (Network Charging)	37'399	18'656	10'064'000	16'735	2'742
Sc. D (Zone-Network-Zone)	36'663	18'348	9'912'000	16'560	2'691
Sc. E1 (Area Charging)	36'615	18'112	10'114'000	16'814	2'782
Sc. E2 (Area Charging)	35'664	17'755	9'586'000	16'185	2'597
Relative change compared to reference case in %					
Sc. A (Object Charging)	-0.1	-0.1	-0.3	-0.2	-0.4
Sc. B (Zone Charging)	-1.7	-1.4	-1.0	-0.7	-1.3
Sc. C (Network Charging)	-0.4	0.7	-3.9	-2.9	-5.5
Sc. D (Zone-Network-Zone)	-2.4	-1.0	-5.4	-3.9	-7.3
Sc. E1 (Area Charging)	-2.5	-2.2	-3.4	-2.4	-4.1
Sc. E2 (Area Charging)	-5.0	-4.2	-8.5	-6.1	-10.5

Table 3 Change in Noise Impact on Links in Built-up Areas

Scenario	Decline > 1 dBA (1)	Increase > 1 dBA (2)	Difference (2)-(1)
Sc. A (Object Charging)	30.8 km	35.8 km	+5.0 km
Sc. B (Zone Charging)	131.1 km	64.0 km	-67.1 km
Sc. C (Network Charging)	78.1 km	181.7 km	+103.6 km
Sc. D (Zone-Network-Zone)	121.6 km	160.6 km	+39.0 km
Sc. E1 (Area Charging)	63.1 km	62.8 km	-0.3 km
Sc. E2 (Area Charging)	99.7 km	155.1 km	+55.4 km

As shown in the results, scenario A (object charging) has only a small impact on travel demand, This is because of its definition and the required comparability to the other scenarios. The effects are local and the mode shift is very small.

In scenario B (zone charging) the effects in metropolitan areas are clearly visible. There is a shift in the destination choice of motorized private transport trips within the pricing zones, a mode shift to public transport and a flatter of the peak hour traffic. Furthermore, there is stronger road traffic flow on links bypassing the pricing zones. This scenario also shows an improvement in road safety and reduction in noise impacts. Public transport gains passengers around the cities (pricing zones) on the radial lines in the peak hours, which means possible additional investments could be necessary in the public transport networks. In this scenario, the effect on land use can be directly controlled by placement of the pricing zone borders, that means, the effects are locally and of low intensity.

In scenario C (network charging) the mode share for public transport on longer trips increases and demand on the motorway network is shifted to the highway network. Furthermore, this scenario increases traffic flow in the built-up areas. The inbound, outbound, and through (transit) private vehicle traffic is also influenced in its route choice and redirected to links outside Switzerland. The shift of private vehicle traffic to the primary highway network leads to an increase in the noise level and reduced road safety. The average daily speed on motorways increases in the metropolitan areas. The gain of passengers for public transport is concentrated on interregional and national connections.

Scenario D (zone-network-zone charging) combines scenario B and C and lowers the vehicle flows in the metropolitan areas as well as on the motorways. In this scenario, the effects of Scenario B and C partly cancel each other out. For example, the noise impacts worsen slightly while there is a small improvement in road safety. The daily average speed on motorways increases. Public transport gains passengers on the radial lines around pricing zones as well as on the interregional and national connections.

Scenario E1 (network charging) has only moderate effects on the mode choice because of the low increase in the road charge and the simultaneous lowering of the fuel price. There is a mode shift from private vehicles to public transport as well as rerouting of inbound, outbound and transit private vehicle trips. The scenario has very small impacts on environment and road safety and these are distributed uniformly spatially. There is a small increase in the daily average speed on motorways and a small decrease on highways.

In scenario E2 (network charging) the significant increase in cost causes a shift from private vehicle trips to public transport trips. The distance sensitivity of the route choice is higher, which leads to an increased loading of the highway network, as well as to a massive rerouting of inbound, outbound and transit trips to links outside Switzerland.

The shifting of private vehicle trips on the highway network can cause undesirable road safety and noise impacts. The average daily speed increases significantly in certain segments of the motorway network, such as the Gotthard tunnel while the average speed on the highway network decreases. The public transport system strongly gains on interregional and national connections. The model results for scenario E2 also show, that even with the highest mobility prices of all scenarios, private vehicle mileage for 2030 would be higher than year 2000 estimates.

1 Hintergründe und Ziele der Untersuchung

Die Einführung von Mobility Pricing als ein möglicher Beitrag zur Lösung von Verkehrs- und Umweltproblemen wird in vielen Ländern und Regionen diskutiert. Dabei geht es um die Umstrukturierung der Preise im motorisierten Individualverkehr (MIV) und öffentlichen Verkehr (ÖV) zu mehr benutzungsbezogenen Abgaben als auch um die Nachfragebeeinflussung. Für den MIV ist dies auch unter dem Begriff Road Pricing bekannt.

In der verkehrspolitischen Diskussion der Schweiz nimmt Mobility Pricing einen prominenten Platz ein. Die technische Realisierbarkeit von Road Pricing wurde im Ausland in einigen Städten und Regionen gezeigt. Es bestehen aber Wissenslücken aufgrund der mangelnden Übertragbarkeit der Nachfragereaktionen aus internationalen Projekten bezüglich der Auswirkungen preislicher Massnahmen auf die Wahl des Ziels, des Verkehrsmittels, der Fahrtroute und der Abfahrtszeit, aber auch auf Siedlungsstruktur und Umwelt. Für eine vertiefte sachliche Diskussion fehlen somit die entsprechenden Grundlagen.

Im Rahmen von Aktualisierungsarbeiten der beim UVEK eingesetzten Modelle für den Personenverkehr wurden die Quell-Ziel-Matrizen der übergeordneten schweizerischen Verkehrsnachfrage erstellt. Durch verlässlichere bzw. besser der Realität entsprechende Quell-Ziel-Matrizen für den Personenwerktagsverkehr werden die Grundlagen für die Berechnungen von Nachfrageveränderungen und für die Beurteilung von Massnahmen und Verkehrsprognosen verbessert.

Im Forschungspaket Mobility Pricing werden verschiedene Szenarien von Mobility Pricing Systemen für den Personenverkehr in der Schweiz analysiert. Der Güterverkehr wird nicht berücksichtigt. Die Szenarien werden so definiert, dass verschiedene Lenkungs- und Finanzziele überprüft werden können. Dementsprechend sind bei einzelnen Szenarien unterschiedliche Nachfragewirkungen zu erwarten.

Die Aufgabenstellung in diesem Projekt ist es, die taktischen Nachfrageveränderungen im Personenverkehr für die definierten Szenarien zu quantifizieren sowie die Auswirkungen auf den Raum und die Umwelt zu analysieren. Um die Aussagekraft sicherzustellen, beziehen sich die Berechnungen und Interpretationen immer auf die ganze Schweiz. Als Grundlage für die Arbeiten dienen das Nationale Personenverkehrsmodell des UVEK (Vrtic, Fröhlich, Schüssler, Axhausen, Dasen, Erne, Singer, Lohse und Schiller, 2005), die geschätzten Entscheidungsmodelle aus dem Einzelprojekt B1 im Forschungsprogramm Mobility Pricing „Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhalten“ (Vrtic, Axhausen, Schüssler, Erath, Maggi und Bierlaire, 2006), sowie die im Einzelprojekt A2 „Bedeutung von Mobility Pricing für die Verkehrsfinanzierung der Zukunft“ (Ecoplan und INFRAS, 2006) im Forschungsprogramm Mobility Pricing definierten Mobility Pricing Szenarien.

2 Methoden

2.1 Einleitung

Um eine verlässliche Prognose der Nachfrageveränderungen durch die Einführung des Mobility Pricings zu ermitteln, müssen die modernen Werkzeuge der Verkehrsmodellierung angewendet werden. Als eine weitere Kostenkomponente führt die Einführung des Mobility Pricings in Abhängigkeit der Wegecharakteristiken zu unterschiedlichen Veränderungen der generalisierten Kosten bzw. Nutzen eines Weges. Damit stellen die Quell-Ziel-Matrizen und die Bewertung der einzelnen Kostenkomponenten, einschliesslich des Mobility Pricings, die wesentlichen Grundlagen für die Berechnung von Nachfrageveränderungen dar.

Die Berechnung der Nachfrageauswirkungen einer Massnahme oder die Prognose zukünftiger Verkehrsentwicklungen kann nur durchgeführt werden, wenn es vorher gelungen ist, den Verkehr in seinen Zusammenhängen im Ist-Zustand realistisch zu erfassen und abzubilden. Die Analyse eines Ist-Zustandes kann entweder durch direkte Beobachtungen und Messungen oder in Kombination mit mathematischen Modellen durchgeführt werden. Bei der Abbildung eines Verkehrszustandes ist es selten möglich, diesen vollständig durch Messungen und Beobachtungen zu erfassen. Aus diesem Grund sind für die Berechnung von verkehrlichen Auswirkungen von infrastruktur- und verkehrspolitischen Massnahmen netzbasierte Verkehrsmodelle die entscheidende Grundlage.

Eine der wesentlichen Voraussetzungen für die Planung oder den Betrieb von Verkehrsanlagen und damit auch für die Erstellung von Netzmodellen ist die Kenntnis der erwarteten oder der vorhandenen Verkehrsbeziehungen zwischen festgelegten Punkten oder Zonen. Diese Quell-Ziel-Beziehungen werden in der Regel als Matrix dargestellt. Ihre wesentlichen Dimensionen sind die Verkehrsmittel, die räumliche Auflösung (Anzahl der Zonen im Modellgebiet), die Fahrtzwecke und die zeitliche Auflösung (Stundengruppen, Werktagsverkehr, ...). Weitere Dimensionen sind denkbar, wie zum Beispiel die verschiedenen Dimensionen aus der Soziodemographie der Reisenden. Eine spezifische Quell-Ziel-Matrix gibt die Verkehrsmengen zwischen den Quell- und Zielzonen an, die in einem bestimmten Zeitintervall zu einem Fahrtzweck mit einem Verkehrsmittel und von einer bestimmten Personengruppe erzeugt werden.

Da bei der Einführung von Mobility Pricing eine Angebotsveränderung mit Erhöhung der Reisekosten entsteht, sind die Verhaltensänderungen sehr stark von den Wegecharakteristiken (Wegelänge, Zeitverhältnisse MIV/ÖV, Wegekosten, Fahrtzwecke, ...) und den soziodemographischen Charakteristiken der Verkehrsteilnehmer abhängig. Daraus folgt, dass die Verkehrsteilnehmer auf solche Angebotsveränderungen unterschiedliche Reaktionen zeigen.

Damit können die hier erwarteten Nachfrageveränderungen nicht als deterministische, sondern müssen als stochastische Entscheidungen modelliert werden. Für diese Ansätze werden im Projekt B1 „Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhalten“ (Vrtic et al, 2006) die entsprechenden Modellparameter geschätzt.

Für die Modellierungsarbeiten werden die gleichen Software-Tools, VISUM und VISEVA, wie bei der Erstellung des NPVM (Vrtic, Fröhlich, Schüssler, Axhausen, Dasen, Erne, Singer, Lohse und Schiller, 2005) verwendet. Somit ist eine konsistente und widerspruchsfreie Arbeitsweise sichergestellt.

In einem ersten Schritt wird eine Quell-Ziel-bezogene (interzonale) Verkehrsnachfrage modelliert. Hier kann eine vollständige Veränderung des Verkehrsangebotes bzw. der generalisierten Kosten durch die Einführung des Mobility Pricings und die Auswirkung auf die Verkehrsnachfrage berechnet werden. Betrachtet werden die Verkehrsströme zwischen den Zonen (interzonal) für den MIV und ÖV. Der LIV ist für interzonale Wege kaum relevant und bleibt bei den Modellrechnungen unberücksichtigt. Die Zonierung des NPVM basiert in der Schweiz auf der Gemeinde, wobei die zehn grössten Städte in feinerer Auflösung auf Quartiersebene betrachtet werden. Zusätzlich ist das europäische Ausland auf aggregierterem Niveau abgebildet.

Die erste Voraussetzung für die Modellberechnungen ist die Erstellung von Angebotsveränderungen durch die Einführung des Mobility Pricings. Die genaue Festlegung der Tarifhöhen und die Auswahl der Strecken der verschiedenen Mobility Pricing Szenarien wurden mit der Projektleitung des Forschungsprogramms Mobility Pricing und dem Leiter des Projektes A2 (Ecoplav und INFRAS, 2006) abgestimmt und werden im Kapitel 5 näher erläutert. Die Einführung des Mobility Pricings muss im Verkehrsmodell so abgebildet werden, dass diese Kostenkomponente bei den betroffenen Wegen auch berücksichtigt wird. Das für das Referenzjahr erstellte Verkehrsangebot (vergleiche Kapitel 4) wird damit durch die Abbildung des Mobility Pricings als weitere Kostenkomponente (nach Strecken) ergänzt. Anhand des erstellten Verkehrsangebotes mit und ohne Mobility Pricing sowie anhand der aktualisierten Quell-Ziel-Matrizen und Umlegungsparameter werden im folgenden Schritt die Umlegungsläufe in der Umlegungssoftware VISUM durchgeführt, um die nötigen Angebotskenngrössen wie Reisezeit, Reisekosten, Umsteigehäufigkeit, Intervall usw. nach Quell-Ziel-Beziehung auszuschreiben. Die ermittelten Angebotskenngrössen sind dann die Grundlage für die Berechnung der Nachfrageveränderungen. Da hier die Angebotsveränderungen betrachtet werden, die eine stochastische Nachfragereaktion verursachen, müssen auch die Nachfrageveränderungen mit entsprechenden Ansätzen berechnet werden.

Die Einführung von Mobility Pricing zwingt die Verkehrsteilnehmer, sich bei ihren Entscheidungen zum Mobilitätsverhalten mit einer weiteren Angebotskomponente zu beschäftigen. Welche Verhaltensänderungen stattfinden werden, ist vor allem vom strukturellen Ansatz des Pricings und von der absoluten Höhe der zu bezahlenden Beträge abhängig. Die bisherigen Erfahrungen mit Strassenbenutzungsgebühren, insbesondere bei privat finanzierten Infra-

strukturprojekten, haben gezeigt, dass Routenwahl-, Zielwahl-, Verkehrsmittelwahl- und Abfahrtszeitveränderungen die dominierenden Effekte sind. Für die Quantifizierung dieser sind angesichts der unterschiedlichen Zahlungsbereitschaft und Kostenwahrnehmung der Verkehrsteilnehmer die "State of the Art" Ansätze der Makromodellierung notwendig.

Mit der Implementierung des Nationalen Personenverkehrsmodells (NPVM) für das Jahr 2000 hat das UVEK ein methodisch sauberes und schlüssiges Modellinstrumentarium für nachfolgende Anwendungsfragen zur Verfügung gestellt. Die zu erwartenden Effekte des Mobility Pricings auf das Verkehrsverhalten können der Methodik des NPVM folgend berechnet werden. Im Projekt B1 (Vrtic et al., 2006) wurden die dafür relevanten Modellparameter auf Grundlage von Stated Preference (SP) Daten ermittelt (vergleiche Tabelle 1).

Tabelle 1 Kombiniertes Modell der Routen-, Abfahrtszeit- und Verkehrsmittelwahl

Verkehrsmittel	Variable	Parameter
MIV	MIV-Konstante	0.21
	MIV-Konstante-Route ohne Pricing	4.80 *
	MIV-Reisezeit [h]	-2.26 *
	MIV-Treibstoffkosten [CHF]	-0.08 *
	MIV-Maut [CHF]	-0.17 *
	MIV-Parkgebühren [CHF]	-0.21 *
	MIV-Verfrühung-Verkehrsmittelwahl [h]	-0.35 *
	MIV-Verfrühung-Routenwahl [h]	0.30 *
	MIV-Verspätung [h]	-0.78 *
	MIV-Verlässlichkeit **	-0.04 *
	PW-Besitz	0.52 *
	Jahresfahrleistung [1000 km]	0.03 *
	Sprache französisch	-0.15 *
	Sprache deutsch	-0.52 *
	Präferenz für MP im SP1	6.50 *

Fortsetzung der Tabelle 1 ...

Verkehrsmittel	Variable	Parameter
ÖV	ÖV-Beförderungszeit [h]	-1.90 *
	ÖV-Kosten [CHF]	-0.10 *
	ÖV-Zugangszeit [h]	-2.61 *
	ÖV-Intervall [h]	-0.56 *
	ÖV-Umsteigezahl	-0.26 *
	ÖV-Verfrühung-Verkehrsmittelwahl [h]	-0.35 *
	ÖV-Verspätung [h]	-0.78 *
	ÖV-Verlässlichkeit **	-0.02 *
	Alter	0.01 *
	GA-Besitzer	1.33 *
	Halbtax-Besitzer	0.62 *
	Vollzeiterwerbstätig	0.03
Nichtlinearitätsparameter	λ _Kosten_MIV	-0.10 *
	λ _Kosten_ÖV	-0.28 *
	λ _Einkommen_Treibstoff	-0.02
	λ _Einkommen_Maut	-0.15 *
	λ _Einkommen_Parkkosten	-0.28 *
	λ _Einkommen_ÖV	-0.26 *
	λ _Reisezeit_Treibstoff	-0.33 *
	λ _Reisezeit_Maut	-0.35 *
	λ _Reisezeit_Parkkosten	-0.27 *
	λ _Beförderungszeit_ÖV	-0.19 *
Anzahl der Beobachtungen		13552
Finale Log-Likelihood		-6084.63
Korrigiertes Pseudo R ²		0.35
Skalierungsparameter für das SP2 Modell		1.00
Skalierungsparameter für das SP3 Modell		1.91
Skalierungsparameter für das SP4 Modell		1.98
(*) signifikant auf dem 95%-Niveau		
(**) Anteil der Fahrten mit einer Verspätung von mindestens 10 Minuten		
Quelle: Vrtic, Axhausen, Schüssler, Erath, Maggi und Bierlaire (2006) (angepasst)		

Die langfristigen, strategischen Effekte, wie die veränderte Ausstattung mit Personenwagen und ÖV-Abonnements, den so genannten Mobilitätswerkzeugen, oder Wechsel von Wohnort und Arbeitsplatz sind bisher wenig untersucht worden. Vorherrschende Wechselwirkungen und deren zeitlicher Verlauf sind damit weitgehend unerforscht. Im Rahmen des Projektes B1 (Vrtic et al, 2006) wurden mittels statistischer Modelle die Auswirkung von Mobility Pricing auf den Besitz von Mobilitätswerkzeugen, wie z.B. PW-Besitz oder GA-Besitz, unter-

sucht, wobei nur sehr geringe bzw. keine eindeutigen Zusammenhänge festgestellt werden konnten. Die Auswirkungen der strategischen Verhaltensänderungen werden daher hier nicht weiter untersucht. Den aktuellen Stand der Forschung auf dem Gebiet der Modellierung von Raumnutzung und Verkehr in der Schweiz geben Löchl, Bürgle und Axhausen (2007).

2.2 Verkehrsmittelwahlveränderungen

Da durch die Einführung des Mobility Pricings der Nutzen bzw. die generalisierten Kosten verändert werden, ist es wichtig, dass die Verkehrsmittelwahlveränderungen anhand der Nutzenveränderungen berechnet werden. Bei der Anwendung von vereinfachten Elastizitätsmethoden werden die Charakteristik des Weges und die Angebotsverhältnisse ignoriert. Diese Methoden sind dementsprechend für solche Fragestellungen nicht geeignet. Es ist z.B. wichtig, ob 5 Franken/Fahrt für eine Fahrt von 5 oder 50 Minuten bezahlt werden oder ob eine Veränderung der generalisierten Kosten von 50 auf 100 oder von 5 auf 10 stattfindet. Mit Anwendung von Elastizitäten werden solche Veränderungen nicht plausibel bewertet. Aus diesem Grund werden hier diskrete Entscheidungsmodelle angewendet.

Für die Berechnung von Verkehrsmittelwahlveränderungen ist die Pivot-Point-Methode, d.h. die Berechnung der Nachfrageveränderungen aufgrund der relativen Veränderung in den Nutzenfunktionen der Verkehrsmittel je Quell-Ziel-Beziehung auf Basis des Logit-Modells, sehr gut geeignet (Ortuzar und Willumsen, 2001). Die Modellparameter für diese Ansätze wurden im Projekt B1 ermittelt (Vrtic et al, 2006).

Pivot-Point-Modellansatz

Der Pivot-Point-Modellansatz ist geeignet, um die zukünftige Verkehrsnachfrage für einen Planfall auf Basis der Nachfrage des Referenzfalls und der Veränderung der Attribute der Alternativen zwischen Referenzfall und Planfall zu berechnen. Die Formel der Pivot-Point-Methode für ein multinomiales Logit (MNL) Entscheidungsmodell lautet:

$$P_k^1 = \frac{P_k^0 \cdot e^{(V_k^1 - V_k^0)}}{\sum_i P_i^0 \cdot e^{(V_i^1 - V_i^0)}}$$

$V_k^1 - V_k^0$	Nutzenänderung für Verkehrsmittel k
P_k^1	Anteil im Planfall (Zustand 1) für Verkehrsmittel k
P_k^0	Anteil im Referenzfall (Zustand 0) für Verkehrsmittel k
V_k^1	Nutzen im Planfall (Zustand 1) für Verkehrsmittel k
V_k^0	Nutzen im Referenzfall (Zustand 0) für Verkehrsmittel k

Nicht für alle im Projekt B1 (Vrtic et al, 2006) verwendeten Parameter können aus dem NPVM Attribute errechnet werden. Daher bleiben einige Variablen und ihre zugehörigen Parameter, wie z.B. Einkommen, Sprachzugehörigkeit, ..., in der Nutzenfunktion unberücksichtigt. Die Nutzenfunktionen für die beiden konkurrierenden Alternativen MIV und ÖV bei der Verkehrsmittelwahl lauten:

$$\begin{aligned}
 V_{MIV} &= \text{Konstante}_{MIV} + \beta_{\text{Reisezeit MIV}} * \left(\frac{\text{Gesamtkosten}}{\text{Mittelwert GK}} \right)^{\lambda_{\text{Kosten MIV}}} * \text{Reisezeit} \\
 &+ \beta_{\text{Treibstoffkosten}} * \left(\frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{RZ_Tr}} * \text{Treibstoffkosten} + \beta_{\text{Maut}} * \left(\frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{RZ_M}} * \text{Maut} \\
 \\
 V_{\text{ÖV}} &= \beta_{\text{Zugang}} * \text{Zugangszeit} + \beta_{\text{Umsteighäufigkeit}} * \text{Umsteighäufigkeit} \\
 &+ \beta_{\text{Intervall}} * \text{Intervall} + \beta_{\text{Beförderungszeit}} * \left(\frac{\text{Kosten}}{\text{Mittelwert Kosten}} \right)^{\lambda_{\text{Kosten-ÖV}}} * \text{Beförderungszeit} \\
 &+ \beta_{\text{ÖV-Kosten}} * \left(\frac{\text{Beförderungszeit}}{\text{Mittelwert BF-Zeit}} \right)^{\lambda_{\text{BZ-ÖV}}} * \text{ÖV-Kosten}
 \end{aligned}$$

In Tabelle 2 sind die verwendeten Parameter für die Verkehrsmittelwahl wiedergegeben.

Tabelle 2 Parameter der Verkehrsmittelwahl in der Pivot-Point-Methode

Verkehrsmittel	Variable	Parameter
	MIV-Konstante	0.21
	MIV-Reisezeit [h]	-2.26
	MIV-Treibstoffkosten [CHF]	-0.08
	MIV-Maut [CHF]	-0.17
	ÖV-Beförderungszeit [h]	-1.90
	ÖV-Kosten [CHF]	-0.10
	ÖV-Zugangszeit [h]	-2.61
	ÖV-Intervall [h]	-0.56
	ÖV-Umsteigezahl	-0.26
	$\lambda_{\text{Kosten MIV}}$	-0.10
	$\lambda_{\text{Kosten ÖV}}$	-0.28
	$\lambda_{\text{Reisezeit Treibstoff}}$	-0.33
	$\lambda_{\text{Reisezeit Maut}}$	-0.35
	$\lambda_{\text{Beförderungszeit ÖV}}$	-0.19

Quelle: Vrtic, Axhausen, Schüssler, Erath, Maggi und Bierlaire (2006)

Da die Nutzenfunktionen teilweise auch nichtlineare Funktionen enthalten, gehen auch einige Variablenmittelwerte aus der SP-Befragung in die Nutzenfunktion mit ein (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3 Gewichteter Mittelwert der Variablen aus den SP-Daten

Variable	Gewichteter Variablenmittelwert
MIV-Reisezeit [h]	0.71
MIV-Treibstoffkosten [CHF]	3.61
MIV-Gesamtkosten [CHF]	9.00
ÖV-Kosten [CHF]	11.71
ÖV-Beförderungszeit [h]	1.01

Quelle: Vrtic, Axhausen, Schüssler, Erath, Maggi und Bierlaire (2006)

2.3 Zielwahlveränderungen

Bei einigen Szenarien (vergleiche Kapitel 5), wie dem Zonen-Modell (Szenario B) oder dem Zonen-Strecken-Zonen-Modell (Szenario D), in denen zusätzliche Kosten für die Ein- und Ausfahrt in bestimmte Städte erhoben werden, ist zu erwarten, dass neben Verkehrsmittelwahl- auch Zielwahlveränderungen als wesentliche Nachfrageveränderungen auftreten. Da die Zielwahl auch von der Verkehrsmittelverfügbarkeit und dem Verkehrsangebot abhängig ist, werden diese zwei Modellschritte mit VISEVA gemeinsam berechnet, und danach erfolgt die Trennung in Zielwahl- und Verkehrsmittelwahleffekte. Diese Trennung erfolgt unter den Annahmen, dass einerseits nicht gleichzeitig die Zielwahl und die Verkehrsmittelwahl geändert werden und andererseits keine Zielwahlveränderungen bei den Verkehrsmitteln ÖV und LIV durch die Einführung einer Zonenmaut im MIV auftreten.

Bei den hier betrachteten Anwendungen soll gezeigt werden, wie sich eine Erhöhung der Reisekosten eines Weges auf die gewählten Ziele gegenüber dem Referenzfall ohne Mobility Pricing auswirkt. Dafür ist es wichtig, dass im Referenzzustand einerseits die gewählten Ziele in der Quell-Ziel-Matrix realitätsnah sind sowie dass andererseits ein vollständiger Zielwahlansatz geeicht wird. Dies bedeutet, dass bei Zielwahlentscheidungen sowohl die Bedeutung der Angebotskomponenten (Lagegunst) als auch die Attraktionsvariablen (Anziehung) bestimmt und plausibilisiert werden.

Die berechnete Veränderung der Zielwahl zeigt auch die zu erwartende Raumwirkung auf und wird bei der Quantifizierung der Auswirkungen auf die Raumstruktur (Kapitel 7.4) verwendet.

2.4 Routenwahlveränderungen

Die Verkehrsteilnehmer bewerten die Qualität einer Route aufgrund verschiedener Faktoren aus objektiven und subjektiven Gründen unterschiedlich. Die Faktoren, die einen Einfluss auf das Verkehrsverhalten bei der Routenwahl haben können, werden in drei Kategorien eingeteilt (siehe auch Vrtic, 2003):

- Verfügbare Routen und ihre Charakteristiken
- Charakteristik der Verkehrsteilnehmer
- Reisezweck, Situation sowie andere Umstände

Aus der unterschiedlichen Bewertung der Routencharakteristiken bzw. des Verkehrsangebotes und der unterschiedlichen Charakteristik der Verkehrsteilnehmer folgt, dass auch das Routenwahlverhalten nicht als deterministischer (ohne Wahrnehmungsfehler) sondern als stochastischer (mit Wahrnehmungsfehler) Prozess betrachtet werden muss. Durch die Einführung von zusätzlichen Kostenkomponenten wie Mobility Pricing werden wegen der unterschiedlichen Zahlungsbereitschaft der Verkehrsteilnehmer die Verhaltensunterschiede weiter erhöht. Hier muss berücksichtigt werden, dass bei der gleichen Quell-Ziel-Beziehung die Verkehrsteilnehmer nicht die gleiche Zahlungsbereitschaft haben oder, anders ausgedrückt, dass manche Personen bereit sind zusätzliche Gebühren zu zahlen, andere jedoch nicht.

Damit können die Auswirkungen des Mobility Pricings auf das Routenwahlverhalten nur durch die Anwendung stochastischer Routenwahlverfahren ermittelt werden. Da hier hochbelastete Strassennetze betrachtet werden, müssen die Umlegungsverfahren auch die Gleichgewichtsbedingungen erfüllen. Dies bedeutet, dass für die MIV-Umlegung ein stochastisches Nutzergleichgewicht angewendet werden muss (PTV, 2006). Die Kapazitätsbeschränkungsfunktionen (Capacity-Restrain-Function) und damit die Berechnung der Reisezeitverlängerungen durch die erhöhten Streckenbelastungen beim durchschnittlichen Werktagsverkehr (DWV) werden aus dem NPVM übernommen.

Bei der stochastischen Umlegung werden Routenalternativen für ein Quell-Ziel-Paar erzeugt, indem der Widerstand der Netzobjekte (Strecken) gemäss einer Verteilung variiert wird, um die unvollständige Information der Verkehrsteilnehmer und die individuellen Unterschiede in ihrer Wahrnehmung und ihren Präferenzen abzubilden. Auf diese Weise ist es möglich, in einem Iterationsschritt nicht nur die widerstandskürzeste Route, sondern auch alternative Routen mit höheren Widerständen zu ermitteln. Nach der Routensuche wird die Nachfrage abhängig vom Routenwiderstand nach einem Aufteilungsmodell auf die Alternativen verteilt. Zusätzlich wird bei der Aufteilung die Eigenständigkeit bzw. Ähnlichkeit der Routen berücksichtigt (Cascetta, 2001).

Die gewählten Einstellungen des stochastischen Nutzergleichgewichtsverfahrens in Visum 9.52 sind in Tabelle 4 wiedergegeben.

Tabelle 4 Parametereinstellungen in Visum für die stochastische Umlegung

Umlegungsparameter	Gewählte Einstellung
Äussere Iteration	max. 10
Innere Iteration	max. 15
Geschätzter Widerstand	Heuristische Regel
Anzahl zufälliges Suchen	3
Aufteilungsmodell	Logit-Modell mit Skalierung 1
Eigenständigkeit	Über Fahrzeit im unbelasteten Netz (t_0)

Widerstand

Der relevante Widerstand für die Suche einer Route zwischen zwei Zonen setzt sich zusammen aus:

- dem Widerstand der Anbindungen,
- dem Widerstand der Strecken und
- dem Widerstand der Abbiegebeziehungen.

Im NPVM sind die Widerstände der Abbiegebeziehungen aufgrund der Grösse des Netzes, der Datenlage und der geringen Relevanz nicht definiert. Der Widerstand der Strecke enthält die drei Elemente:

- Fahrzeit im belasteten Netz,
- Streckenlänge und
- Mautgebühr.

Der Parameter für die Reisezeit wurde normalisiert und die Parameter für die Maut und die Streckenlänge aus den Logit-Parametern im Verhältnis zur Reisezeit berechnet. Der Mautparameter ist für alle Szenarien gleich. Der Parameter für die Streckenlänge ändert sich aufgrund der unterschiedlichen Reduktionen für den Mineralölsteuerzuschlag, und damit unterschiedlichen fahrstreckenbezogene Kosten, bei den Szenarien jeweils. Der LKW-Verkehr wurde als Vorbelastung berücksichtigt.

2.5 Abfahrtszeitveränderungen

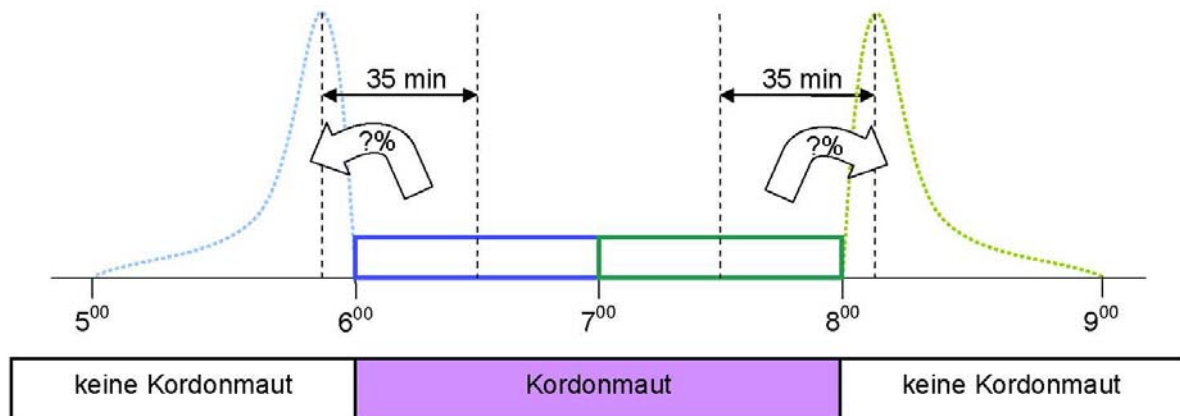
Für die Modellierung der Abfahrtszeit und die Anwendung der im Rahmen des Projekts B1 ermittelten Parameter ist ein zeitlich differenziertes Modell mit dazugehörigen Quell-Ziel-Matrizen eine notwendige Voraussetzung. Deren zentrale Bedeutung liegt in der Berechnung des veränderten Nutzen bzw. der generalisierten Kosten über die betrachtete Zeitachse eines Werktages. Dafür muss vor allem die durch die Angebotsveränderung und die daraus folgenden Nachfrageeffekte verursachte Reisezeitveränderung plausibel berechnet werden. Hier ist aber (vor allem im MIV) die räumliche und zeitliche Dynamik der Verkehrsnachfrage über den Tag eine entscheidende Komponente (siehe Vrtic und Axhausen, 2003). Ohne zeitlich differenzierte Quell-Ziel-Matrizen kann die Veränderung der Reisezeit im Verlauf des Tages bzw. nach Stunden nicht verlässlich berechnet werden.

Um die Abfahrtszeitveränderungen im MIV durch die Einführung des Mobility Pricings zu berechnen, werden die stundenfeinen Angebotskomponenten anhand der im Rahmen des Projektes "Tageszeitliche Fahrtenmatrizen im Personenverkehr" (Vrtic, Schüssler und Erath, 2007) erstellten stundenfeinen Matrizen für das Jahr 2000 verwendet.

Mit den stundenfeinen Matrizen, den stundenfeinen Angebotskenngrößen und den Parametern aus B1 (Vrtic et al, 2006) können dann die zeitlichen Verschiebungen der Nachfrage aufgrund der Nutzenveränderungen berechnet werden (Marchal, 2003).

Mit dem bereits oben beschriebenen Pivot-Point-Ansatz kann auch die Verschiebung der Abfahrtszeit berechnet werden. Bekannt sind die Anzahl der Wege mit dem MIV je Stunde für den Referenzfall sowie der Nutzen für den Referenzfall und den Planfall mit einer zeitabhängigen Maut. Die einzige Annahme, die getroffen werden muss, ist der zeitliche Abstand zwischen dem Schwerpunkt der Nachfrageverteilung für eine Stundenzeitscheibe und der Nachfrageverschiebung in die Stunde davor oder danach. In Abbildung 1 ist dies schematisch dargestellt. Es wird angenommen, dass die berechnete Nachfrage einer Stundenscheibe gleich verteilt ist. Die Nachfrage verlagert sich dann teilweise mit einer schiefen Verteilung in das Zeitintervall davor oder danach, da die Verkehrsteilnehmer möglichst nahe an der im Referenzfall gewählten Zeitscheibe abfahren wollen. Daraus ergibt sich die Annahme für den Zeitabstand zwischen dem Referenzfall und Planfall von 35 Minuten.

Abbildung 1 Schema zur Wahl der Abfahrtszeit



Die Verkehrsteilnehmer müssen bei der Einführung einer zeitabhängigen Maut abwägen, ob sie bereit sind, die Maut zu zahlen, und dann im gleichen Zeitintervall wie im Referenzfall abfahren zu können, oder ob sie die Maut nicht zahlen wollen, und dafür zu früh (im Fall von 6-7 Uhr) oder zu spät (im Fall von 7-8 Uhr) bei ihrer Aktivität ankommen wollen.

Die Nutzenfunktion wird nun anhand der beiden Zeitscheiben 5 Uhr und 6 Uhr exemplarisch erläutert. Eine Verschiebung der Nachfrage kann nur nach vorne (z.B. bei der Zeitscheibe 6 Uhr) oder nach hinten (z.B. bei der Zeitscheibe 7 Uhr) erfolgen, da eine Verschiebung von 6 Uhr auf 7 Uhr keinen Sinn macht, da dafür ebenfalls eine Maut zu berappen ist.

$$\begin{aligned}
 V_{5\text{Uhr}} &= \beta_{\text{Reisezeit}} * \text{Reisezeit}_{5\text{Uhr}} + \beta_{\text{Treibstoffkosten}} * \left(\frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{\text{RZ_Tr}}} * \text{Treibstoffkosten}_{5\text{Uhr}} \\
 &+ \beta_{\text{Maut}} * \left(\frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{\text{RZ_M}}} * \text{Maut}_{5\text{Uhr}} + \beta_{\text{zu früh}} * \text{zu früh} \\
 V_{6\text{Uhr}} &= \beta_{\text{Reisezeit MIV}} * \text{Reisezeit}_{6\text{Uhr}} + \beta_{\text{Treibstoffkosten}} * \left(\frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{\text{RZ_Tr}}} * \text{Treibstoffkosten}_{6\text{Uhr}} \\
 &+ \beta_{\text{Maut}} * \left(\frac{\text{Reisezeit}}{\text{Mittelwert Reisezeit}} \right)^{\lambda_{\text{RZ_M}}} * \text{Maut}_{6\text{Uhr}} + \beta_{\text{zu spät}} * \text{zu spät}
 \end{aligned}$$

Im Referenzfall wird keine Maut erhoben, und somit wird der Maut-Term in beiden Nutzenfunktionen (5 und 6 Uhr) Null und fällt weg. Das gleiche gilt auch bei den Termen "zu früh" und "zu spät", da die Verkehrsteilnehmer für ihre geplante Aktivität nicht zu früh oder zu spät abfahren, denn sonst würden sie ein anderes Zeitintervall wählen. Im Planfall fällt bei der Zeitscheibe 5 Uhr der Maut-Term weg, da die Maut erst ab 6 Uhr gilt. Bei der Nutzenfunktion

um 6 Uhr fällt der Term "zu spät" kommen weg, da ja die Automobilisten, die im Referenzfall um 6 Uhr fahren, auch im Planfall um diese Zeit fahren, nicht zu spät sein werden.

Der Parameter für die MIV-Verlässlichkeit musste bei der Berechnung der Nutzenfunktion unberücksichtigt bleiben, da für die relevante Frage in der SP-Erhebung im Projekt B1 „Verspätung von mindestens 10 Minuten bei jeder x-ten, z.B. zehnten, Fahrt“ (Vrtic et al, 2006) keine Funktion in makroskopischen Verkehrsmodellen bekannt ist. Dafür müssten mit vergleichenden Analysen von mikroskopischen und makroskopischen Modellansätzen entsprechende Funktionen erarbeitet werden. Dies war im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich.

Der Auslastungsgrad der Strassen, welcher natürlich auch Einfluss auf die Verlässlichkeit hat, wird bei der aktuellen Reisezeit je Zeitscheibe berücksichtigt, und die Gewichtung der Verlässlichkeit in der Nutzenfunktion ist gering. Daher ist die in Kauf genommene Ungenauigkeit durch das Weglassen der Verlässlichkeit gering.

Umrechnung von DWV-Werten zu Jahreswerten

Die Umrechnung des durchschnittlichen Werktagsverkehrs (DWV) zu Jahresverkehrswerten erfolgt mit:

Jahresverkehrswert = DWV-Wert x 0.9898 x 365 Tage.

Der Umrechnungsfaktor (0.9898) vom DWV zum DTV (Durchschnittlicher täglicher Verkehr) wurde aufgrund der Index-Werte für DWV und DTV im Strassenverkehr aus RappTrans (2007) errechnet. Diese Studie dient zur Erstellung von Zeitreihen für den DWV und DTV. Vertiefende Studien zur Umrechnung des DWV zum DTV bzw. Jahresverkehrswerten fehlen in der Schweiz.

ÖV-Umlegung

Die Umlegung der Nachfragematrix im ÖV auf das Netz erfolgte mit einem fahrplanfeinen Verfahren und die Aufteilung mit dem Lohse-Verfahren mit einem Parameter von 3,5. Bei der ÖV-Umlegung ist anders als beim MIV keine Kapazitätsbeschränkungsfunktion vorhanden. Überlastungen auf den ÖV-Linien werden daher bei der Berechnung nicht berücksichtigt.

3 Datengrundlagen

Als Datengrundlagen dienen:

- Nationales Personenverkehrsmodell UVEK aus dem Projekt „Erzeugung neuer Quell-/Zielmatrizen im Personenverkehr (Vrtic, Fröhlich, Schüssler, Axhausen, Dasen, Erne, Singer, Lohse und Schiller, 2005)
- Modellschätzungen aus dem Teilprojekt B1 „Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhalten“ des Forschungspakets Mobility Pricing (Vrtic, Axhausen, Schüssler, Erath, Maggi und Bierlaire, 2006)
- Tageszeitliche Fahrtenmatrizen im Personenverkehr für das Jahr 2000 aus dem Projekt „Tageszeitliche Fahrtenmatrizen im Personenverkehr“ (Vrtic, Schüssler und Erath, 2007)
- MIV-Netz 2030 aus dem Projekt „Zukünftige Entwicklung Bahninfrastruktur“ (EBP und BBAG, 2007)
- ÖV-Netz 2005 des Bundesamt für Raumentwicklung (ARE).

4 Erstellung der Referenz-Matrizen für das Jahr 2030

Das Referenzjahr 2030 wurde aufgrund der Datenlage und den Anforderungen der Gesamtprojektleitung und der Steuerungs- und Begleitgruppe gewählt. Da die mögliche Einführung von einem Mobility Pricing System in der Schweiz realistischer Weise erst in einigen bzw. vielen Jahren stattfindet, soll die Modellierung der Nachfragereaktionen für diesen zukünftigen Zustand vorgenommen werden. Im Zuge der Erstellung des NPVM wurden Prognosematrizen ohne Angebotseffekte für das Jahr 2030 erstellt. Da im Projekt B2 keine Ressourcen für eine Verkehrsprognose für einen anderen Zeitzustand vorhanden waren, wurde das Referenzjahr für das Jahr 2030 festgelegt.

Für die Modellberechnungen wird ein Referenzzustand ohne Mobility Pricing erstellt. Dieser Zustand beschreibt das Verkehrsangebot und die Verkehrsnachfrage für das betrachtete Referenzjahr 2030. Dafür muss zuerst das Verkehrsangebot im MIV und ÖV abgebildet werden. Die Netzzustände für den MIV können anhand des NPVM sowie der vorgesehenen Angebotsveränderungen bis zum betrachteten Referenzjahr in Zusammenarbeit mit den zuständigen Bundesämtern bestimmt werden. Im ÖV musste auf das ÖV-Modell 2005 zurückgegriffen werden.

Für die Verkehrsnachfrage stehen die Quell-Ziel-Matrizen für das Jahr 2000 zur Verfügung. Die im Rahmen des NPVM für das Jahr 2030 erstellten Matrizen beinhalten nur soziodemographische und siedlungsstrukturelle Nachfrageveränderungen, aber keine Nachfragereaktion aufgrund von Änderungen im Verkehrssystem zwischen 2000 und 2030. Für den gewählten Referenzzustand (Jahr 2030) müssen daher zusätzlich die Auswirkungen von Angebotsveränderungen auf die Verkehrsnachfrage berechnet werden, wobei sowohl Ziel- als auch Verkehrsmittelwahleffekte bei allen drei Verkehrsmitteln (MIV, ÖV und LIV) auftreten. Diese Effekte können, wie bei der Erstellung des NPVM, durch die Anwendung eines simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells in der Planungssoftware VISEVA berechnet werden.

4.1 Referenznetz

4.1.1 Referenznetz MIV

Für das Referenznetz Strasse 2030 wird das Strassenmodell aus dem Projekt „Zukünftige Entwicklung der Bahninfrastruktur“ (ZEB) (EBP und BBAG, 2007) übernommen. Dabei sind die in Tabelle 5 aufgeführten Projekte schon enthalten. Es handelt sich um geplante Projekte, die noch nicht umgesetzt wurden. Dieses Strassennetz wurde anlässlich der Modellie-

rungsarbeiten für das ZEB-Projekt gemäss Absprache mit ASTRA und BAV vom 11.01.2006 definiert.

Tabelle 5 Zukünftige Strassenprojekte laut ZEB-Projekt

Objekt	Fertigstellung
<i>a) Noch zu bauende Teile des seit 1960 beschlossenen Nationalstrassennetzes</i>	
A1 Halbanschluss Spreitenbach	2010
A2 Anschluss Rothenburg	2010
A4 Brunnen - Gumpisch (neue Axenstrasse)	2022
A5 Tunnel Serrières	2015
A5 Umfahrung Vingelz	2018
A5 Umfahrung Biel	2018
A8 Umfahrung Lungern	2012
A8 Giswil Grossmatt - Ewil	2015
A9 Perraudette - Paudèze - Lutrive	2015
A14 Anschluss Buchrain	2010
A16 Court - Tavannes	2016
A16 La Heutte - Taubenloch Entflechtung Langsamverkehr	2018
<i>b) Umklassierungen, Ausbauten und Netzergänzungen bis 2030 (Minimalmassnahmen)</i>	
A1 Luterbach - Härkingen 6-Streifen-Ausbau	2020
A1 Härkingen - Wiggertal 6-Streifen-Ausbau	2013
A1 Gubristtunnel 3. Röhre	2014
A2 Bypass Luzern	2025
A4 Blegi - Rütihof 6-Streifen-Ausbau	2012
<i>c) Hauptstrassen-Vorhaben</i>	
BE: Umfahrung Emdthal	
AG: Umfahrung Aarburg	
TI: Tunnel Vedeggio - Cassarate	
SO: Spange Solothurn West	
<i>d) Kantonale Vorhaben</i>	
ZG: Neubau Kantonsstrasse Nr. 4 "Nordzufahrt Zug"	2010
ZH: Kantonale Autobahn A53 Oberuster - Bretholz	2014
Quelle: Zuordnung gemäss Absprache mit ASTRA und BAV vom 11.01.2006. Referenz- und Kernkonzept Strasse für ZEB-Projekt	

4.1.2 Referenznetz ÖV

Im NPVM wurden der schienengebundene ÖV und der die Gemeindegrenzen überschreitende Busverkehr abgebildet. Für das ZEB-Projekt wurden für das Jahr 2030 verschiedene Fahrplanvarianten für den Zugverkehr entworfen. Da die Koordinierung des Busverkehrsfahrplans mit den Zugfahrplänen eine extrem aufwändige Arbeit darstellt, wurde ein verein-

fachter Ansatz mit Proxy-Anbindungen für die Busse gewählt. Damit lassen sich Verkehrsmittelwahlveränderungen hinreichend genau berechnen.

Im vorliegenden Projekt müssen auch die Zielwahlveränderungen zwischen 2000 und 2030 aufgrund des geänderten Verkehrsangebot als auch bei den Szenarien B (Zonenmodell) und D (ZSZ-Modell) berechnet werden, und dafür ist der bei der ZEB-Untersuchung verwendete Ansatz untauglich. Die Erstellung eines abgestimmten und koordinierten Busnetzes für die ganze Schweiz ist aus zeitlichen und budgetären Gründen nicht möglich. Daher musste auf das aktuellste vorliegende ÖV-Modell aus dem Jahr 2005 zurückgegriffen werden. Dieses Modell ist genauso aufgebaut wie das ÖV-Modell 2000 und wurde aus den HAFAS-Daten beim Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) erstellt.

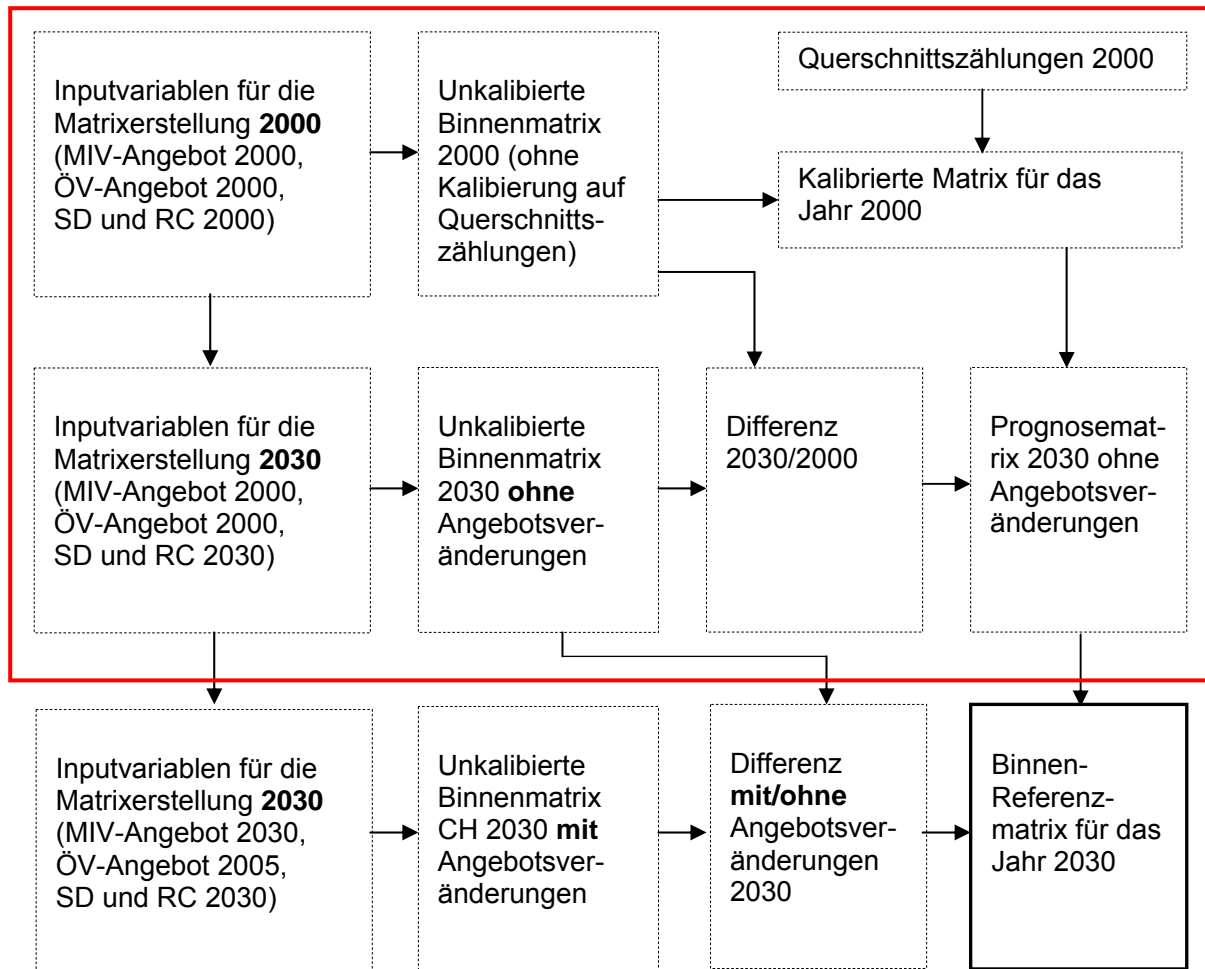
4.2 Quell-Ziel-Matrizen für das Referenzjahr 2030

Für die Erstellung von Prognosematrizen sind neben der Grundstruktur der Matrix aus dem Ist-Zustand auch die Angebots- und Verkehrsverhaltensveränderungen sowie Veränderungen der Soziodemographie und der Raumcharakteristik die wesentlichen Inputgrößen. Die hier verwendete Methodik zur Erstellung der Referenzmatrizen 2030 basiert auf dem EVA-Ansatz von Prof. Lohse (Schnabel und Lohse, 1997), welcher in der Software VISEVA der PTV AG implementiert ist. Dieses Software-Tool wurde auch bei der Nachfrageberechnung des NPVM mit grossem Erfolg angewendet.

Aus den für das Jahr 2000 geeichten Quell-Ziel-Matrizen und den Veränderungen der Soziodemographie (SD) und Raumcharakteristik (RC) bis zum Jahr 2030 wurden im Projekt „Erstellung Quell-Ziel-Matrizen für den Personenverkehr“ (Vrtic et al, 2005) Prognosematrizen für das Jahr 2030 ermittelt. Für die Ermittlung der Referenzmatrizen im gegenständigen Projekt müssen noch zusätzlich die Veränderungen im Verkehrsangebot im ÖV und MIV ermittelt werden.

Abbildung 2 gibt einen Überblick über die notwendigen Arbeitsschritte zur Berechnung der Quell-Ziel-Matrizen des Binnenverkehrs für den Referenzfall 2030. Die rot umrandeten Arbeitsschritte wurden bereits im Projekt „Erzeugung neuer Quell-Ziel-Matrizen im Personenverkehr“ (Vrtic et al, 2005) durchgeführt, da aber in der verwendeten Verkehrsmodellierungssoftware VISUM der PTV AG, Karlsruhe, die Berechnung des Intervalls im ÖV zwischen der Version 8 und 9 geändert wurde, mussten auch die erstellten Binnennachfragematrizen 2000 und 2030 (nur SD und RC, ohne Angebotsänderung im MIV und ÖV) neu berechnet werden. Somit konnten nur die Kalibrierung der Binnenmatrizen und die Aussenverkehre direkt aus dem NPVM übernommen werden.

Abbildung 2 Vorgehen bei der Berechnung der Quell-Ziel-Matrizen des Binnenverkehrs für das Referenzmodell 2030



Quelle: Vrtic et al. (2005) (erweitert)

Mit VISEVA werden die ersten drei Modellstufen (Verkehrserzeugung, Zielwahl und Verkehrsmittelwahl) berechnet. Dabei wird versucht, reales Verkehrsverhalten von Menschen in Verkehrssystemen weitgehend adäquat nachzubilden. Das Programm gehört zu den disaggregierten, makroskopischen Gruppenverhaltens- und Verkehrsstrommodellen. Das zu modellierende Verkehrsgeschehen wird sachlich stark differenziert, das heisst, es wird bezüglich verhaltenshomogener Personengruppen, Aktivitäten, usw. verfeinert. Unter den konkreten Bedingungen des Raum-Zeit-Systems erfolgt die Abbildung des zu erwartenden mittleren Verkehrsgeschehens in allen Schichten unmittelbar durch speziell abgeleitete und begründete mathematische Algorithmen und mittels Wahrscheinlichkeitsaussagen bezüglich der Aktivitäten der verhaltenshomogenen Personengruppen mit ihren typischen Merkmalen.

Charakteristisch für das Modell ist, dass die Verkehrsverteilung (Zielwahl) und die Verkehrsaufteilung (Verkehrsmittelwahl) simultan und nach gleichen Grundsätzen vorgenom-

men werden. In allen Fällen ergeben sich für die gesuchten Verkehrsströme n-lineare Gleichungssysteme (bei harten Randsummenbedingungen) oder Ungleichungen (bei weichen Randsummenbedingungen), die mit geeigneten Iterationsverfahren zu lösen sind. Die Beschreibung des Programms ist unter <http://www.viseva.de> zu finden.

Die für den Ist-Zustand geschätzten Modellparameter und die Bedeutung der einzelnen Einflussfaktoren auf die Ziel- und Verkehrsmittelwahl werden aus dem Jahr 2000 übernommen. Die veränderten soziodemographischen und räumlichen Charakteristiken der Zonen bewirken neben der neuen Produktion und Attraktion der Zonen auch Veränderungen bei der Ziel- und Verkehrsmittelwahl.

Nach der Bestimmung des Erzeugungsmodells wurden im darauf folgenden Schritt aus den ermittelten Quell- bzw. Zielverkehrsaufkommen und unter Anwendung des simultanen Ziel- und Verkehrsmittelwahlmodells in VISEVA die Quell-Ziel-Matrizen erstellt. Die wesentlichen Veränderungen im Verkehrsaufkommen kamen dabei durch die veränderte Altersstruktur, die Veränderungen im PW- und ÖV-Abonnementbesitz sowie die unterschiedliche Entwicklung der Strukturdaten zustande.

In Tabelle 6 sind die Anzahl der Wege für die unkalibrierten Binnenmatrizen dargestellt. Dabei fällt auf, dass die MIV-Wege im Jahr 2030 beim Modell „2030 SD+RC, MIV 2030 ÖV 2000“ geringer sind als beim Modell „2030 nur SD+RC, MIV- und ÖV-Angebot 2000“. Dies ist auf die höhere Auslastung der Strassen zurückzuführen, und damit mit einer geringeren Fahrgeschwindigkeit unter Belastung im MIV gegenüber dem Modell „2030 nur SD+RC MIV- und ÖV-Angebot 2000“ verbunden. In diesem wurden die MIV-Fahrzeiten unter Belastung mit dem MIV-Angebot 2000 und der MIV-Nachfrage 2000 ermittelt.

Tabelle 6 Vorgehen bei der Berechnung der Quell-Ziel-Matrizen des Binnenverkehrs für das Referenzmodell

Anzahl der Wege in Mio. pro Tag	MIV	ÖV	LIV	Summe
<i>Intra- und Interzonal</i>				
2000	12.261	3.671	12.760	28.693
2030 nur SD+RC, MIV- u. ÖV-Angebot 2000	13.790	4.425	14.006	32.221
2030 SD+RC, MIV 2030 ÖV 2000	13.365	4.475	14.412	32.252
2030 SD+RC, MIV 2030 ÖV 2005	13.348	4.550	14.352	32.250
<i>Nur interzonal</i>				
2000	10.923	3.200	4.557	18.681
2030 nur SD+RC, MIV- u. ÖV-Angebot 2000	12.250	3.881	5.087	21.219
2030 SD+RC, MIV 2030 ÖV 2000	11.776	3.918	5.278	20.972
2030 SD+RC, MIV 2030 ÖV 2005	11.769	3.841	5.273	20.883

Die Aussen- und Umfahrungsströme konnten direkt aus den Prognosematrizen 2030 aus dem NPVM übernommen werden. Diese wurden wegen fehlender soziodemographischer Daten für die Aussenzonen mit einem vereinfachten Verfahren und ohne Anwendung des für

die Binnenmatrizen angewendeten Ansatzes berechnet. Es wurden die Matrizen für das Jahr 2030 aus den Quell-Ziel-Strömen 2000 und den ermittelten Wachstumsfaktoren pro Quell-Ziel-Beziehung und Verkehrsmittel berechnet. Als Grundlage für die Ermittlung der Wachstumsfaktoren im Aussenverkehr wurden das berechnete Nachfragewachstum der Binnenzonen und das prognostizierte Nachfragewachstum der Aussenzonen verwendet. Das Nachfragewachstum der Aussenzonen wurde aus dem Bericht „European Transport Report 2004“ von ProgTrans (2004) übernommen. Aus den Wachstumsfaktoren der Zonen wurde ein gewichteter Wachstumsfaktor pro Quell-Ziel-Beziehung ermittelt.

Tabelle 7 beschreibt die Charakteristiken des erstellten Referenzmodells 2030.

Tabelle 7 Charakteristiken des Referenzmodells 2030

Eigenschaft	Wert pro Tag	Eigenschaft	Wert in Mio. pro Tag
Preis MIV P-km (in Rp.)	13.0	MIV Fz-km CH	145.838
Maut MIV P-km (in Rp.)	0	MIV P-km CH	201.256
Preis ÖV P-km (in Rp.)	16.0	ÖV P-km CH	67.464
Fahrten MIV	9'876'537	MIV Fz-km Ausland	187.230
Wege MIV	13'629'621	MIV Fz-h CH	2'170.3
Wege ÖV	2'579'390	MIV Fz-h Ausland	1'794.8

Die angegebene Anzahl der Wege und Fahrten beinhaltet die interzonalen Wege bzw. Fahrten für das gesamte Modellgebiet (Binnenmatrix der Schweiz sowie Aussen- und Transitverkehre). Die interzonalen Wege innerhalb der Schweizer Grosstädte sind nicht enthalten. Der Begriff Wege wird für eine Ortsveränderung von einer Person verwendet. Unter Fahrt versteht man die Ortsveränderung eines Fahrzeuges (PW). Die Umrechnung von Fahrt zu Weg erfolgt mit dem Besetzungsgrad, der für 2030 mit 1.38 ermittelt wurde. Im Jahr 2000 betrug der Besetzungsgrad 1.45.

Die Fahrzeugkilometer (Fz-km) bzw. Fahrzeugstunden (Fz-h) beziehen sich auf das abgebildete Strassennetz im Modell und vernachlässigen somit die Anbindungen (Verbindung zwischen Zonenschwerpunkt und Knoten des Strassennetzes). Die ÖV-Personenkilometer (ÖV P-km) beinhalten die Züge und jene Busse, die über Gemeindegrenzen fahren. Die berechnete ÖV-Matrix 2030 wurde auf das ÖV-Netz 2000 fahrplanfein umgelegt, da dieses besser als das ÖV-Netz 2005 für die Auswertungen attribuiert ist. Die Personenkilometer im städtischen ÖV, welcher im Modell vereinfacht abgebildet ist, wurden nicht bei den Personenkilometern im ÖV berücksichtigt, da die Wege innerhalb der Grosstädte im Modell nicht enthalten sind.

In ARE (2006) wurden von einer Expertengruppe die Verkehrsdaten in der Schweiz erarbeitet. Für das Jahr 2030 wurden im MIV 13.387 Mio. Wege und für den ÖV 2.492 Mio. Wege mit dem NPVM ermittelt. Bei den Personenkilometern wurden für den MIV 199.308 Mio. Personenkilometer und für den ÖV 68.178 Mio. Personenkilometer ermittelt. Zusammenfassend

lässt sich sagen, dass das hier erstellte Referenzmodell im MIV und ÖV sehr gut mit den Ergebnissen aus ARE (2006) übereinstimmt. In Tabelle 8 sind die Zahlen inklusive aus dem Jahr 2000 dargestellt. Von dieser Expertengruppe wurde auch festgestellt, dass rund 10 bis 15% der Verkehrsleistungen in der Schweiz im NPVM nicht abgebildet werden.

Tabelle 8 Vergleich der Kennwerte für 2000, 2030 ARE und 2030 Referenzmodell

Eigenschaft in Mio. pro Tag	2000 (NPVM)	2030 ARE mit NPVM	2030 Referenz Projekt B2
Wege MIV	11.271	13.387	13.629
Wege ÖV	1.885	2.492	2.579
MIV P-km CH	166.374	199.308	201.256
ÖV P-km CH	46.957	68.178	67.464

In Abbildung 3, Abbildung 4, Abbildung 5, Abbildung 6, Abbildung 7 und Abbildung 8 sind die Streckenbelastungen für einen durchschnittlichen Werktag der Referenzmodelle MIV und ÖV im Jahr 2030 dargestellt.

Abbildung 3 MIV Referenzmodell 2030

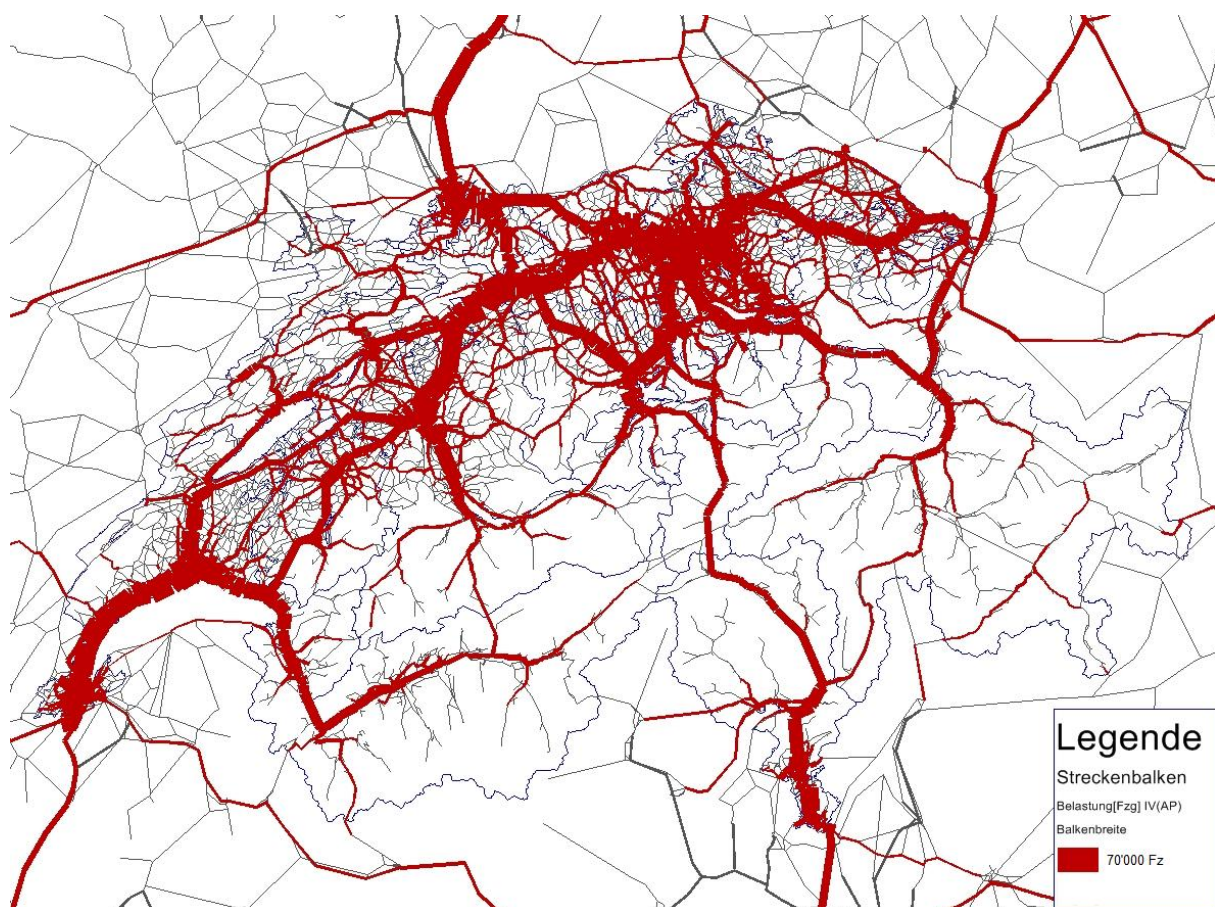


Abbildung 4 MIV Referenzmodell 2030 (Ausschnitt Mittelland)

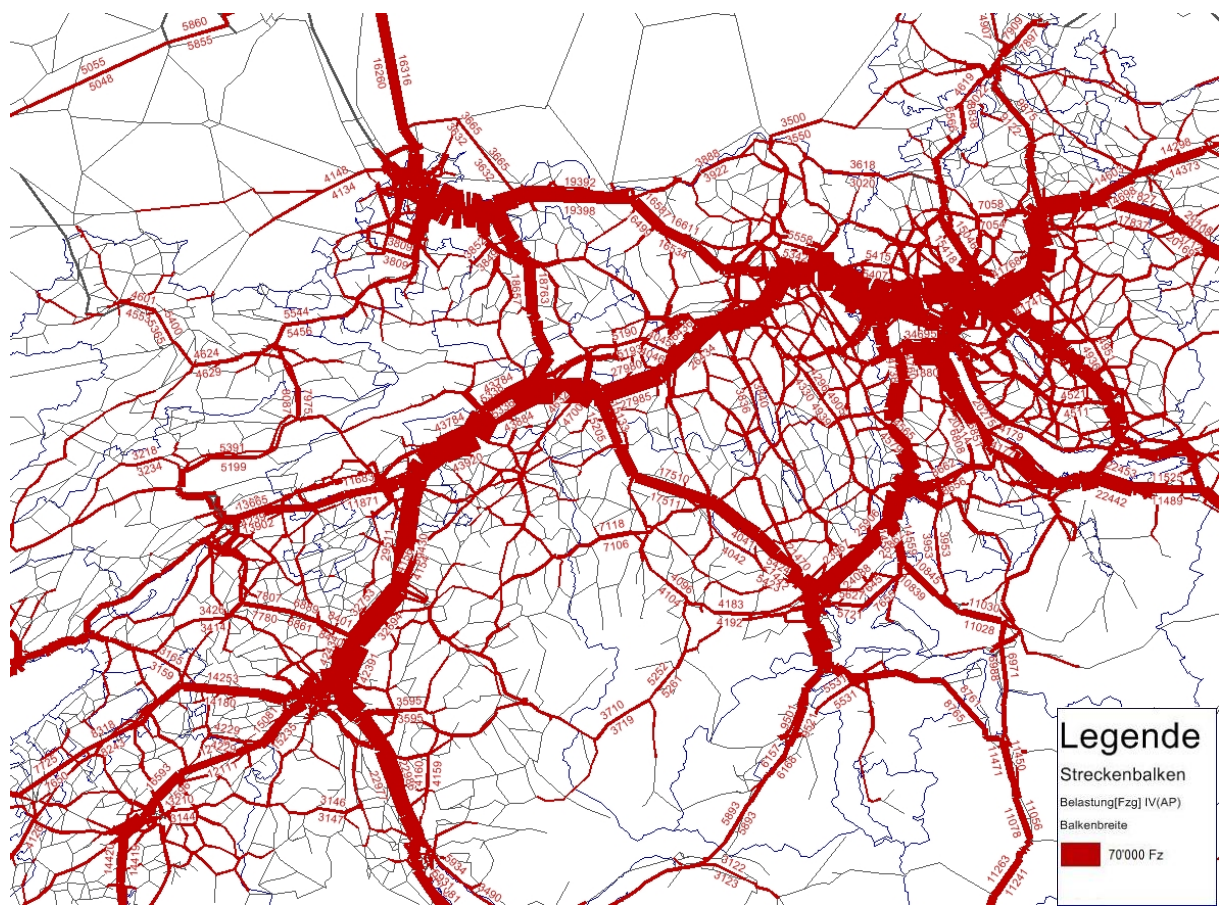


Abbildung 6 ÖV Referenzmodell 2030

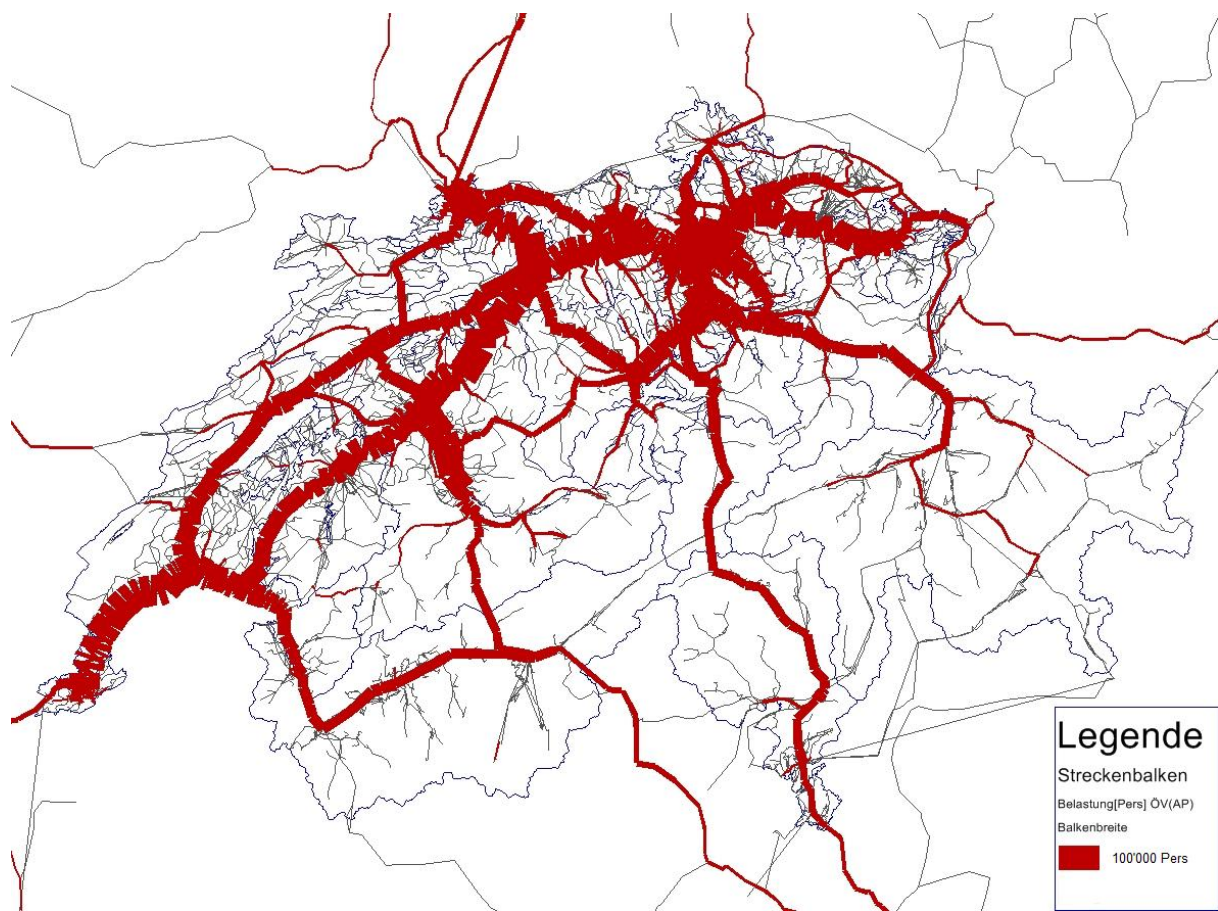


Abbildung 7 ÖV Referenzmodell 2030 (Ausschnitt Mittelland)

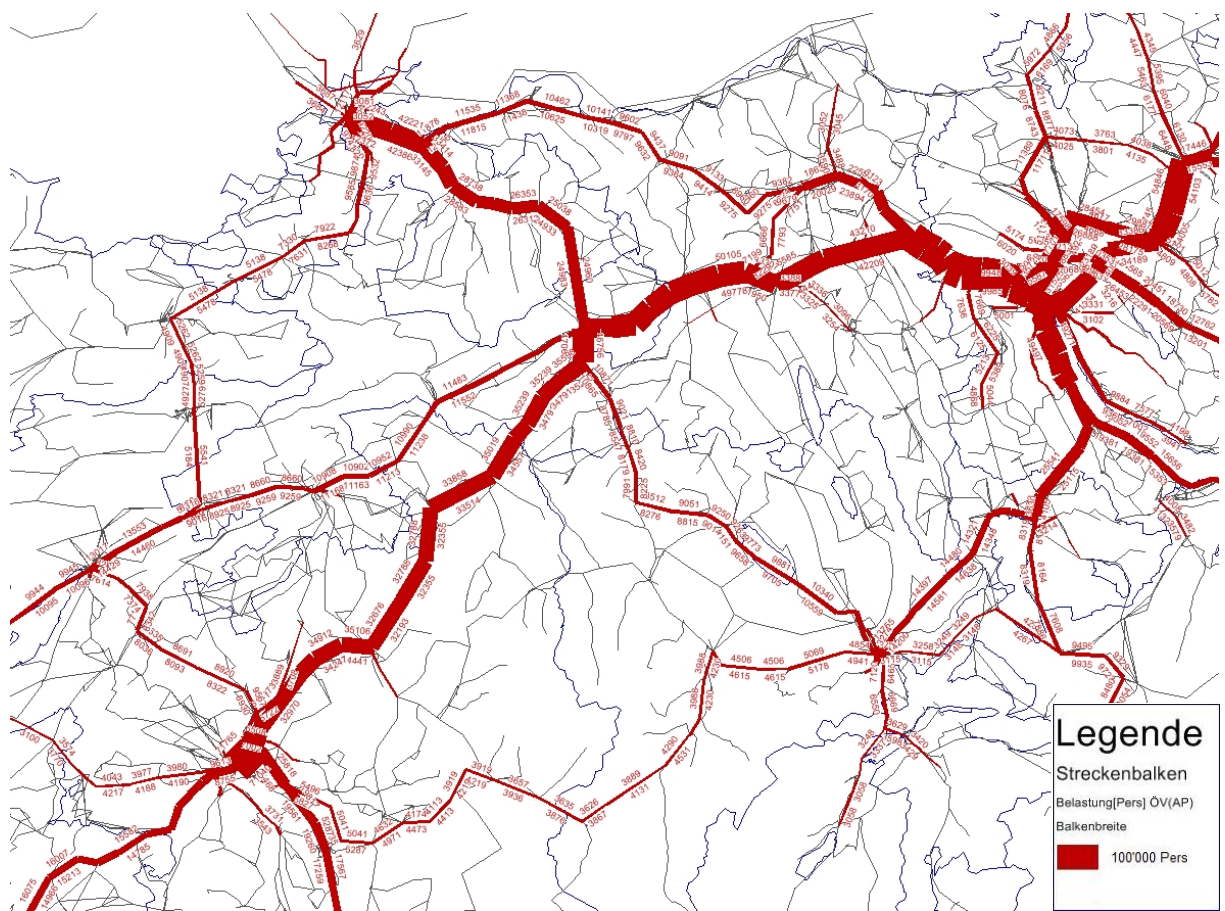
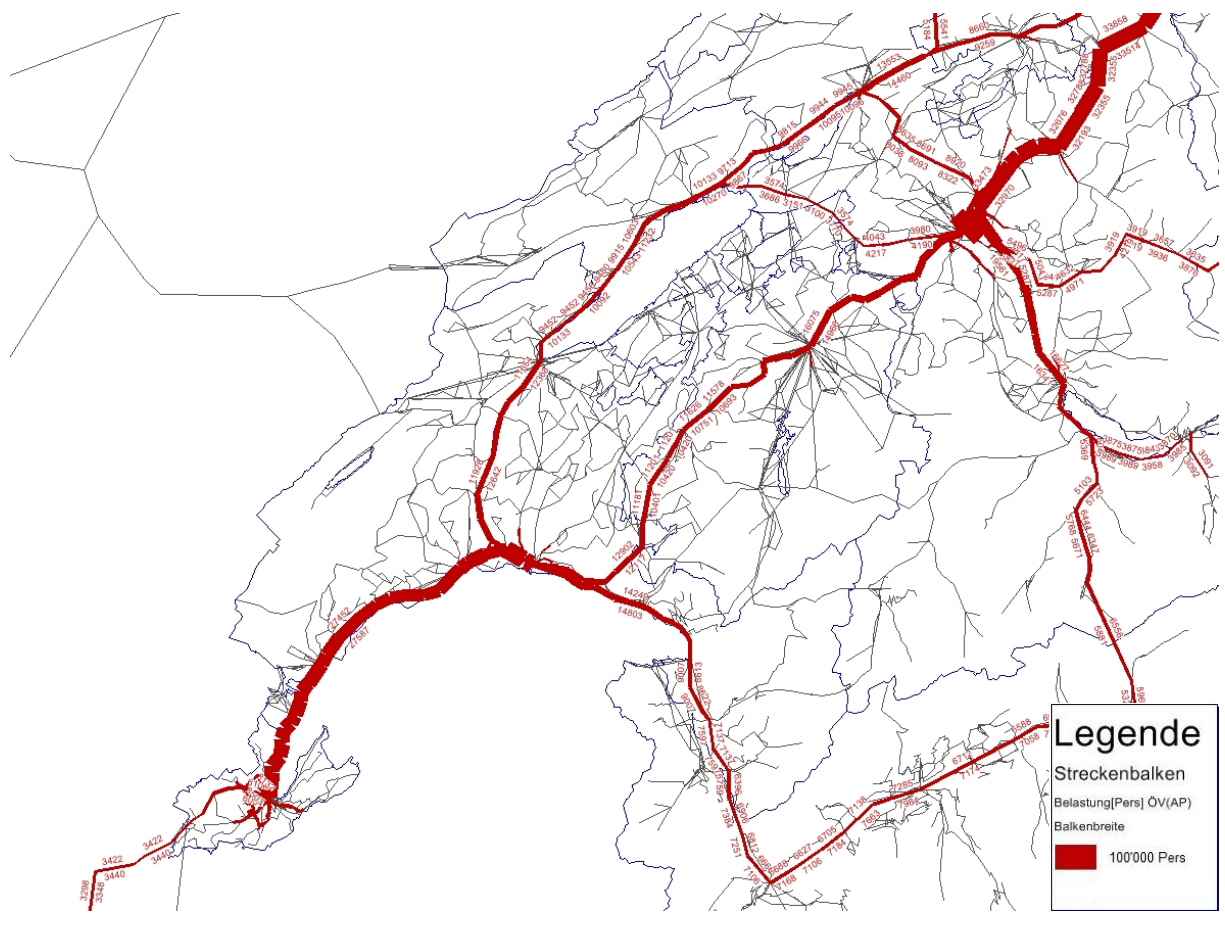


Abbildung 8 ÖV Referenzmodell 2030 (Ausschnitt Romandie)



5 Definition Szenarien

Die genaue Definition der Szenarien wurde mit dem Input aus dem Projekt A2 „Bedeutung von Mobility Pricing für die Verkehrsfinanzierung der Zukunft“ (Ecoplan und INFRAS, 2006) und in Absprache mit der Gesamtprojektleitung Mobility Pricing sowie der Begleitgruppe festgelegt.

Es wurden für alle Szenarien die gleichen MIV- und ÖV-Netze verwendet, nur die Mobility Pricing Komponenten sind je Szenario unterschiedlich, diese sind:

- Benzinpreis
- Maut und
- ÖV-Preis.

Die im Projekt A2 (Ecoplan und INFRAS, 2006) vorgeschlagene Reduzierung bzw. Abschaffung der kantonalen Motorfahrzeugsteuer und der Autobahnvignette können hier nicht berücksichtigt werden, da sie in der Modell-Systematik des NPVM nicht vorhanden sind.

5.1 Szenario A – Objektpricing

Beim Objektpricing werden zukünftige Neu- bzw. Ausbauten bemautet. Die schon bestehenden Kapazitäten bleiben gebührenfrei. Die bis ins Jahr 2030 noch zu bauenden und damit im Szenario Objektpricing zu bemauteten Projekte sind in Tabelle 9 aufgeführt und in der letzten Spalte mit einem Vermerk versehen, ob sie beim Objektpricing berücksichtigt werden sollen.

Zusätzliche Anschlüsse an das Nationalstrassennetz (Halb- bzw. Vollanschlüsse) sind nicht in der Vorschlagsliste für das Objektpricing enthalten, da das Nationale Personenverkehrsmodell (NPVM) zu grob ist, um solche kleinräumigen Netzveränderungen abbilden zu können, und da die Bemautung von Anschlüssen nicht dem Konzept des Objektpricings im eigentlichen Sinne entspricht. In den Fällen, wo nur zusätzliche Kapazitäten (zusätzliche Spur) bemautet (Value-Pricing) werden, wird im Netzmodell ein parallel führender Link mit zusätzlicher Kapazität eingefügt.

Durch die modelltechnische Vorgabe, dass für alle Szenarien der gleiche Strassennetzzustand verwendet werden soll, ergibt sich ein Widerspruch zur ursprünglichen Idee des Objektpricings. Dies ist die Finanzierung von Projekten, bei denen keine Finanzierung aus Steuermitteln vorgesehen ist. Für die modellmässige Abbildung der Auswirkungen von Objektpricing wäre ein Netzzustand mit einer maximalen Anzahl von geplanten (gewünschten) Projekten sinnvoller gewesen. Dies würde aber bedeuten, dass beim Vergleich der Szenarien nicht nur die Auswirkungen aus den verschiedenen Mobility Pricing Szenarien auftreten,

sondern auch aufgrund der unterschiedlichen Strassennetze. Dies ist aufgrund des Anspruches auf aussagekräftige Ergebnisse unerwünscht.

Für eine kohärente Abbildung der Wirkung der verschiedenen Mobility Pricing Szenarien werden daher nur die zusätzlichen Neubauten (Objektpricing) bzw. Ausbauten (Value-Pricing), die noch nicht in Bau sind, bemaute (vergleiche Tabelle 9). Die noch zu bauenden Abschnitte des seit 1960 beschlossenen Nationalstrassennetzes (Absatz a in Tabelle 9) werden nicht einbezogen, da ihre Finanzierung schon beschlossen ist.

Tabelle 9 Objektliste für Szenario A (Objektpricing)

Objekt	Fertigstellung	Mit Preiskomponente im Sz. A
<i>a) Noch zu bauende Teile des seit 1960 beschlossenen Nationalstrassennetzes</i>		
A1 Halbanschluss Spreitenbach	2010	nein
A2 Anschluss Rothenburg	2010	nein
A4 Brunnen - Gumpisch (neue Axenstrasse)	2022	nein
A5 Tunnel Serrières	2015	nein
A5 Umfahrung Vingelz	2018	nein
A5 Umfahrung Biel	2018	nein
A8 Umfahrung Lungern	2012	nein
A8 Giswil Grossmatt - Ewil	2015	nein
A9 Perraudette - Paudèze - Lutrive	2015	nein
A14 Anschluss Buchrain	2010	nein
A16 Court - Tavannes	2016	nein
A16 La Heutte - Taubenloch Entflechtung Langsamverkehr	2018	nein
<i>b) Umklassierungen, Ausbauten und Netzergänzungen bis 2030 (Minimalmassnahmen)</i>		
A1 Luterbach - Härkingen 6-Streifen-Ausbau	2020	Value-Pricing
A1 Härkingen - Wiggertal 6-Streifen-Ausbau	2013	Value-Pricing
A1 Gubristtunnel 3. Röhre	2014	Value-Pricing
A2 Bypass Luzern	2025	Objekt-Pricing
A4 Blegi - Rütihof 6-Streifen-Ausbau	2012	Value-Pricing
<i>c) Hauptstrassen-Vorhaben</i>		
BE: Umfahrung Emdthal		Objekt-Pricing
AG: Umfahrung Aarburg		Objekt-Pricing
TI: Tunnel Vedeggio - Cassarate		Objekt-Pricing
SO: Spange Solothurn West		Objekt-Pricing
<i>d) Kantonale Vorhaben</i>		
ZG: Neubau Kantonsstrasse Nr. 4 "Nordzufahrt Zug"	2010	Objekt-Pricing
ZH: Kantonale Autobahn A53 Oberuster - Bretholz	2014	Objekt-Pricing

Quelle: Zuordnung gemäss Absprache mit ASTRA und BAV vom 11.01.2006.
Referenz- und Kernkonzept Strasse für ZEB-Projekt

Im Projekt A2 wurden für das Objektpricing keine generellen Tarife festgelegt. Daher wurde die Tarifhöhe (10 und 1 Rappen pro Fahrzeugkilometer) so festgelegt, dass möglichst viel Nachfrage die Pricing-Objekte benutzt (Maximierung der Einnahmen). Eine Dynamisierung der Maut über den Tag ist nicht vorgesehen.

Einige kleinere Bauvorhaben konnten im Netzmodell nicht berücksichtigt werden (z.B. Nord-zufahrt Zug), da sie im NPVM nicht sinnvoll abzubilden waren.

Für das Szenario A (Objektpricing) werden folgende Modellierungsschritte durchgeführt: Verkehrsmittel- und Routenwahl.

5.2 Szenario B – Zonenmodell

Das Zonenmodell kann auf zwei Arten umgesetzt werden:

1. als Kordon-Pricing (wie z.B. in Stockholm) oder
2. als Area-Licence (wie z.B. in London).

Im Szenario B (Zonenmodell) ist ein Kordon-Pricing vorgesehen, wobei die Automobilisten sowohl bei der Einfahrt in die Pricing-Zone als auch bei der Ausfahrt in den Spitzenstunden jedes Mal bemaute werden. Somit kann der Verkehr in der Morgen- als auch in der Abendspitze durch die Maut beeinflusst werden. Zudem ist es schwierig, das Area-Licence-Modell im NPVM umzusetzen, wenn von den Automobilisten für ein Gebiet eine Benutzungsberechtigung für einen Zeitraum gelöst wird. Das Zonen-Pricing wurde in den elf bevölkerungsstärksten Städten der Schweiz (Stand 2000) implementiert. Dies sind Zürich, Genf, Basel, Bern, Lausanne, Winterthur, St. Gallen, Lugano (Gemeindestand 2000, also noch vor den Eingemeindungen im Jahr 2004), Luzern, Biel und Thun. Die Abgrenzung der Kordon-Pricing-Zonen erfolgt an den Gemeindegrenzen der Städte.

Im Verkehrsmodell werden Strecken mit Ausnahme von Autobahnen, die eine Gemeindegrenze der genannten Städte queren, mit einer Maut versehen. Autobahnen, die durch solche Pricing-Zonen verlaufen, werden nicht bemaute. Erst wenn die Autobahn verlassen und damit in eine Pricing-Zone eingefahren wird, erfolgt die Bemaute bei der Anschlussstelle. Die Bemaute soll nur in der Morgenspitze (Abfahrtszeit zwischen 6 und 8 Uhr) und in der Abendspitze (Abfahrtszeit zwischen 16 und 18 Uhr) erfolgen. Der Preis je Personenkilometer (MIV und ÖV) bleibt wie im Referenzfall. Binnenfahrten innerhalb der Pricingzonen werden nicht bemaute.

Im Projekt A2 (Ecoplan und INFRAS, 2006) wurden für das Szenario B (Zonenmodell) zwei Tarifhöhen je Überfahrt der Kordongrenzen mit 3 Franken (Szenario B1) und 4 Franken (Szenario B2) sowie bei Binnenfahrten mit Rabatt (1 Franken) für den ganzen Tag in den fünf grössten Städte (Zürich, Genf, Basel, Bern und Lausanne) vorgesehen.

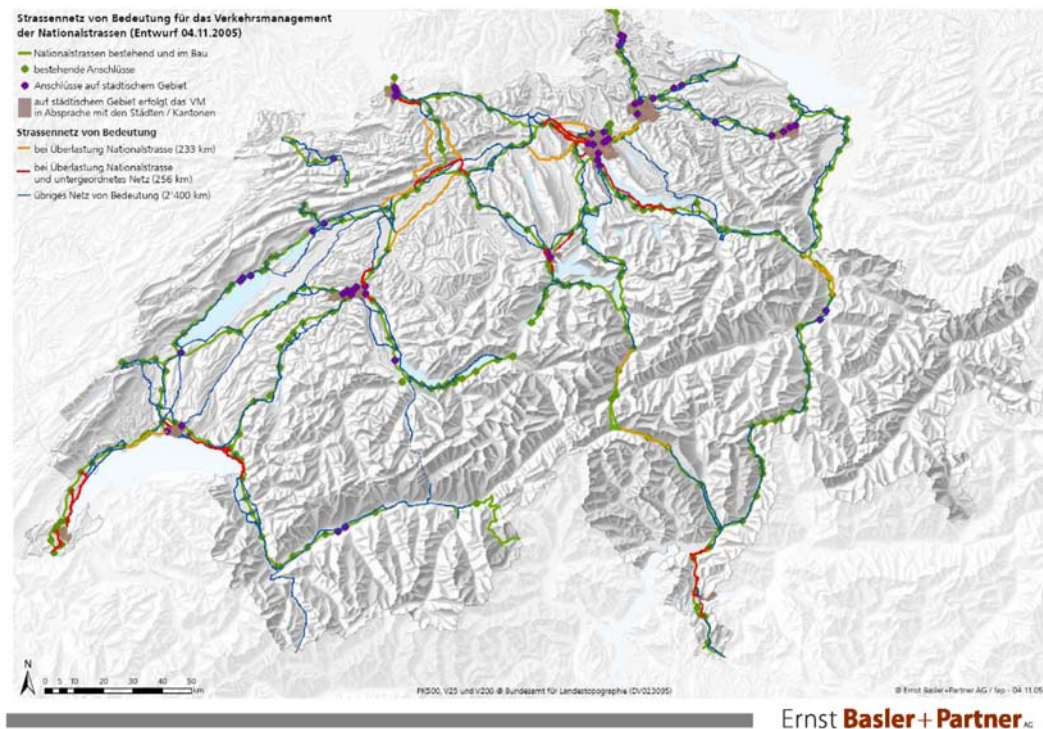
Beim Zonenmodell werden sowohl Veränderungen bei der Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl als auch bei der Wahl der Abfahrtszeit erwartet. Daher sind alle diese Schritte zu modellieren. Da insbesondere die Zielwahlmodellierung ein sehr arbeits- und rechenintensiver Arbeitsschritt ist (und mit der Verkehrsmittel- und Routenwahl zusammenhängt) und sich des Weiteren die Tariffhöhe wenig verändert (von 3 auf 4 Franken), werden die ersten drei Teilmodelle mit einer Tariffhöhe (3 Franken) gerechnet. Für die Berechnung der Wahl der Abfahrtszeit werden beide Tariffhöhen berücksichtigt.

5.3 Szenario C – Netzmodell

Im Szenario C (Netzmodell) werden alle Strassen berücksichtigt, die im ASTRA-Projekt „Strassennetz von Bedeutung für das Verkehrsmanagement der Nationalstrassen“ definiert wurden. Diese Netzdefinition beinhaltet die Nationalstrassen (Länge 1'892 km) sowie das Strassennetz von Bedeutung, welches als Alternativroute für die Nationalstrassen dienen kann (zusätzlich 2'889 km). Insgesamt würden im Jahr 2005 somit 4'781 km bemaute werden, wobei für die städtischen Gebiete noch keine Netzdefinition vorliegt. Das Netz von Bedeutung endet somit jeweils an den Gemeindegrenzen der Grossstädte. Mit den zusätzlichen Strassenbauten bis zum Referenzzustand 2030 (vergleiche Tabelle 9) kommen zusätzlich 141,4 km (hauptsächlich Nationalstrassen) hinzu. Somit ergibt sich für das Referenzjahr 2030 eine bemaute Netzlänge von 4'922,4 km im Szenario C (Netzmodell) (siehe Abbildung 9).

Da im Szenario D (Zonen-Strecken-Zonen-Modell) die Ein- bzw. Ausfahrt in die städtischen Zonen bemaute wird, kann beim Szenario C (Netzmodell) auf eine Bemaute der Strecken in den Pricing-Zonen, mit der Ausnahme der Autobahnen, verzichtet werden.

Abbildung 9 Nationalstrassennetz und Strassennetz von Bedeutung



Der vorgesehene Mobility Pricing Tarif beträgt 4 Rappen pro gefahrenen Fahrzeugkilometer auf dem Nationalstrassennetz und Strassennetz von Bedeutung während des ganzen Tages. Der Mineralölsteuerzuschlag wird um 40% reduziert, dies entspricht einer Preisabnahme von 12 Rappen pro Liter Benzin.

Die Szenario C (Netzmodell) zu berechneten Modellierungsschritte sind: Verkehrsmittel- und Routenwahl.

5.4 Szenario D – ZSZ-Modell

Im Szenario D (Zonen-Strecken-Zonen-Modell) wird eine Kombination der Szenarien B (Zonenmodell) und C (Netzmodell) angewendet.

Der notwendige Input ist schon in den Szenarien B und C abgedeckt. Die Berechnungen werden für eine Tariffhöhe (3 Franken für die Ein- und Ausfahrt in eine Pricing-Zone während der Morgen- und Abendspitzen sowie 4 Rappen pro Fahrzeugkilometer auf dem Nationalstrassennetz und dem Netz von Bedeutung während des ganzen Tages) durchgeführt. Der Mineralölsteuerzuschlag wird um 40% reduziert, dies entspricht einer Abnahme von 12 Rappen pro Liter Benzin.

Modellierungsschritte: Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl sowie Wahl der Abfahrtszeit.

5.5 Szenario E – Gebietsmodell mit km-Abgabe

Beim Szenario E (Gebietsmodell mit km-Abgabe) wird eine distanzabhängige bzw. km-abhängigen Strassenbenutzungsgebühr im gesamten Netz erhoben.

Die Berechnungen werden für zwei Mobility Pricing Tarife durchgeführt:

- Szenario E1: mit 4 Rappen pro gefahrenen Fahrzeugkilometer im Schweizer Strassennetz, Wegfall des Mineralölsteuerzuschlags (-30 Rappen pro Liter Benzin) und konstanten ÖV-Preis und
- Szenario E2 ("Hohe Mobilitätspreise"): mit 15 Rappen pro gefahrenen Fahrzeugkilometer im Schweizer Strassennetz, Wegfall des Mineralölsteuerzuschlags (-30 Rappen pro Liter Benzin) und Erhöhung des ÖV-Preises von 16 auf 24.4 Rappen pro P-km.

Eine Dynamisierung ist nicht vorgesehen.

Modellierungsschritte: Verkehrsmittel- und Routenwahl.

5.6 Übersicht zu den Preisannahmen in den Szenarien und zur Anzahl der Modellschritte

Tabelle 10 gibt einen Überblick über die Preisannahmen pro Personen-Kilometer (P-km) bzw pro Person (P) im MIV und ÖV in den Szenarien. Im Projekt A2 (Ecoplan und INFRAS, 2006) wurden neben den Kompensationsmassnahmen über den Mineralölsteuerzuschlag auch weitere zur kantonalen Motorfahrzeugsteuer und Autobahnvignette gemacht. Diese beiden Preismassnahmen können im NPVM nicht berücksichtigt werden und bleiben daher in den Berechnungen unberücksichtigt. Die Annahmen zu den Preisen pro P-km im MIV und ÖV stammen aus Ecoplan und INFRAS (2006) und König, Axhausen und Abay (2004).

Tabelle 10 Übersicht zu den Preisannahmen in den Szenarien

Preis in Rappen	Preis MIV P-km	Maut (P/P-km)	Anmerkung	Preis ÖV P-km
Referenz	13.0			16.0
Sz. A (Objektpricing)	13.0	7.2/0.7		16.0
Sz. B1 (Zonenmodell)	13.0	217	Pricing-Zone	16.0
Sz. B2 (Zonenmodell)	13.0	290	Pricing-Zone	16.0
Sz. C (Netzmodell)	12.2	2.9	NS+NVB	16.0
Sz. D (ZSZ-Modell)	12.2	2.9	NS+NVB	16.0
		217	Pricing-Zone	
Sz. E1 (Gebietsmodell)	11.0	2.9		16.0
Sz. E2 (Gebietsmodell)	11.0	10.8		24.4

In Tabelle 11 sind die zu berechnenden Modellschritte für die Szenarien und das Referenzmodell aufgeführt.

Tabelle 11 Anzahl der zu berechnenden Modellschritte

Anzahl der Modellschritte	Zielwahl	Verkehrsmittelwahl	Routenwahl	Wahl der Abfahrtszeit	Summe
Referenz	1	1	1		3
Sz. A (Objektpricing)		1	1		2
Sz. B (Zonenmodell)	1	1	1	2	5
Sz. C (Netzmodell)		1	1		2
Sz. D (ZSZ-Modell)	1	1	1	1	4
Sz. E (Gebietsmodell)		2	2		4
Summe der Modellschritte					20

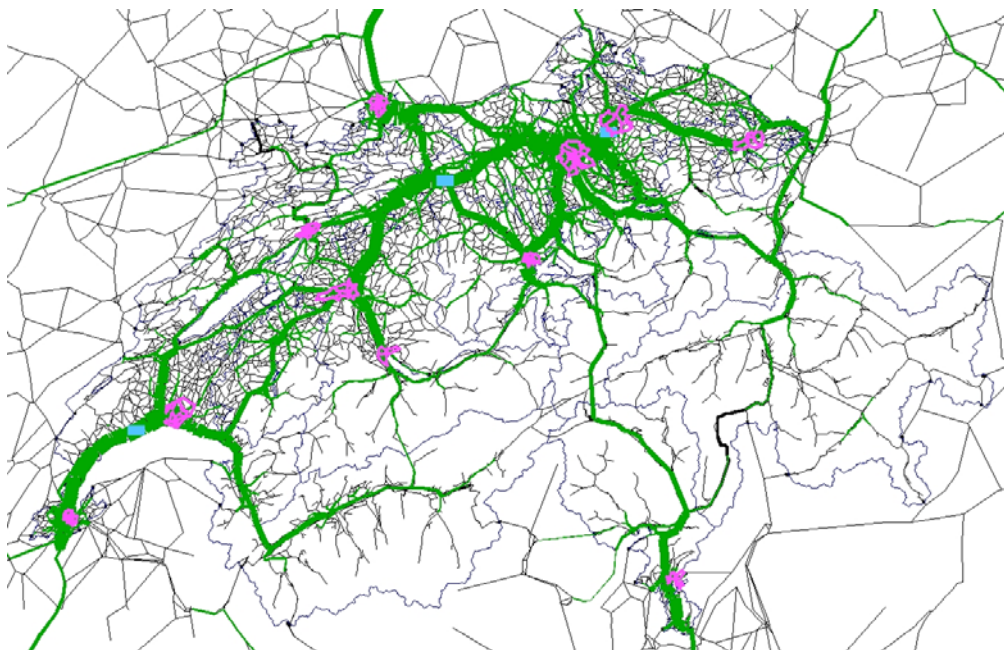
6 Resultate Szenarien

In diesem Kapitel werden die Resultate der verschiedenen Szenarien aufgeführt und danach mit dem Referenzmodell verglichen. Bei den Belastungsplots handelt es sich um Differenzdarstellungen gegenüber dem Referenzmodell. Dabei entsprechen die roten Balken einer Belastungszunahme und die grünen Balken einer Belastungsabnahme.

Nochmals sei darauf hingewiesen, dass bei ÖV-Personenkilometern nur Bahn und Bus über Gemeindegrenzen berücksichtigt wurden.

Je Szenario werden die Veränderungen der Streckenbelastung auf drei ausgewählten Querschnitten für den MIV auf der Autobahn A1 und den ÖV dargestellt (hellblau Kästchen in Abbildung 10). Die Querschnitte des MIV und des ÖV ergänzen einander. Ein Querschnitt wurde derart gewählt, dass er möglichst nahe bei einer Pricing-Zone liegt (Winterthur, südlich der Ausfahrt Töss). Ein weiterer sollte in der Nähe einer Pricing-Zone liegen, aber nur gering dadurch beeinflusst werden (Autobahnabschnitt Morges - Aubonne). Der dritte Querschnitt wurde so gewählt, dass er von den Pricing-Zonen nicht beeinflusst wird und möglichst viele lange Wege über den Querschnitt gehen (zwischen der Ausfahrt Olten und der Verzweigung Wiggertal).

Abbildung 10 Standorte der Vergleichsquerschnitte auf der Autobahn A1



Anmerkung: hellblau Kästchen markieren die Lage der Vergleichsquerschnitte, die violetten Flächen stellen die Pricingzonen im Zonenmodell dar.

6.1 Szenario A - Objektpricing

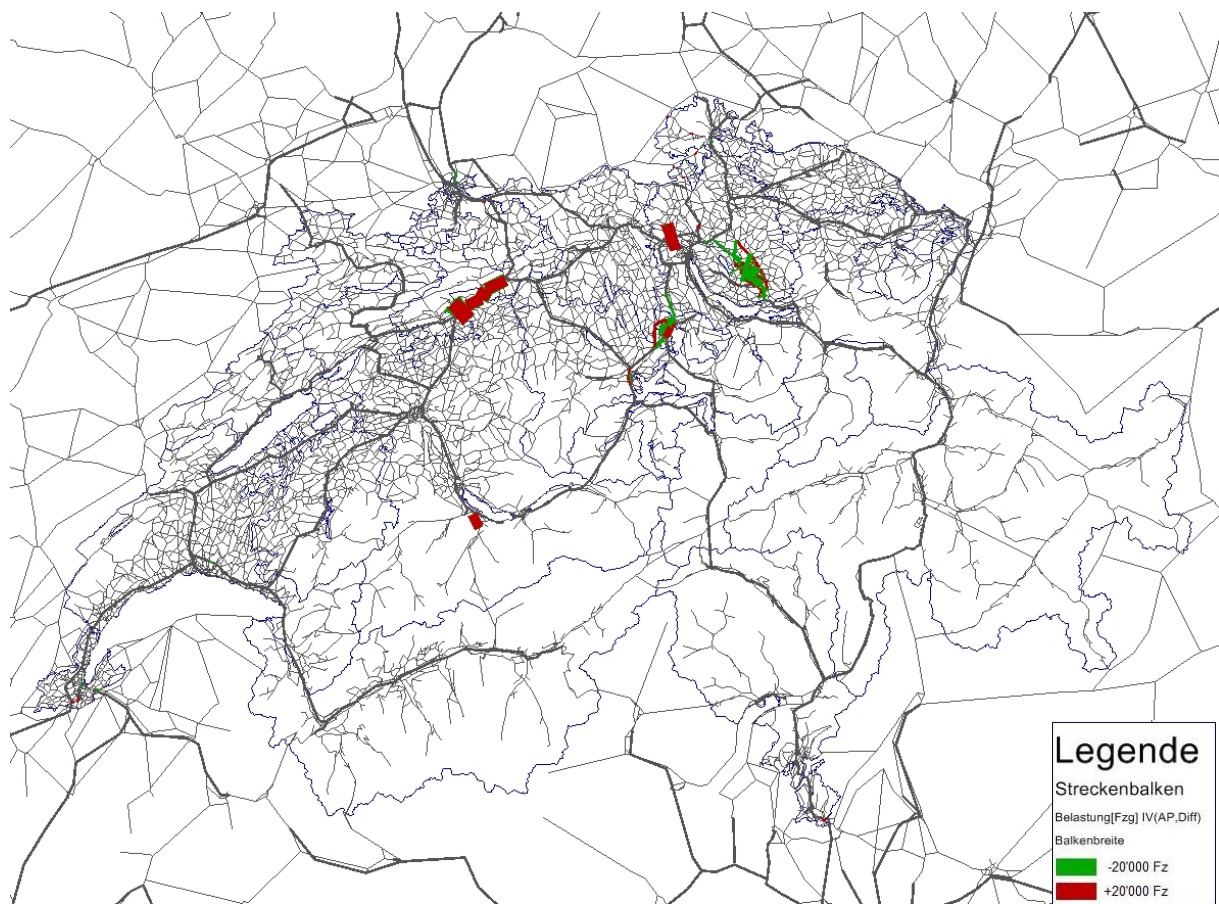
Tabelle 12 beschreibt die Charakteristiken des Szenarios A (Objektpricing). Eine Verlagerung von MIV-Wege auf den ÖV ist nicht festzustellen.

Tabelle 12 Charakteristiken des Szenarios A (Objektpricing)

Eigenschaft	Wert pro Tag	Eigenschaft	Wert in Mio. pro Tag
Preis MIV P-km (in Rp.)	13.0	MIV Fz-km CH	145.417
Maut MIV P-km (in Rp.)	7.2/0.7	MIV P-km CH	200.675
Preis ÖV P-km (in Rp.)	16.0	ÖV P-km CH	67.562
Fahrten MIV	9'873'826	MIV Fz-km Ausl.	187.212
Wege MIV	13'625'880	MIV Fz-h CH	2'167.1
Wege ÖV	2'580'824	MIV Fz-h Ausl.	1'793.9

In Abbildung 11 ist die Differenzabbildung für das MIV-Szenario A (Objektpricing) zur MIV-Referenz dargestellt. Die Auswirkungen im Szenario A sind gering und räumlich eng begrenzt. Die Belastungszu- und -abnahmen sind in der Abbildung 11 schwer zu erkennen, da die Links parallel geführt sind. Bei den Value-Pricing-Objekten ist keine räumliche Verlagerung festzustellen. Beim Objektpricing, wie z.B. bei der A 53 (Zürich Oberlandautobahn) ist eine geringe Verlagerung ins untergeordnete Netz festzustellen.

Abbildung 11 MIV-Szenario A (Objektpricing): Differenzbelastung zur Referenz



In Abbildung 12 ist der Ausschnitt Mittelland dargestellt. Auf der A1 südlich der Autobahnausfahrt Töss nimmt die Belastung um ca. 450 Fahrzeuge pro Tag und Richtung ab (-1% gegenüber dem Referenzfall), und auf der A1 zwischen der Ausfahrt Olten und der Verzweigung Wiggertal nimmt die Belastung um ca. 750 Fahrzeuge pro Tag und Richtung ab (-2% gegenüber dem Referenzfall) aufgrund der Beeinflussung durch das Value-Pricing bei Härkingen.

Abbildung 12 MIV-Szenario A (Objektpricing): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)

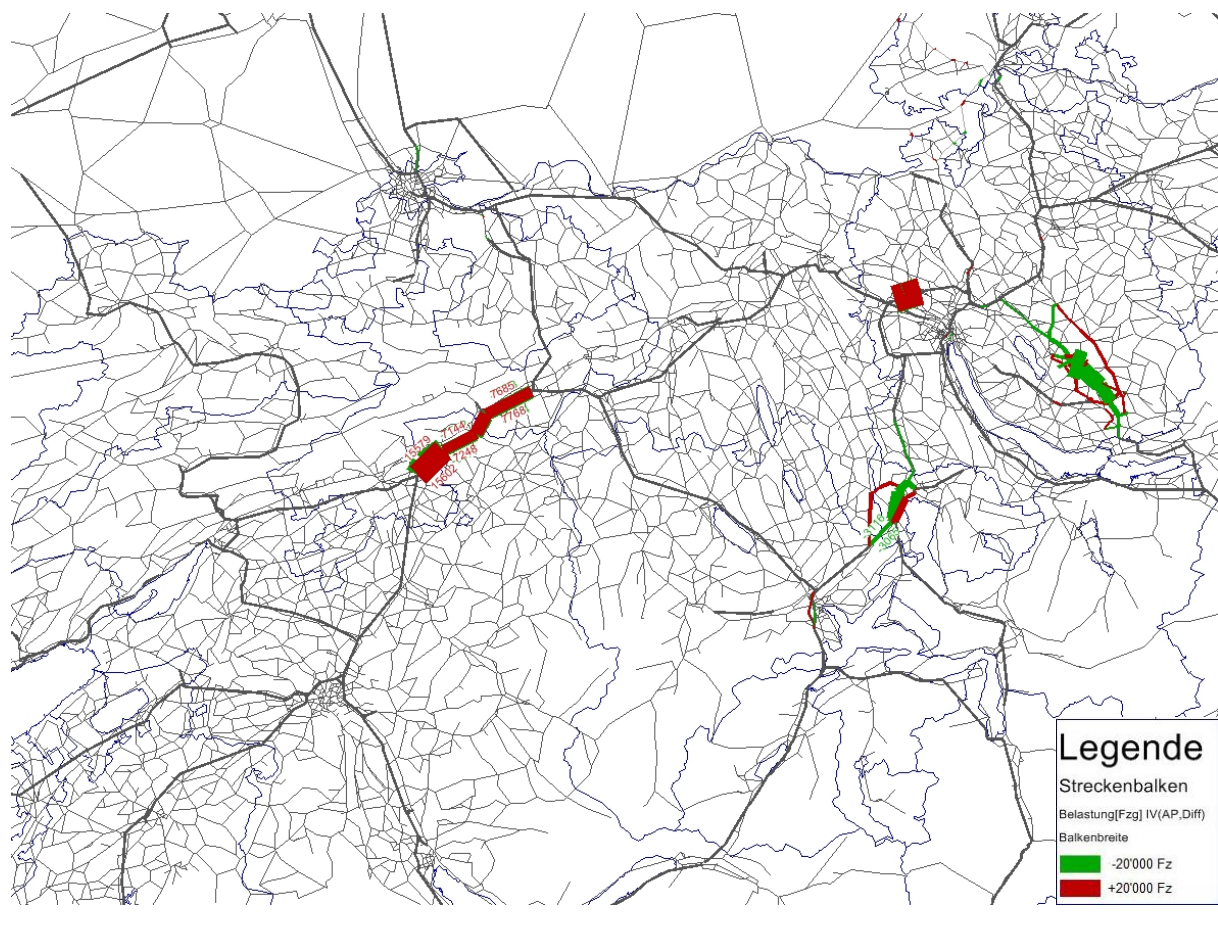
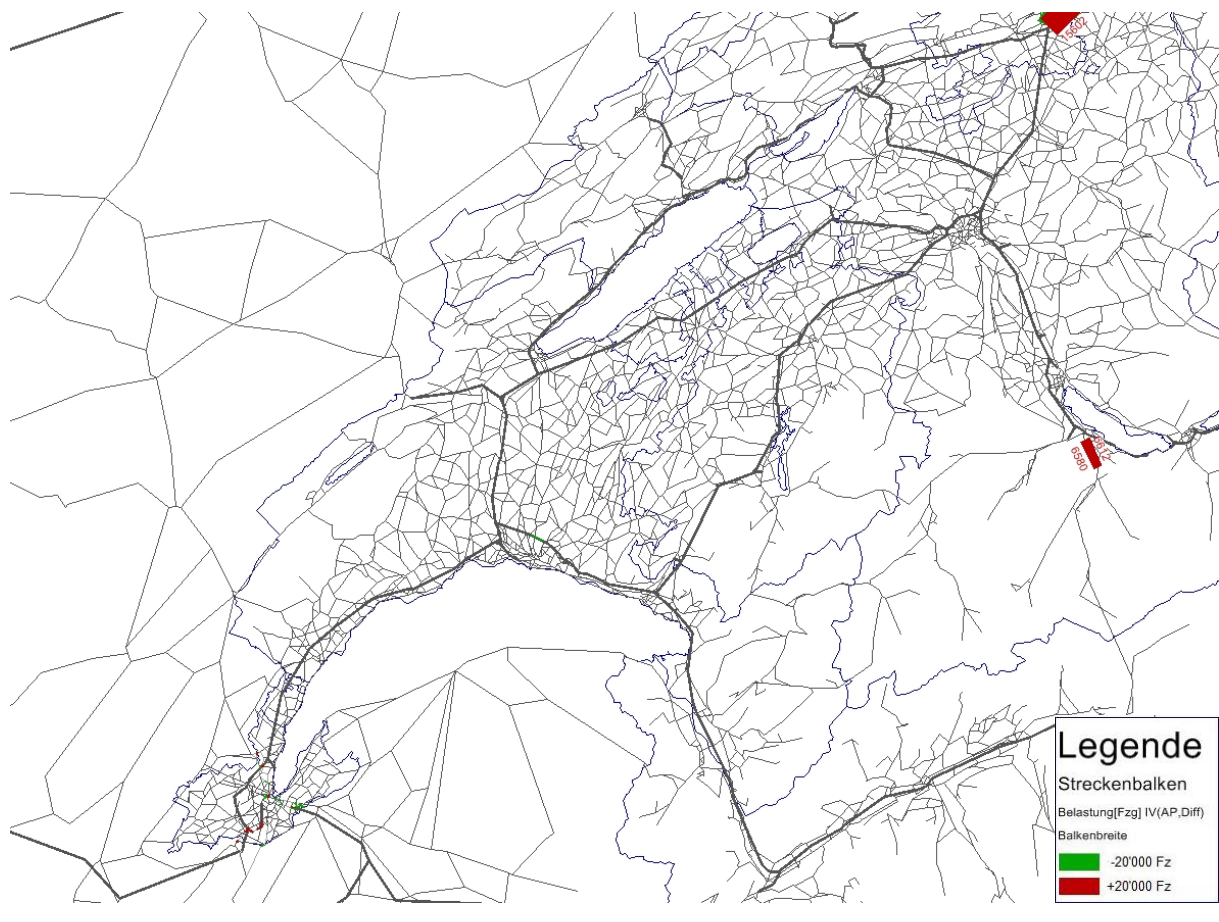


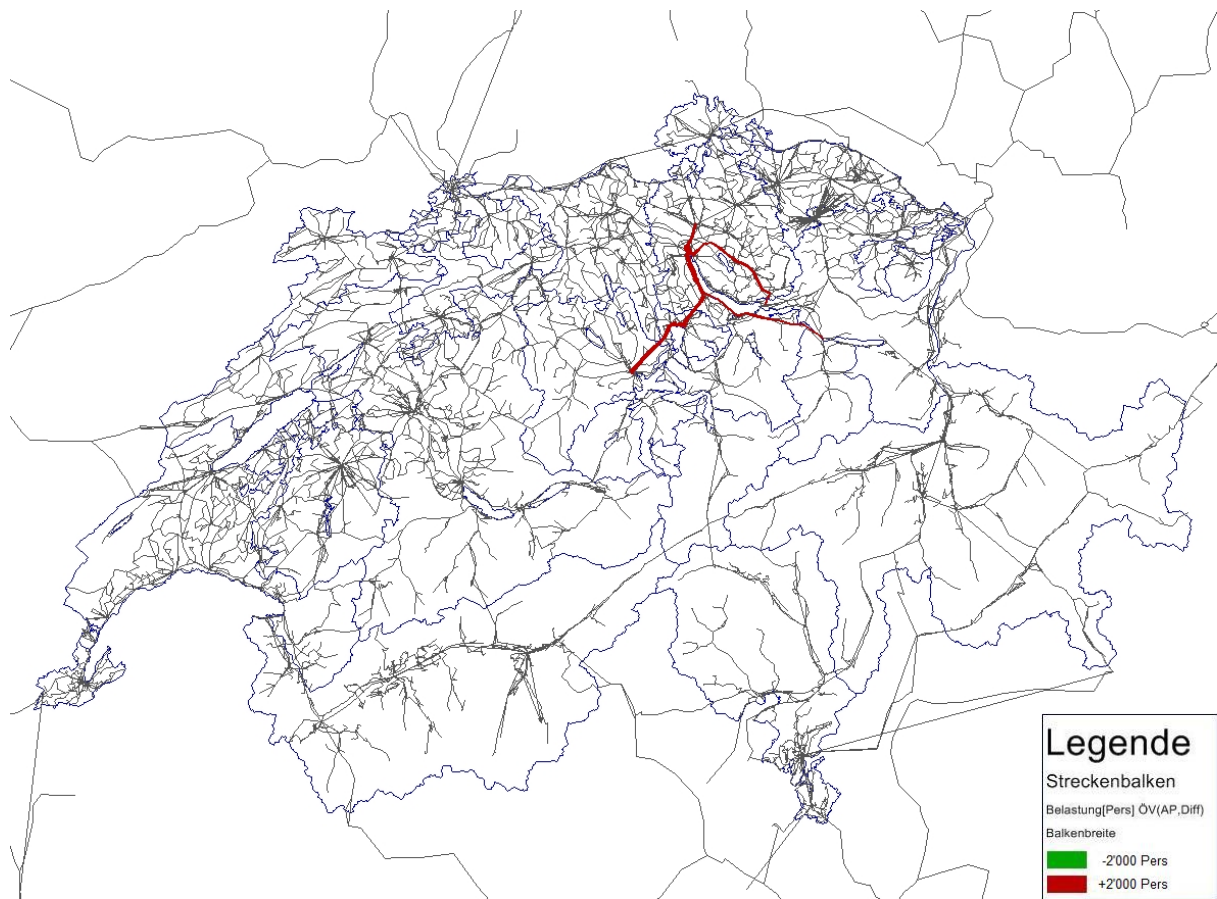
Abbildung 13 zeigt den Ausschnitt Romandie. Auf der A1 zwischen Morges und Aubonne bleibt die Belastung pro Tag und Richtung gleich. Im gesamten MIV-Netz sind die Veränderungen gegenüber dem Referenzfall äusserst gering.

Abbildung 13 MIV-Szenario A (Objektpricing): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)



In Abbildung 14 ist die Differenzabbildung für das ÖV-Szenario A zur ÖV-Referenz dargestellt. Die Verkehrsmittelwahleffekte sind, wie zu erwarten war, sehr gering. Nur auf der Relation Zürich-Luzern ist eine marginale ÖV-Zunahme erkennbar (Achtung: im ÖV-Szenario A ist die Differenzbelastung gegenüber den anderen Szenarien zehnfach überhöht dargestellt).

Abbildung 14 ÖV-Szenario A (Objektpricing): Differenzbelastung zur Referenz



In Abbildung 15 ist der Ausschnitt Mittelland dargestellt. Auf der Strecke östlich des Bahnhofs Olten beträgt die Fahrgastzunahme 20 Personen bei einer Belastung im Referenzmodell von 41'400 Fahrgästen pro Richtung (0% Veränderung). Auf der Strecke südwestlich des Bahnhofs Winterthur beträgt die Fahrgastzunahme 21 Personen bei einer Belastung im Referenzmodell von 54'400 Fahrgästen pro Richtung (0% Veränderung).

Abbildung 15 ÖV-Szenario A (Objektpricing): Differenzbelastung zur Referenz

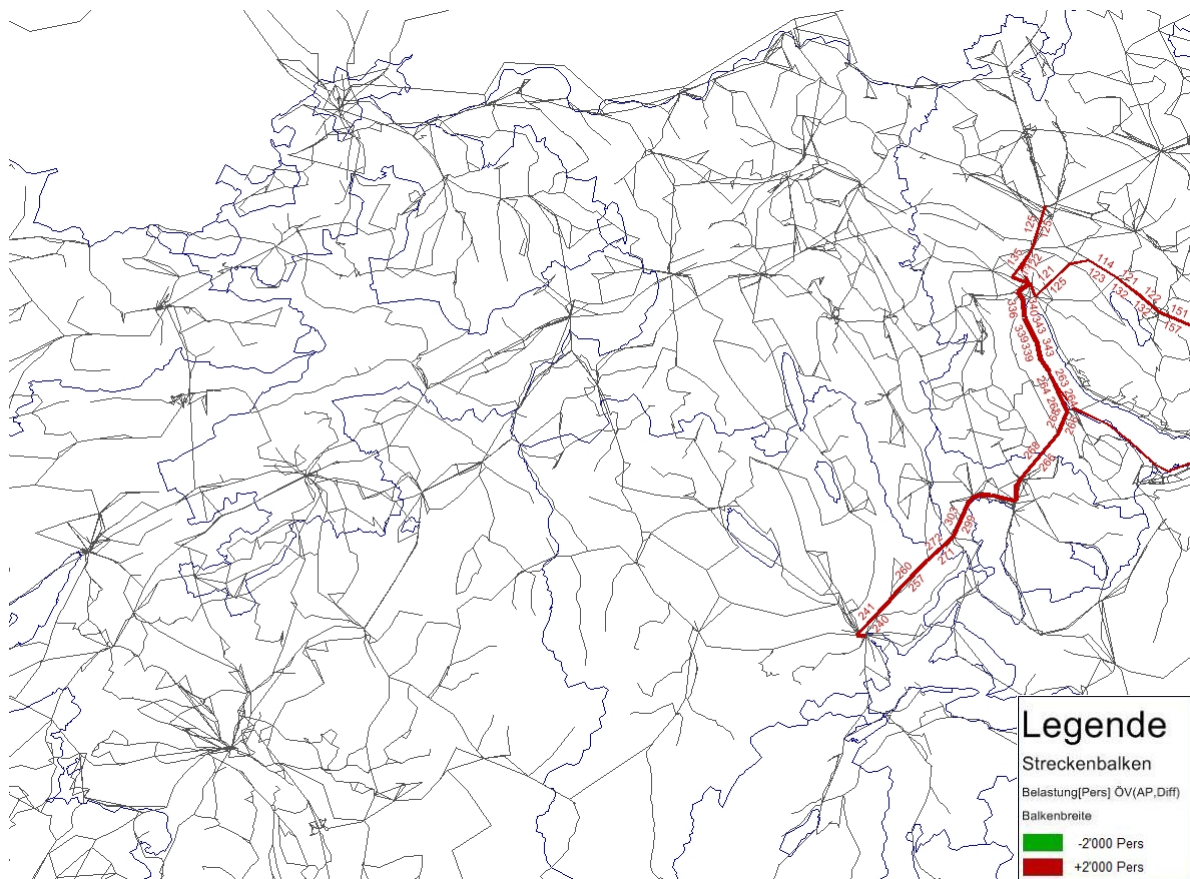
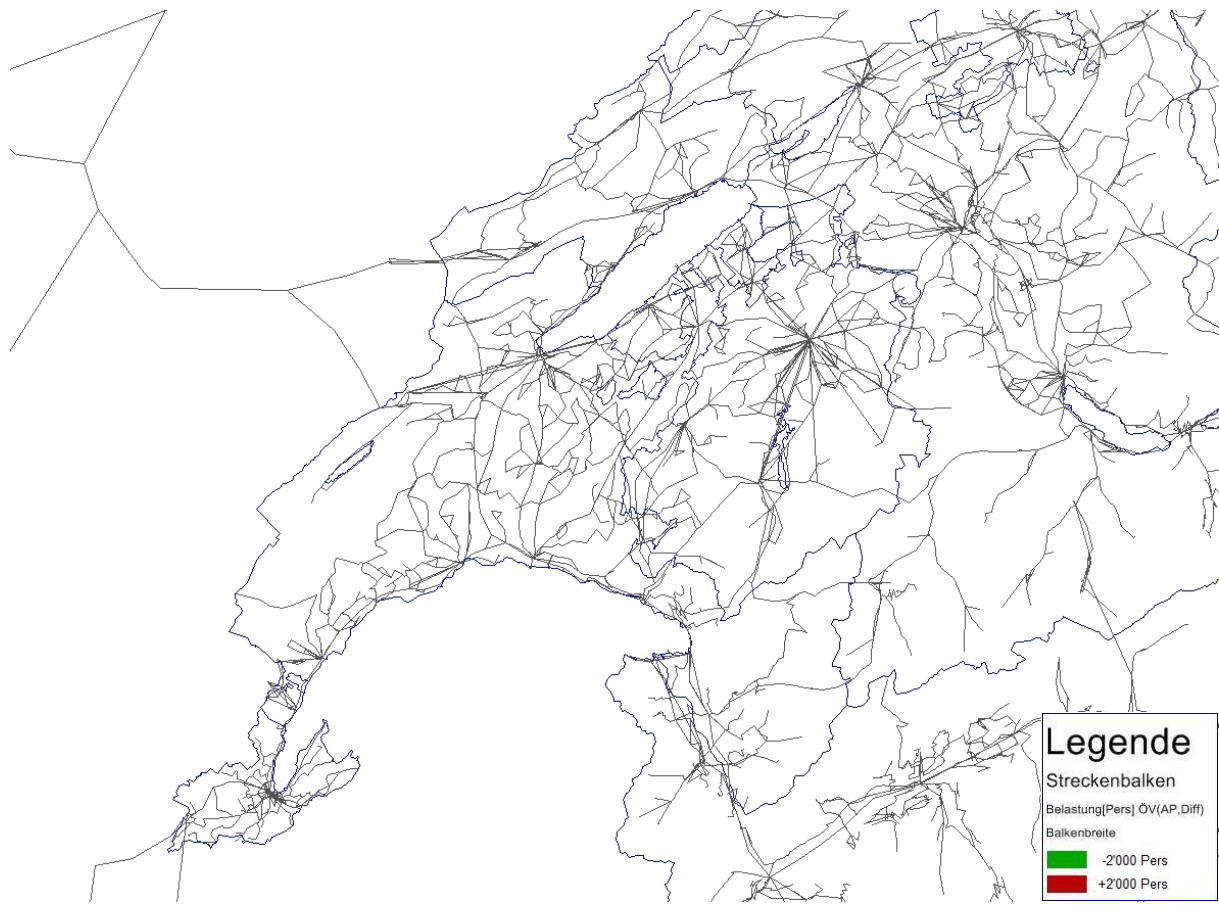


Abbildung 16 zeigt den Ausschnitt Romandie. Auf der Strecke westlich des Bahnhofs Morges bleibt die Belastung pro Tag und Richtung gleich.

Abbildung 16 ÖV-Szenario A (Objektpricing): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)



6.2 Szenario B - Zonenmodell

Mit dem Aufbau des NPVM, das die Grundlage für die Modellierungsarbeit im vorliegenden Projekt bildet, ist eine stundenfeine Modellierung der Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl nicht möglich. Daher wird für diese Modellschritte mit einer Maut für die Ein- und Ausfahrt in eine Kordon-Pricing-Zone für den ganzen Tag gerechnet. Danach wird der relative Anteil am Werktagsverkehr für die definierte Morgen- und Abendspitze nach Berechnung der Abfahrtszeiteffekte mit den hier erzeugten Matrizen ersetzt. Die Fahrten ausserhalb der beiden Mautzeiten werden aus dem Referenzfall übernommen. Das Durchrechnen aller drei Modellschritte und die Auswertung der Ergebnisse erfolgt mit dem Szenario B1 (3 Franken), für das Szenario B2 (4 Franken) wurde nur die Verschiebung der Wahl der Abfahrtszeit berechnet.

Tabelle 13 beschreibt die Charakteristiken des Szenarios B1. Rund 70'000 Wege werden vom MIV auf den ÖV mit der Zonenmaut in den Spitzenstunden verlagert.

Tabelle 13 Charakteristiken des Szenarios B1 (Zonenmodell)

Eigenschaft	Wert pro Tag	Eigenschaft	Wert in Mio. pro Tag
Preis MIV P-km (in Rp.)	13.0	MIV Fz-km CH	144.023
Maut MIV P-km (in Rp.)	217/290	MIV P-km CH	198.752
Preis ÖV P-km (in Rp.)	16.0	ÖV P-km CH	72.360
Fahrten MIV	9'823'906	MIV Fz-km Ausl.	186.794
Wege MIV	13'556'990	MIV Fz-h CH	2'128.4
Wege ÖV	2'650'041	MIV Fz-h Ausl.	1'790.5

In Tabelle 14 sind die Auswirkungen einer Kordonmaut von 6 bis 8 Uhr und von 16 bis 18 Uhr auf die Wahl der Abfahrtszeit aufgeführt. Aufgrund des engen Zeitfensters im Projekt wurden keine Iterationen gerechnet, somit sind die Ergebnisse leicht überschätzt. Die tageszeitlichen, stundenfeinen Nachfragematrizen wurden für das Jahr 2000 erstellt (Vrtic et al. 2007). Daher musste auch die Beurteilung der Verschiebung der Abfahrtszeitwahl sowohl mit den Widerstandsmatrizen als auch mit den stundenfeinen Matrizen für den Zustand 2000 erfolgen. Die in der Tabelle 14 aufgeführten Wegezahlen sind für das Jahr 2000. Damit wurden dann die relativen Anteile der Spitzenstunden am Tagesverkehr errechnet und mit der Nachfragematrix 2030 für das Szenario B (Zonenmodell) multipliziert. Die Verschiebung der Wahl der Abfahrtszeit wurde für zwei Mauthöhen, 3 Franken (Szenario B1) und 4 Franken (Szenario B2), in den Spitzenstunden (6-8 Uhr und 16-18 Uhr) berechnet.

Tabelle 14 Verschiebung der Wahl der Abfahrtszeit mit Bezug auf die durch eine Zonenmaut betroffenen MIV-Wege pro Tag im Jahr 2000

Uhrzeit	Ohne Maut	3 Franken Maut 6-8 Uhr und 16-18 Uhr	4 Franken Maut 6-8 Uhr und 16-18 Uhr	Relative Ver- änderung 3 Franken	Relative Ver- änderung 4 Franken
5	36'376	45'505	51'117	+25.10%	+40.52%
6	209'235	200'103	194'491	-4.36%	-7.05%
7	268'063	264'275	251'751	-1.41%	-6.09%
8	134'886	138'673	151'197	+2.81%	+12.09%
15	146'082	168'693	180'391	+15.48%	+23.49%
16	178'475	155'863	144'165	-12.67%	-19.22%
17	228'698	224'499	210'359	-1.84%	-8.02%
18	165'257	169'452	183'592	+2.54%	+11.10%

Die Ergebnisse zeigen Veränderungen in einer plausiblen Grössenordnung. Die Verschiebung erfolgt eher hin zu der früheren als zu der späteren Zeitscheibe, da der Parameter für

eine Verfrühung kleiner als für eine Verspätung ist. Die Grösse der Verschiebung hängt auch vom Ausmass der Nutzendifferenz für die beiden betrachteten Stunden im Ist-Zustand ab.

In Tabelle 15 sind die Verschiebungen der Abfahrtszeitwahl in Bezug auf alle Wege der Stundenscheibe aufgeführt.

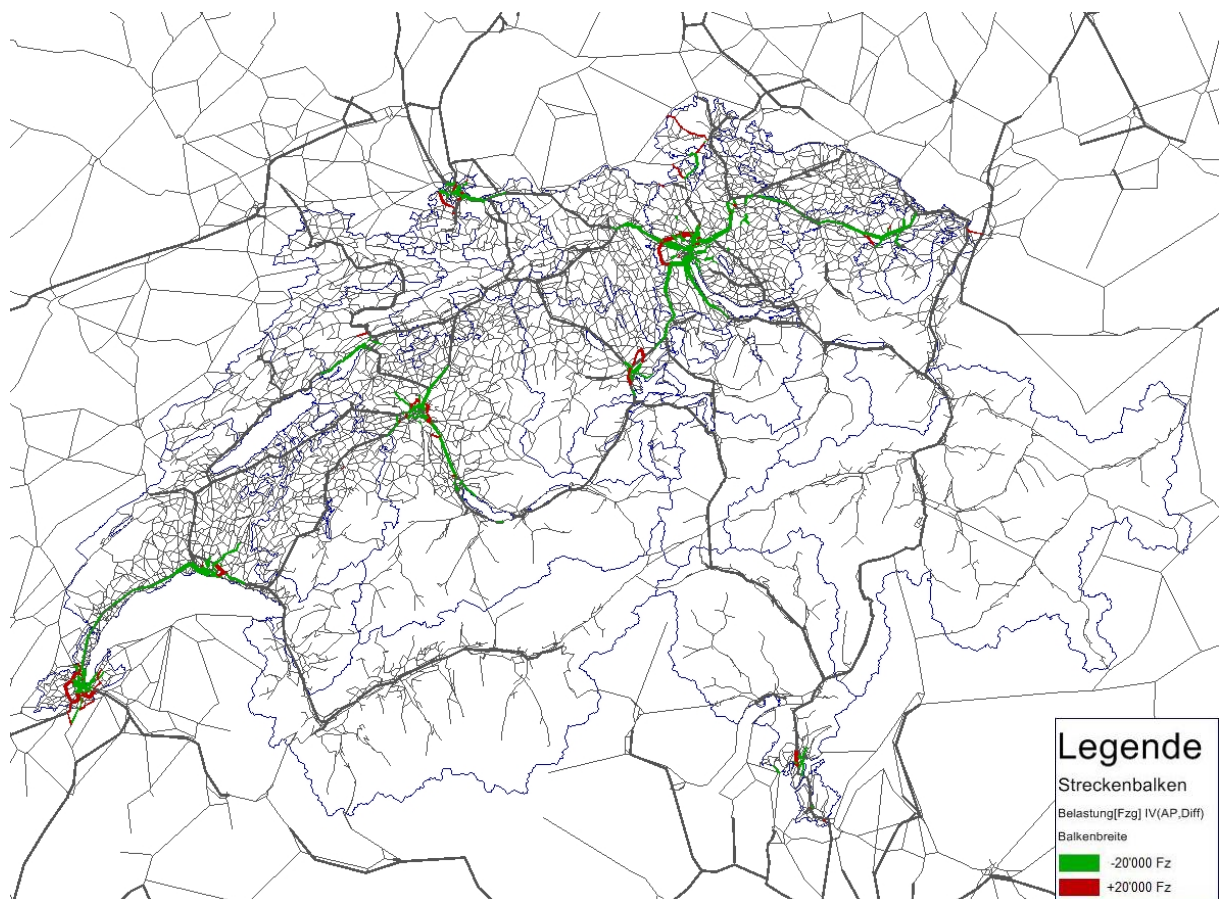
Tabelle 15 Verschiebung der Wahl der Abfahrtszeit mit Bezug auf alle MIV-Wege pro Tag im Jahr 2000

Uhrzeit	Ohne Maut	B1: 3 Franken Maut 6-8 Uhr und 16-18 Uhr	B2: 4 Franken Maut 6-8 Uhr und 16-18 Uhr	Relative Ver- änderung 3 Franken	Relative Ver- änderung 4 Franken
5	178'383	187'512	193'124	+5.12%	+8.26%
6	846'667	837'535	831'923	-1.08%	-1.74%
7	988'900	985'112	972'588	-0.38%	-1.65%
8	520'746	524'533	537'057	+0.73%	+3.13%
15	702'273	724'884	736'582	+3.22%	+4.89%
16	863'255	840'643	828'945	-2.62%	-3.97%
17	993'514	989'315	975'175	-0.42%	-1.85%
18	690'742	694'938	709'078	+0.61%	2.65%

In Abbildung 17 ist die Differenzabbildung für das MIV-Szenario B (Zonenmodell) zur MIV-Referenz dargestellt. Beim Szenario B (Zonenmodell) sind die Auswirkungen auf die Autobahnen, die radial auf die grösseren Städte (und damit Pricing-Zonen) zulaufen, klar zu erkennen. Auf diesen Strassen nimmt die Belastung ab. Bei den tangential liegenden Autobahnen, wie z.B. Nordring Zürich, ist eine Zunahme erkennbar, da die Route durch die Stadt für den Transitverkehr unattraktiver ist und die Städte daher umfahren werden.

Die räumliche Ausbreitung der Wirkung ist begrenzt und hängt vom Einzugsgebiet der Städte ab. Auf längeren Distanzen nimmt die MIV-Belastung nur dann merklich ab, wenn auf der Relation am Anfang und am Ende eine Stadt mit einer Pricing-Zone liegt, z.B. Genf-Lausanne, Bern-Thun oder Zürich-Winterthur.

Abbildung 17 MIV-Szenario B (Zonenmodell): Differenzbelastung zur Referenz



In Abbildung 18 ist der Ausschnitt Mittelland dargestellt. Auf der A1 südlich der Autobahnausfahrt Töss nimmt die Belastung um ca. 2'500 Fahrzeuge pro Tag und Richtung ab (-6% gegenüber dem Referenzfall), und auf der A1 zwischen der Ausfahrt Olten und der Verzweigung Wiggertal bleibt die Belastung gleich (-0% gegenüber dem Referenzfall). Hier zeigt sich die Wirkung der Zonenmaut auf Querschnitte mit überwiegend kürzeren MIV-Wegen im Umkreis der Pricingzonen und ihre geringe Wirkung bei Querschnitten mit längeren Wegen.

Abbildung 18 MIV-Szenario B (Zonenmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)

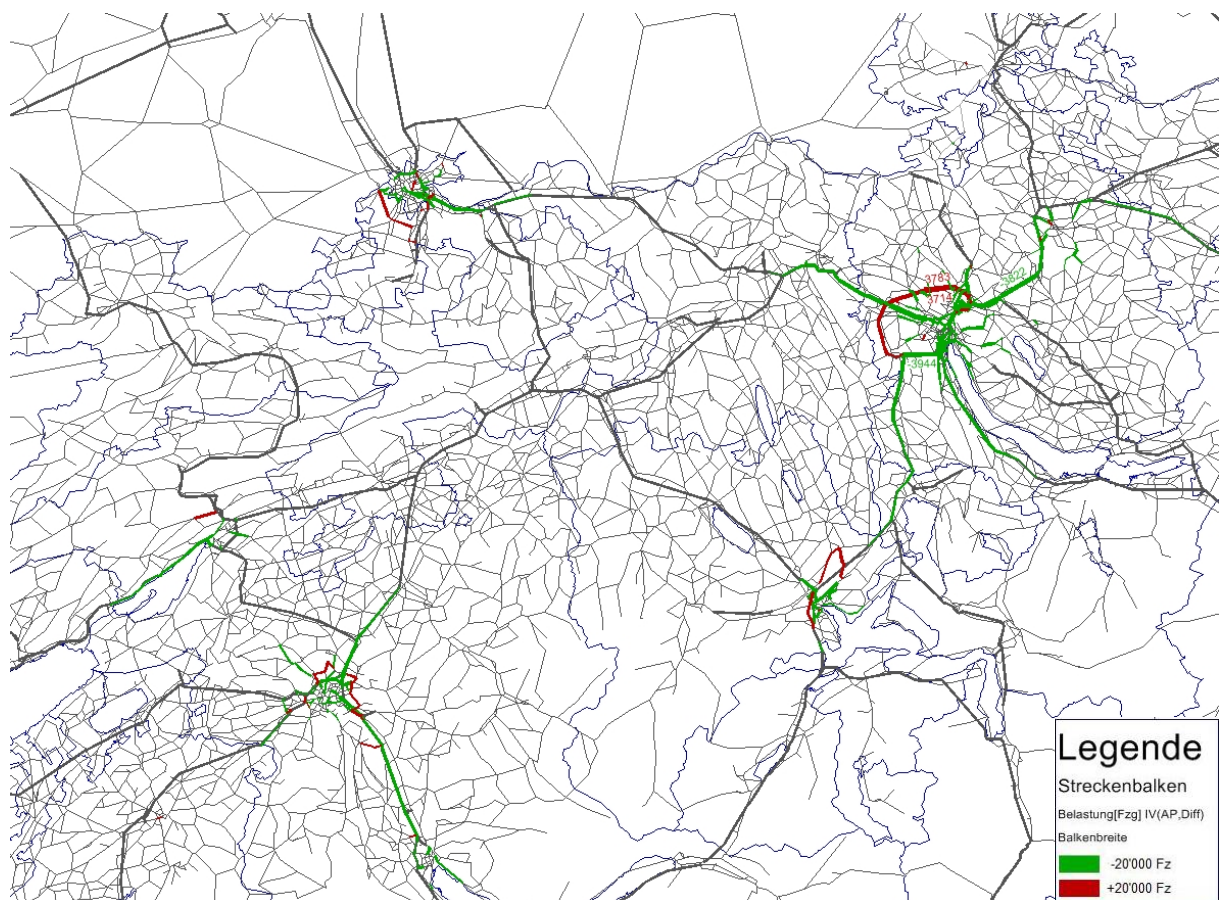
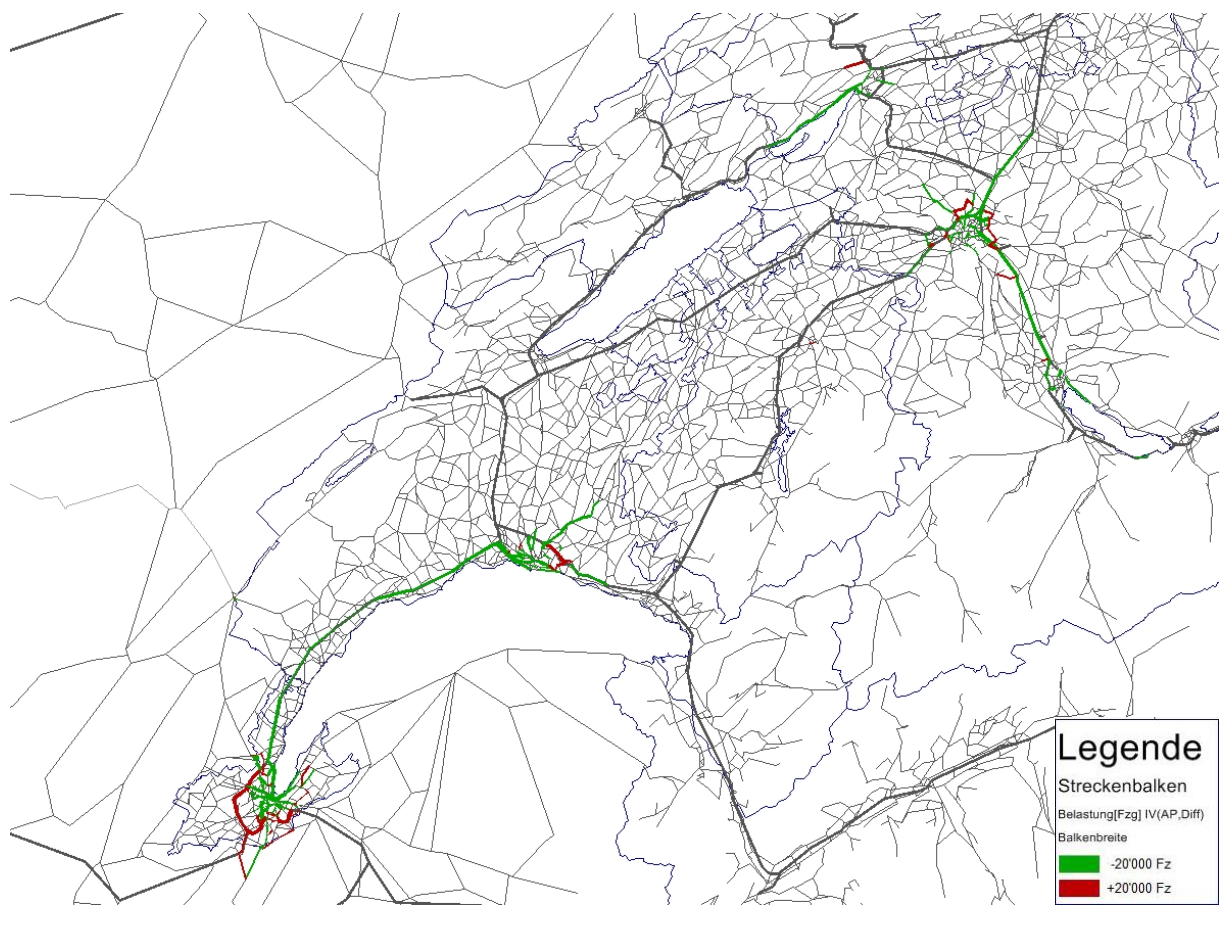


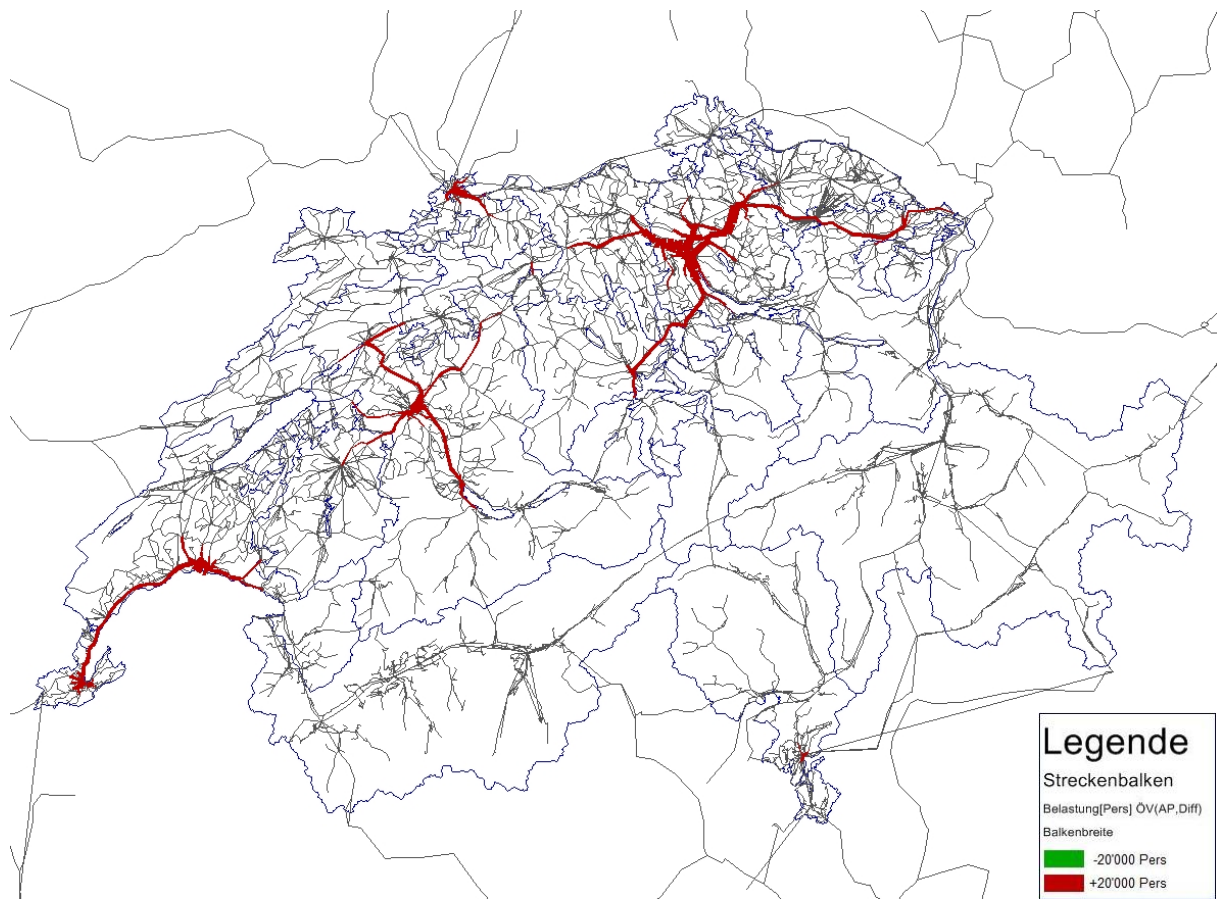
Abbildung 19 zeigt den Ausschnitt Romandie. Auf der A1 zwischen Morges und Aubonne nimmt die Belastung pro Tag und Richtung um ca. 1'150 Fahrzeuge ab (-3% gegenüber dem Referenzfall). Der Grund, warum die relative Abnahme in Morges geringer ist als in Winterthur, liegt darin, dass die ausgewählte Strecke in Winterthur näher bei der Pricing-Zone Winterthur liegt als die Strecke in Morges bei der Pricing-Zone Lausanne.

Abbildung 19 MIV-Szenario B (Zonenmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)



Beim ÖV zeigt sich das Spiegelbild von den MIV-Auswirkungen (vergleiche Abbildung 20). Im Grossraum Zürich nehmen die ÖV-Fahrten absolut betrachtet stark zu. Auch auf den Relationen Biel-Bern-Thun und Genf-Lausanne sind Zunahmen zu vermerken. Die räumliche Ausdehnung der ÖV-Zunahmen ist in Basel und Lugano geringer.

Abbildung 20 ÖV-Szenario B (Zonenmodell): Differenzbelastung zur Referenz



In Abbildung 21 ist der Ausschnitt Mittelland dargestellt. Auf der Strecke östlich des Bahnhofs Olten beträgt die Fahrgastzunahme ca. 450 Personen pro Richtung, was einer Zunahme von 1% entspricht. Auf der Strecke südwestlich des Bahnhofs Winterthur beträgt die Fahrgastzunahme 6'600 Personen pro Richtung (+12%).

Abbildung 21 ÖV-Szenario B (Zonenmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)

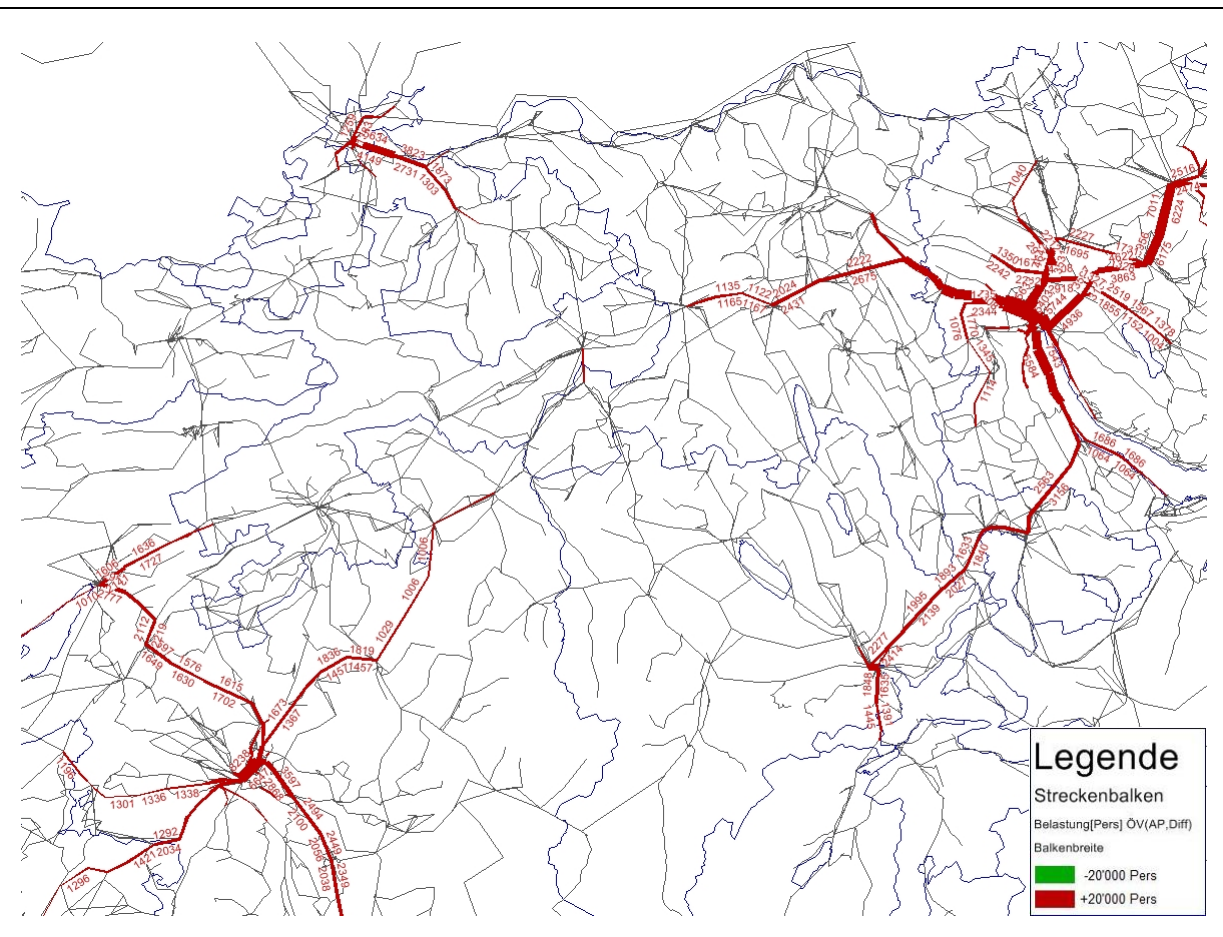
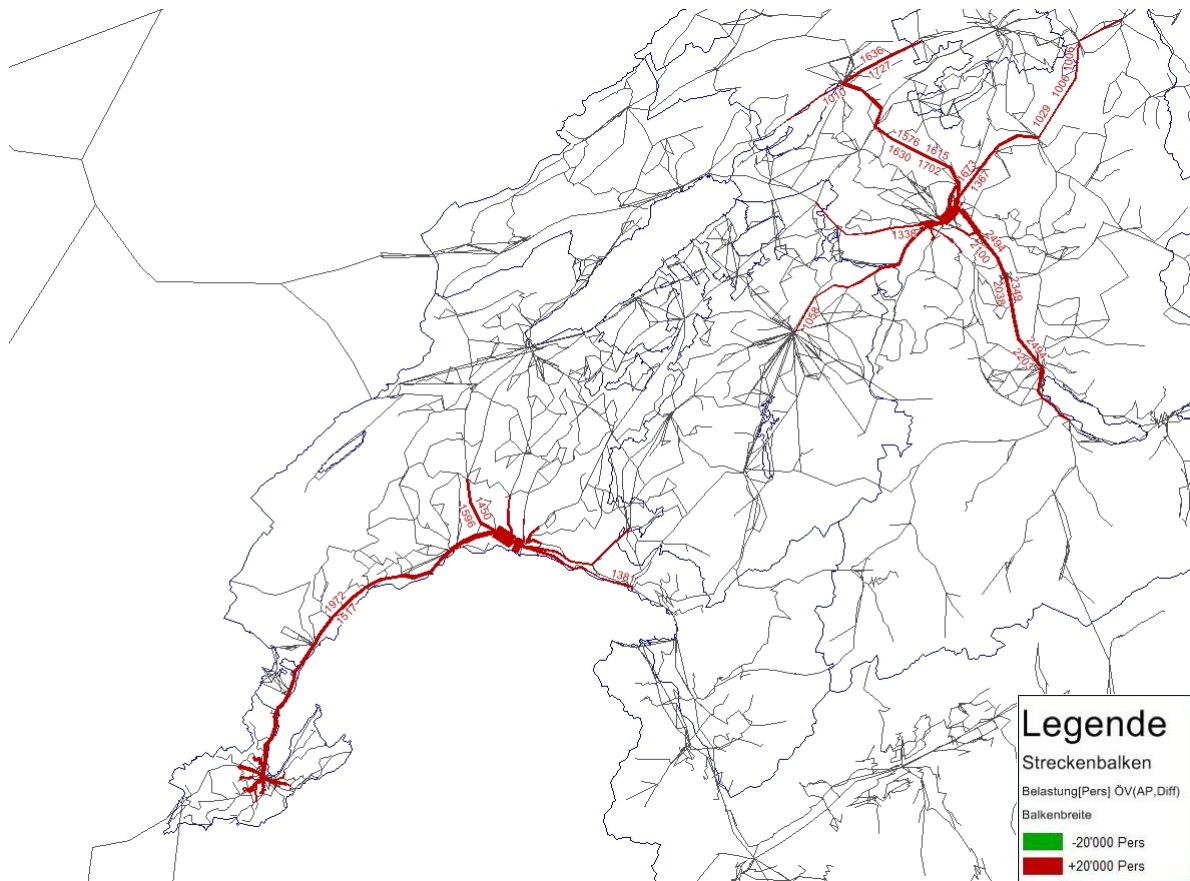


Abbildung 22 zeigt den Ausschnitt Romandie. Auf der Strecke westlich des Bahnhofs Morges steigt die Passagierzahl um 2'200 je Richtung (8% Zuwachs gegenüber dem Referenzmodell).

Abbildung 22 ÖV-Szenario B (Zonenmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)



6.3 Szenario C – Netzmodell

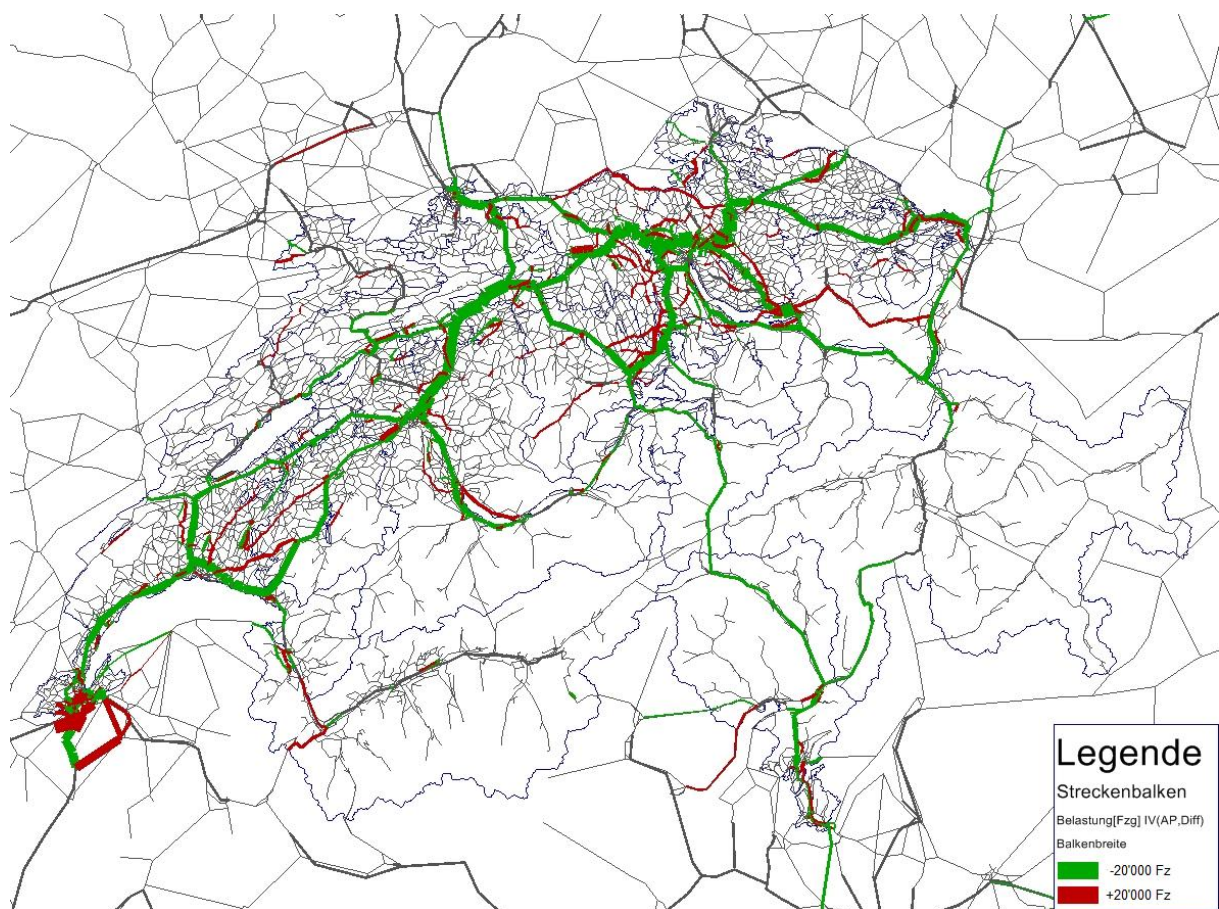
Tabelle 16 beschreibt die Charakteristiken des Szenarios C – Netzmodell, es werden ca. 60'000 Wege vom MIV auf den ÖV verlagert.

Tabelle 16 Charakteristiken des Szenarios C – Netzmodell

Eigenschaft	Wert pro Tag	Eigenschaft	Wert in Mio. pro Tag
Preis MIV P-km (in Rp.)	12.2	MIV Fz-km CH	139.953
Maut MIV P-km (in Rp.)	2.9	MIV P-km CH	193.135
Preis ÖV P-km (in Rp.)	16.0	ÖV P-km CH	71.370
Fahrten MIV	9'834'345	MIV Fz-km Ausl.	191.137
Wege MIV	13'571'396	MIV Fz-h CH	2'150.8
Wege ÖV	2'635'636	MIV Fz-h Ausl.	1'828.5

In Abbildung 23 ist die Differenzabbildung für das MIV-Szenario C (Netzmodell) zur MIV-Referenz dargestellt. Beim Szenario C (Netzmodell) ist eine markante Verringerung der MIV-Belastung auf den Autobahnen zu erkennen. Die untergeordneten Strassen, ohne Maut, werden stärker belastet. Auch sind grossräumige Umfahrvorgänge des Transitverkehrs zu erkennen. Beim Szenario C (Netzmodell) werden hauptsächlich die längeren Fahrten vom MIV zum ÖV verlagert und daher zeichnen sich Zunahmen im ÖV auf den Hauptachsen ab. Im Kanton Tessin sind absolut betrachtet nur geringe Veränderungen festzustellen.

Abbildung 23 MIV-Szenario C (Netzmodell): Differenzbelastung zur Referenz



In Abbildung 24 ist der Ausschnitt Mittelland dargestellt. Auf der A1 südlich der Autobahnausfahrt Töss nimmt die Belastung um ca. 9'100 Fahrzeuge pro Tag und Richtung ab (-21% gegenüber dem Referenzfall), und auf der A1 zwischen der Ausfahrt Olten und der Verzweigung Wiggertal nimmt die Belastung um ca. 8'000 Fahrzeuge ab (-19% gegenüber dem Referenzfall).

Abbildung 24 MIV-Szenario C (Netzmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)

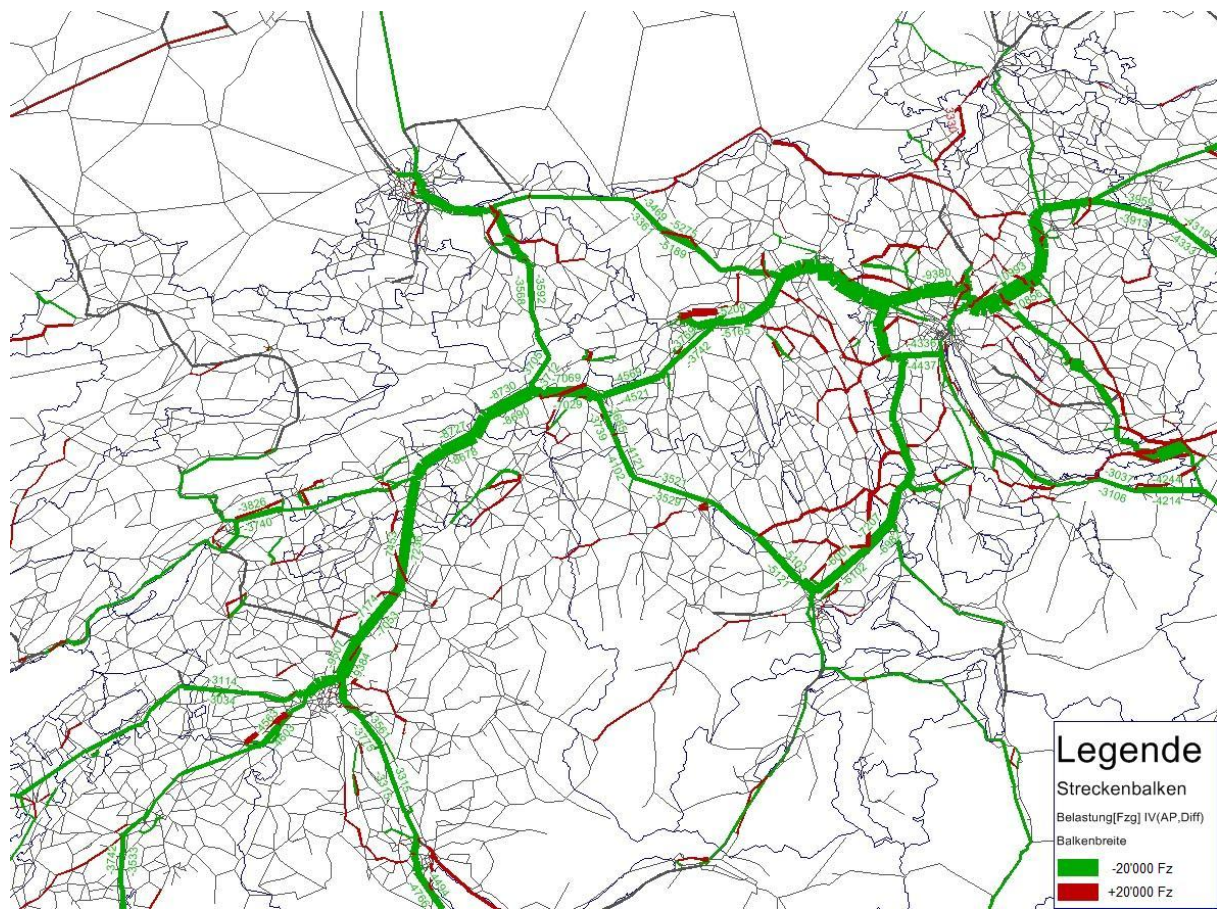
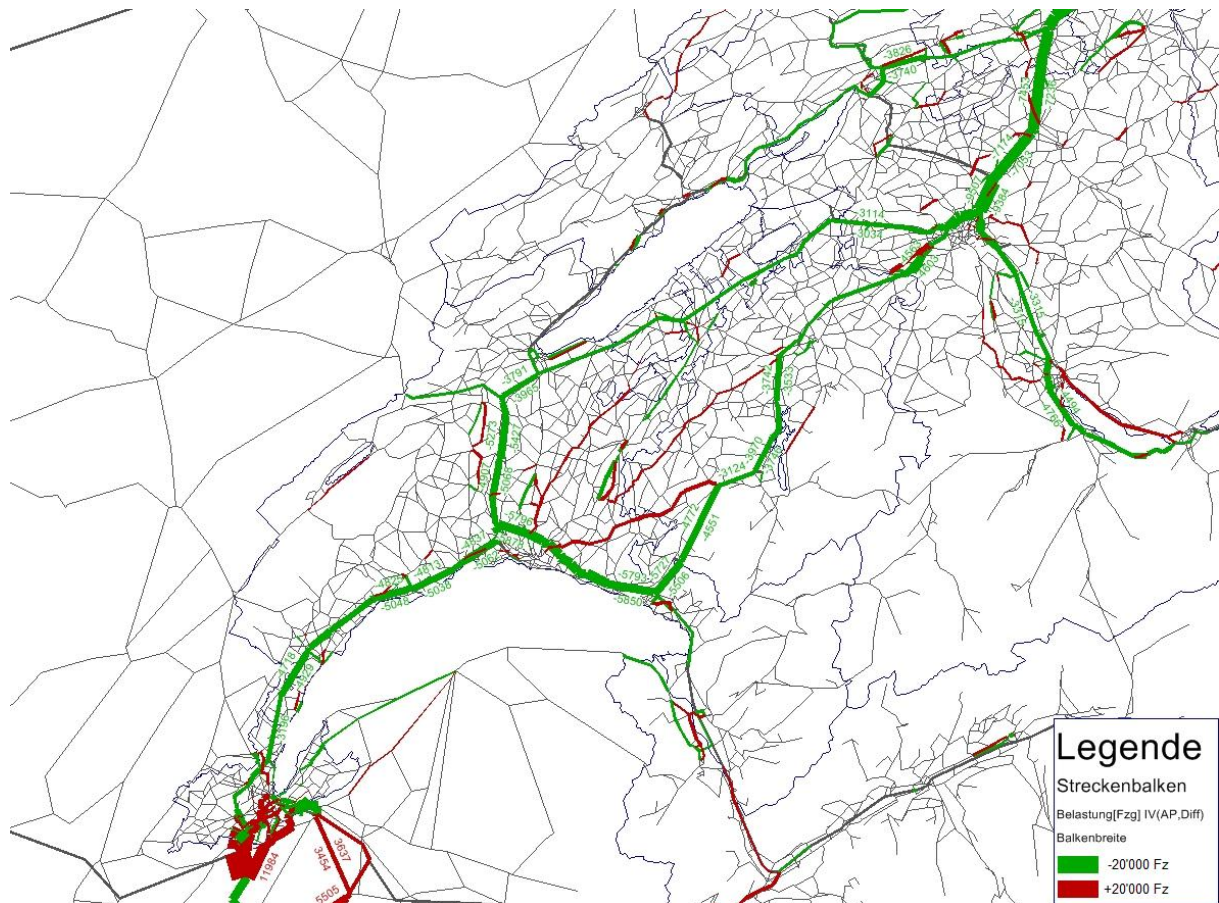


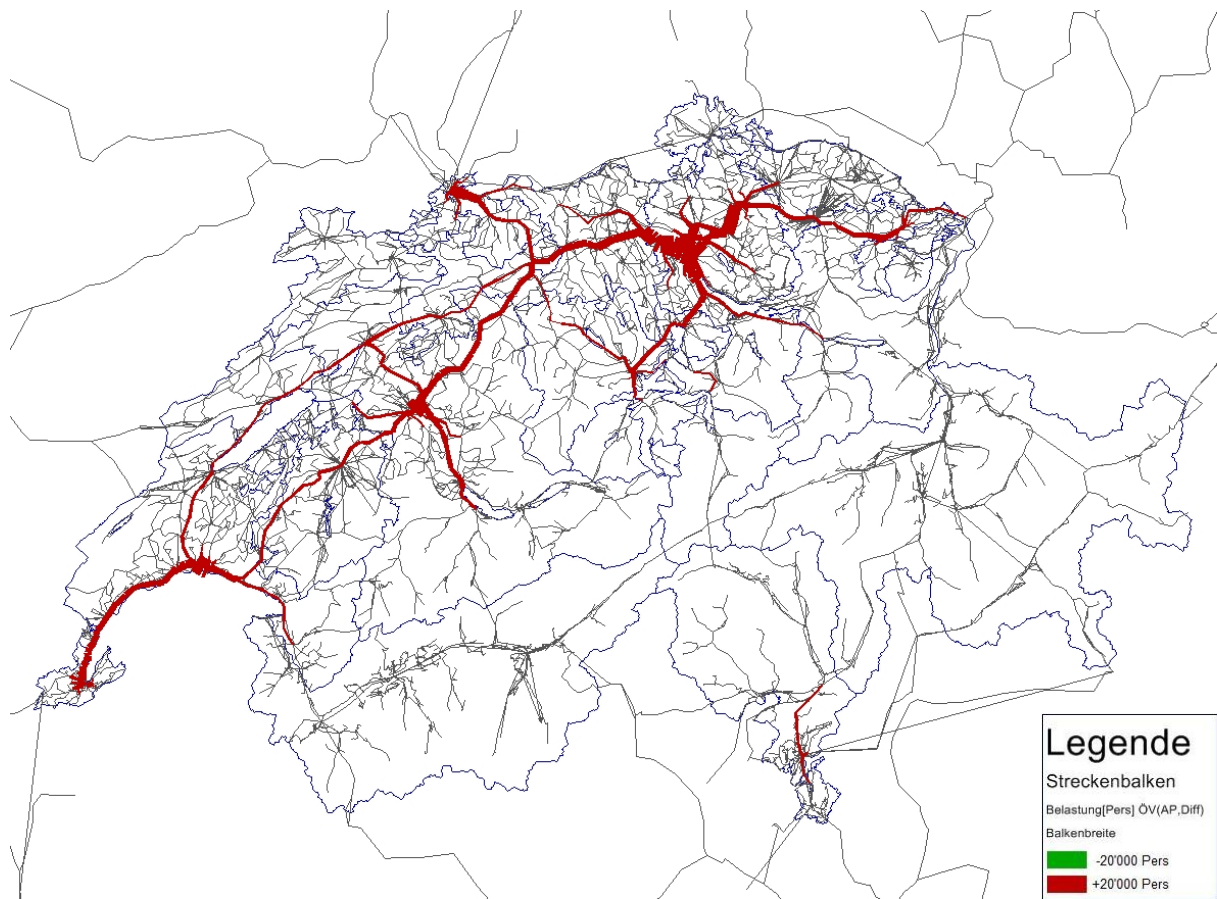
Abbildung 25 zeigt den Ausschnitt Romandie. Auf der A1 zwischen Morges und Aubonne nimmt die Belastung pro Tag und Richtung um ca. 5'000 Fahrzeuge ab (-14% gegenüber dem Referenzfall). Die relative Abnahme ist auf allen drei Vergleichsstrecken ähnlich.

Abbildung 25 MIV-Szenario C (Netzmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)



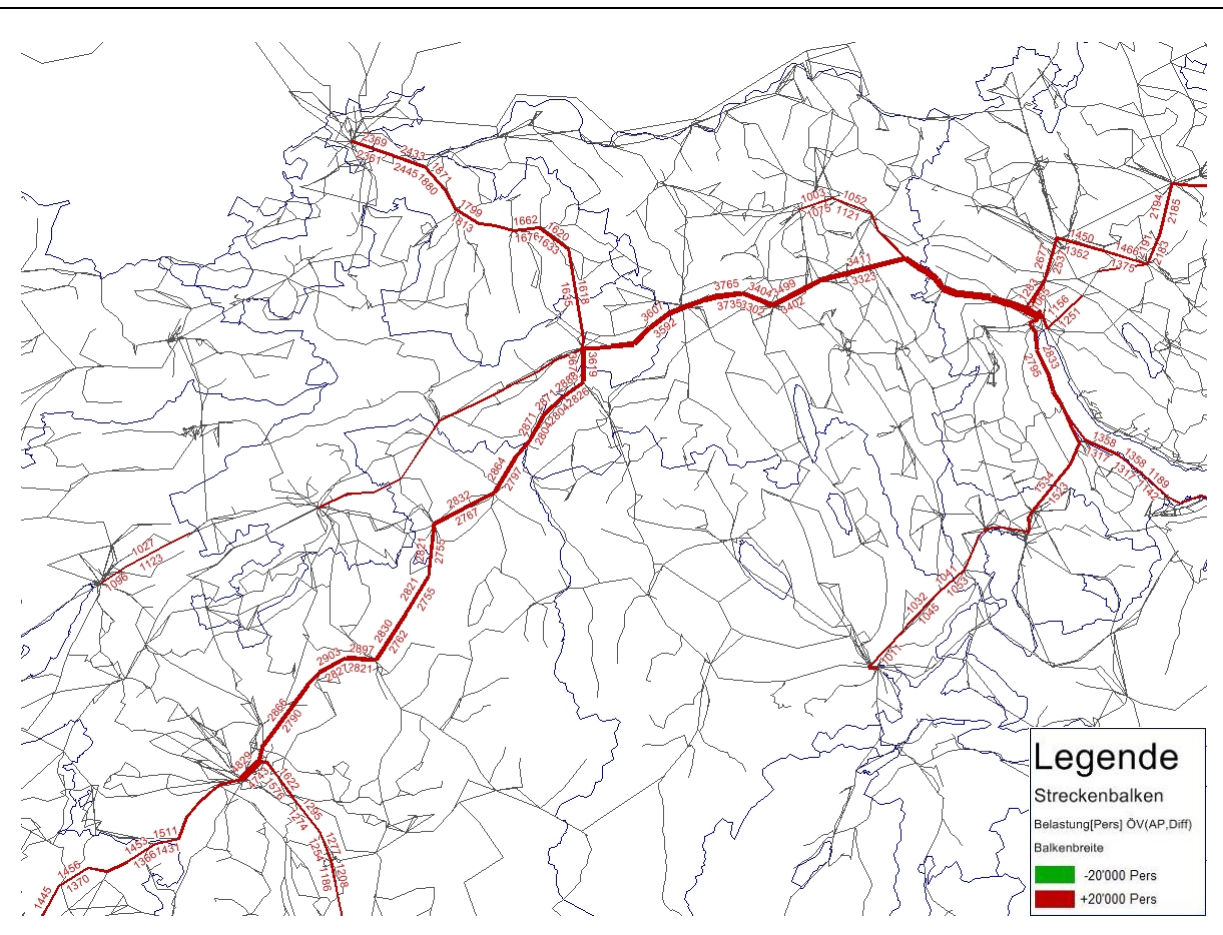
Beim Szenario C (Netzmodell) werden hauptsächlich die längeren Fahrten vom MIV zum ÖV verlagert und daher zeichnen sich Zunahmen im ÖV auf den Hauptachsen ab (siehe Abbildung 26). Im Kanton Tessin sind absolut betrachtet nur geringe Veränderungen festzustellen.

Abbildung 26 ÖV-Szenario C (Netzmodell): Differenzbelastung zur Referenz



In Abbildung 27 ist der Ausschnitt Mittelland dargestellt. Auf der Strecke östlich des Bahnhofs Olten beträgt die Fahrgastzunahme ca. 3'050 Personen pro Richtung, was einer Zunahme von 7% entspricht. Auf der Strecke südwestlich des Bahnhofs Winterthur beträgt die Fahrgastzunahme 2'200 Personen pro Richtung (+4%).

Abbildung 27 ÖV-Szenario C (Netzmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)



6.4 Szenario D – ZSZ-Modell

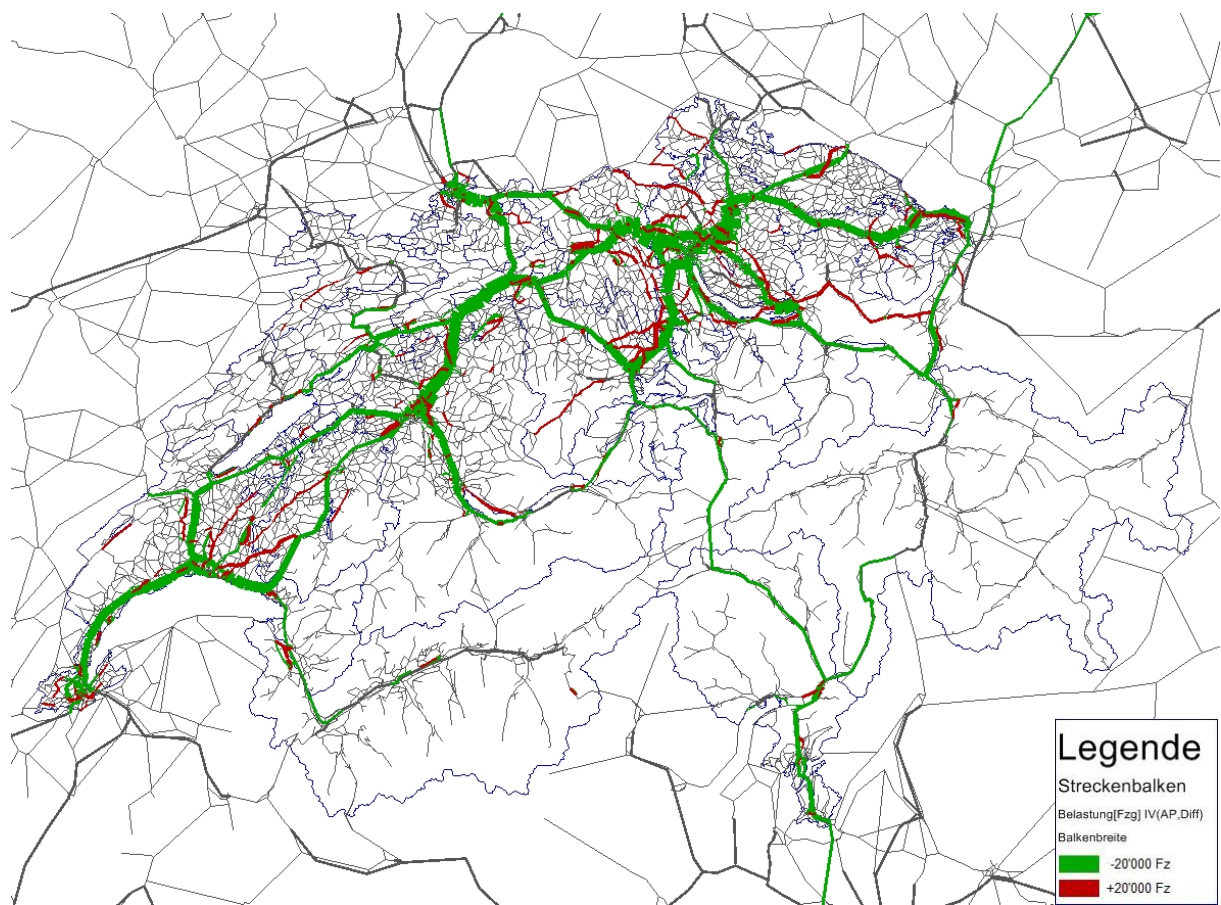
Tabelle 17 beschreibt die Charakteristiken des Szenarios D. Hier werden rund 135'000 MIV-Wege auf den ÖV verlagert.

Tabelle 17 Charakteristiken des Szenarios D – ZSZ-Modell

Eigenschaft	Wert pro Tag	Eigenschaft	Wert in Mio. pro Tag
Preis MIV P-km (in Rp.)	12.2	MIV Fz-km CH	137.313
Maut MIV P-km (in Rp.)	2.9+217	MIV P-km CH	189.492
Preis ÖV P-km (in Rp.)	16.0	ÖV P-km CH	76.288
Fahrten MIV	9'779'065	MIV Fz-km Ausl.	190.187
Wege MIV	13'495'110	MIV Fz-h CH	2'088.0
Wege ÖV	2'712'197	MIV Fz-h Ausl.	1'818.3

In Abbildung 29 ist die Differenzabbildung für das MIV-Szenario D (ZSZ-Modell) zur MIV-Referenz dargestellt. Im Szenario D (ZSZ-Modell) überlagern sich die Effekte aus Szenario B (Zonenmodell) und Szenario C (Netzmodell). Dabei sind die Entlastungen im Bereich der Grossstädte grösser als in den voran gegangenen Szenarien. Die Verkehrsverlagerung vom bemauteuten Netz auf das untergeordnete Netz ist etwa im gleichen Ausmass wie im Szenario C (Netzmodell) vorhanden.

Abbildung 29 MIV-Szenario D (ZSZ-Modell): Differenzbelastung zur Referenz



In Abbildung 30 ist der Ausschnitt Mittelland dargestellt. Auf der A1 südlich der Autobahnausfahrt Töss nimmt die Belastung um ca. 12'400 Fahrzeuge pro Tag und Richtung ab (-29% gegenüber dem Referenzfall), und auf der A1 zwischen der Ausfahrt Olten und der Verzweigung Wiggertal nimmt die Belastung um ca. 8'600 Fahrzeuge ab (-20% gegenüber dem Referenzfall).

Abbildung 30 MIV-Szenario D (ZSZ-Modell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)

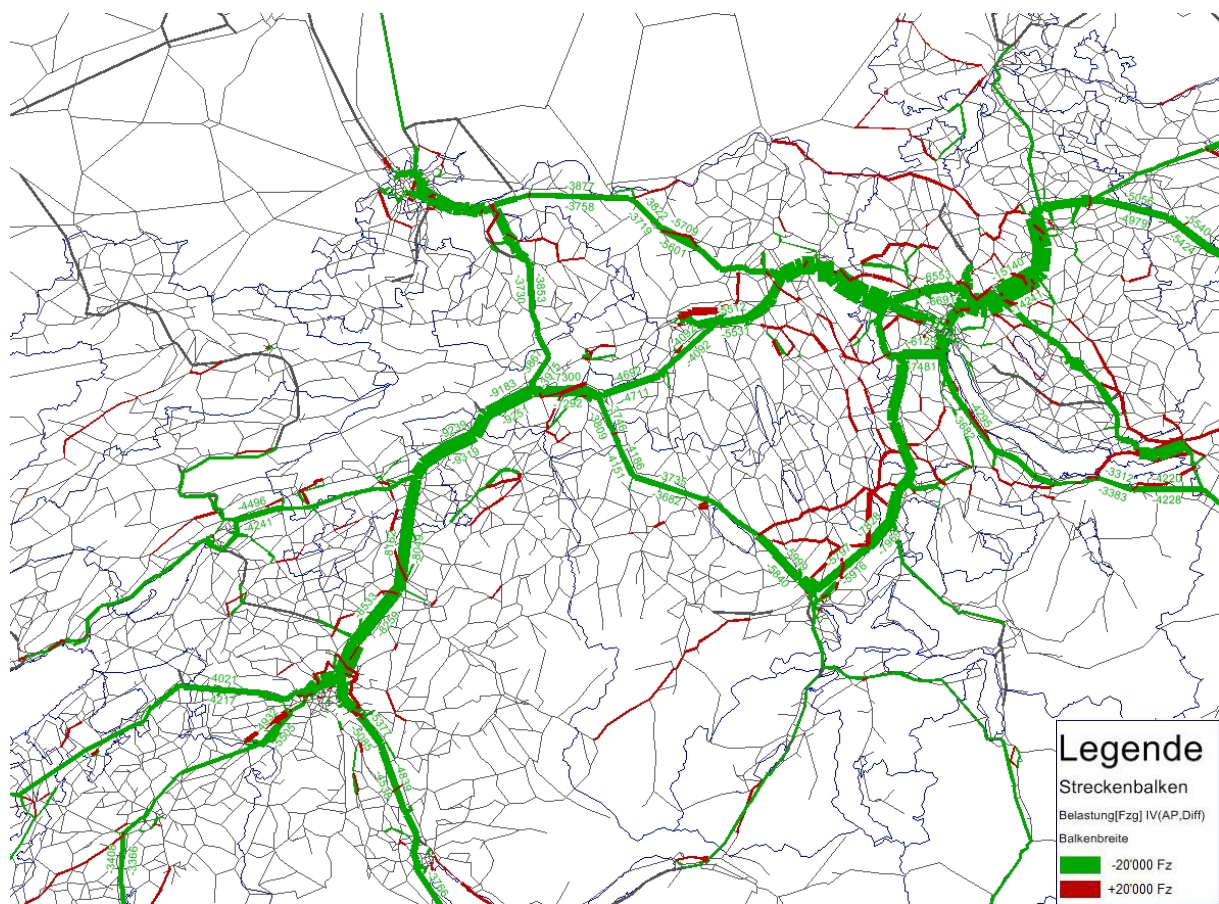
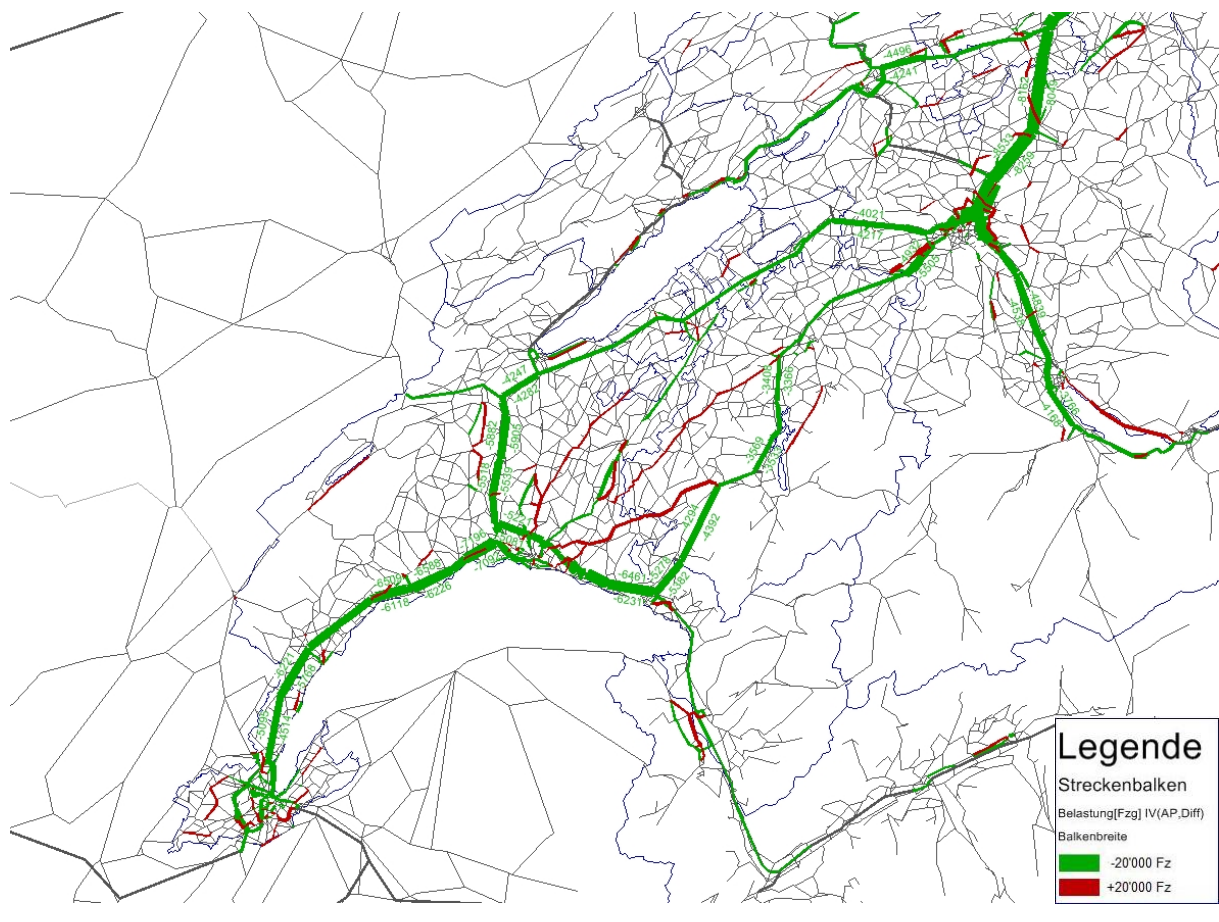


Abbildung 31 zeigt den Ausschnitt Romandie. Auf der A1 zwischen Morges und Aubonne nimmt die Belastung pro Tag und Richtung um ca. 7'500 Fahrzeuge ab (-21% gegenüber dem Referenzfall).

Abbildung 31 MIV-Szenario D (ZSZ-Modell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)



In Abbildung 32 ist die Differenzabbildung für das ÖV-Szenario D (ZSZ-Modell) zur ÖV-Referenz dargestellt. Die Belastungszunahme im ÖV erstreckt sich auf alle Hauptlinien insbesondere um die Pricing-Zonen herum.

Abbildung 32 ÖV-Szenario D (ZSZ-Modell): Differenzbelastung zur Referenz

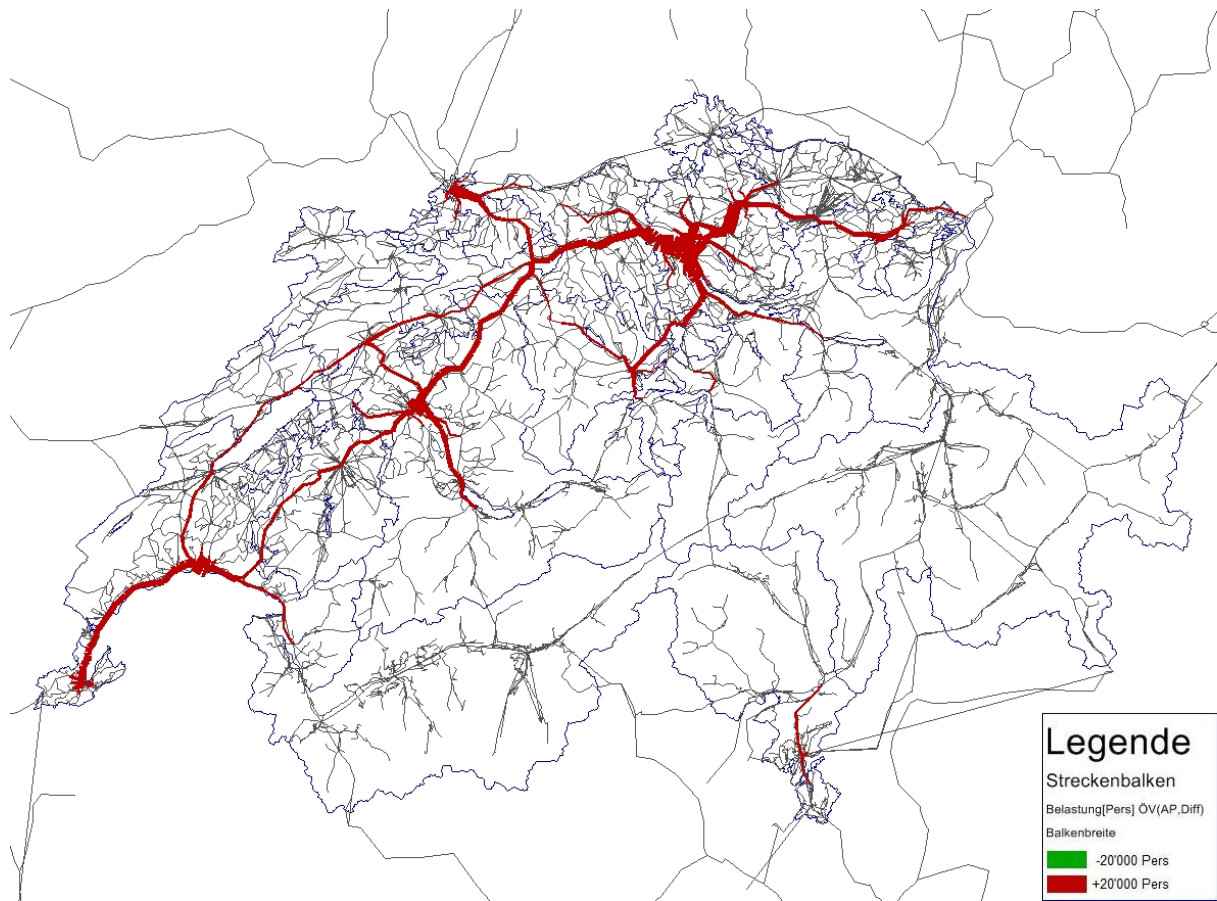
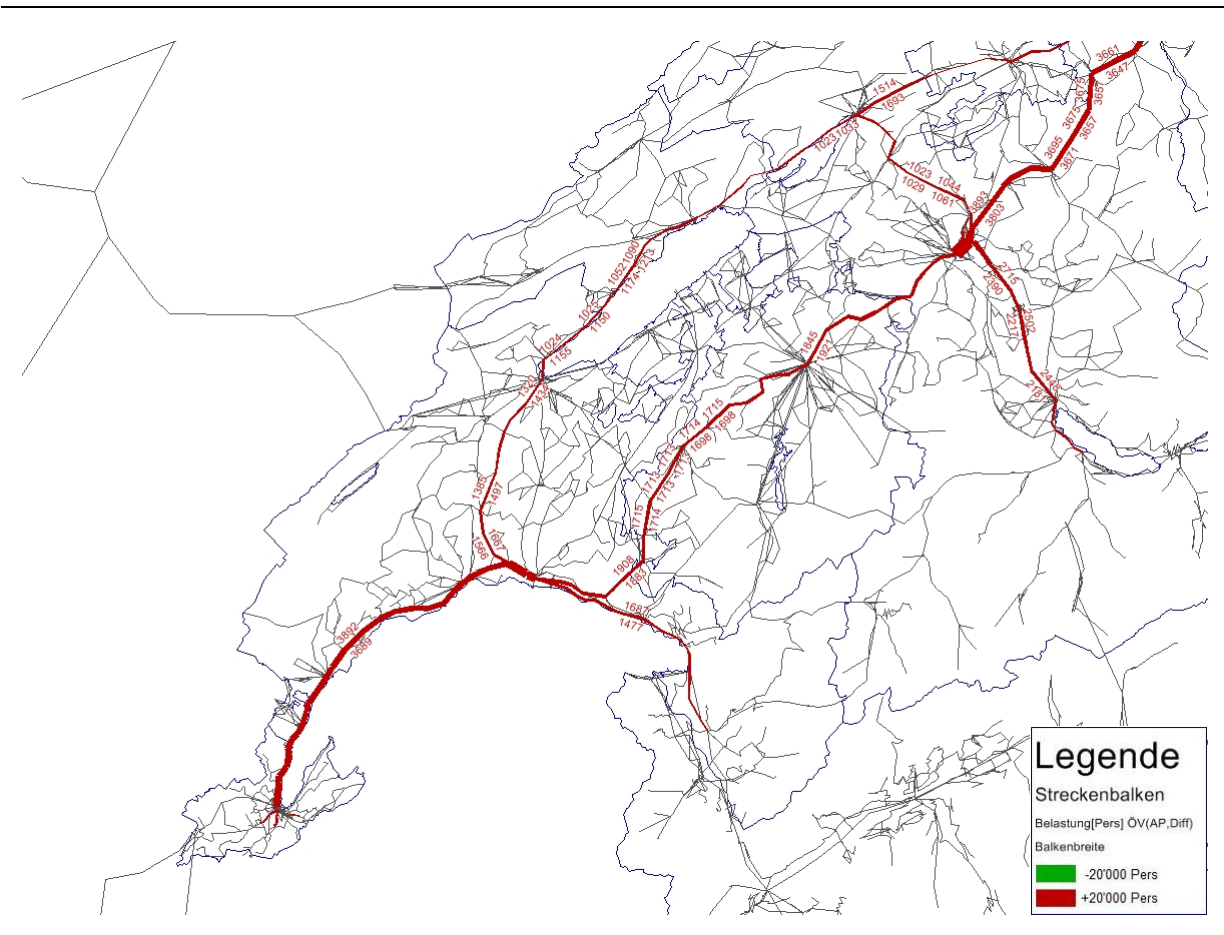


Abbildung 34 zeigt den Ausschnitt Romandie. Auf der Strecke westlich des Bahnhofs Morges steigt die Passagierzahl um 4'550 je Richtung (16% Zuwachs gegenüber dem Referenzmodell).

Abbildung 34 ÖV-Szenario D (ZSZ-Modell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)



6.5 Szenario E – Gebietsmodell mit Km-Abgabe

Bei der Berechnung der Verkehrsmittelwahl wurden bei den Szenarien E1 und E2, im Gegensatz zu den anderen Szenarien, die Aussen- und Transitwege im MIV und ÖV nicht mitgerechnet, sondern aus den Referenzmodellen übernommen. Dies ist notwendig, da hier eine starke Reduktion des Benzinpreises (-30 Rappen pro Liter) angenommen wird und nicht abgeschätzt werden kann, welcher Anteil der Fahrten in den verschiedenen Relationen des Aussen- und Transitverkehrs diese Reduktion nutzen kann.

6.5.1 Szenario E1 – Gebietsmodell mit Km-Abgabe

Tabelle 18 beschreibt die Charakteristiken des Szenarios E1 (Gebietsmodell). Es werden mehr als 100'000 MIV-Wege auf den ÖV verlagert. Diese grosse Zahl von Wechslern ist, obwohl die variablen MIV-Preise nur sehr mässig ansteigen, darauf zurückzuführen, dass der Parameter für die Maut grösser ist als der Parameter für den Benzinpreis.

Tabelle 18 Charakteristiken des Szenarios E1 – Gebietsmodell mit km-Abgabe

Eigenschaft	Wert pro Tag	Eigenschaft	Wert in Mio. pro Tag
Preis MIV P-km (in Rp.)	11.0	MIV Fz-km CH	139.562
Maut MIV P-km (in Rp.)	2.9	MIV P-km CH	192.600
Preis ÖV P-km (in Rp.)	16.0	ÖV P-km CH	72.116
Fahrten MIV	9'799'232	MIV Fz-km Ausl.	190.192
Wege MIV	13'522'940	MIV Fz-h CH	2'098.8
Wege ÖV	2'683'949	MIV Fz-h Ausl.	1'818.3

In Abbildung 35 ist die Differenzabbildung für das MIV-Szenario E1 (Gebietsmodell) zur MIV-Referenz dargestellt. Beim Szenario E1 (Gebietsmodell), wo eine distanzabhängige Maut unabhängig vom benutzten Strassennetz vorgesehen ist, sind die Entlastungen räumlich sehr ähnlich verteilt. Natürlich sind die Abnahmen auf den Autobahnen absolut am grössten, da dort die höchsten Belastungen vorkommen. Kleinräumig, wie z.B. entlang des Unter- rheins, weichen die Automobilisten auf die deutsche Seite aus, da dort keine Maut erhoben wird.

Abbildung 35 MIV-Szenario E1 (Gebietsmodell mit km Abgabe): Differenzbelastung zur Referenz

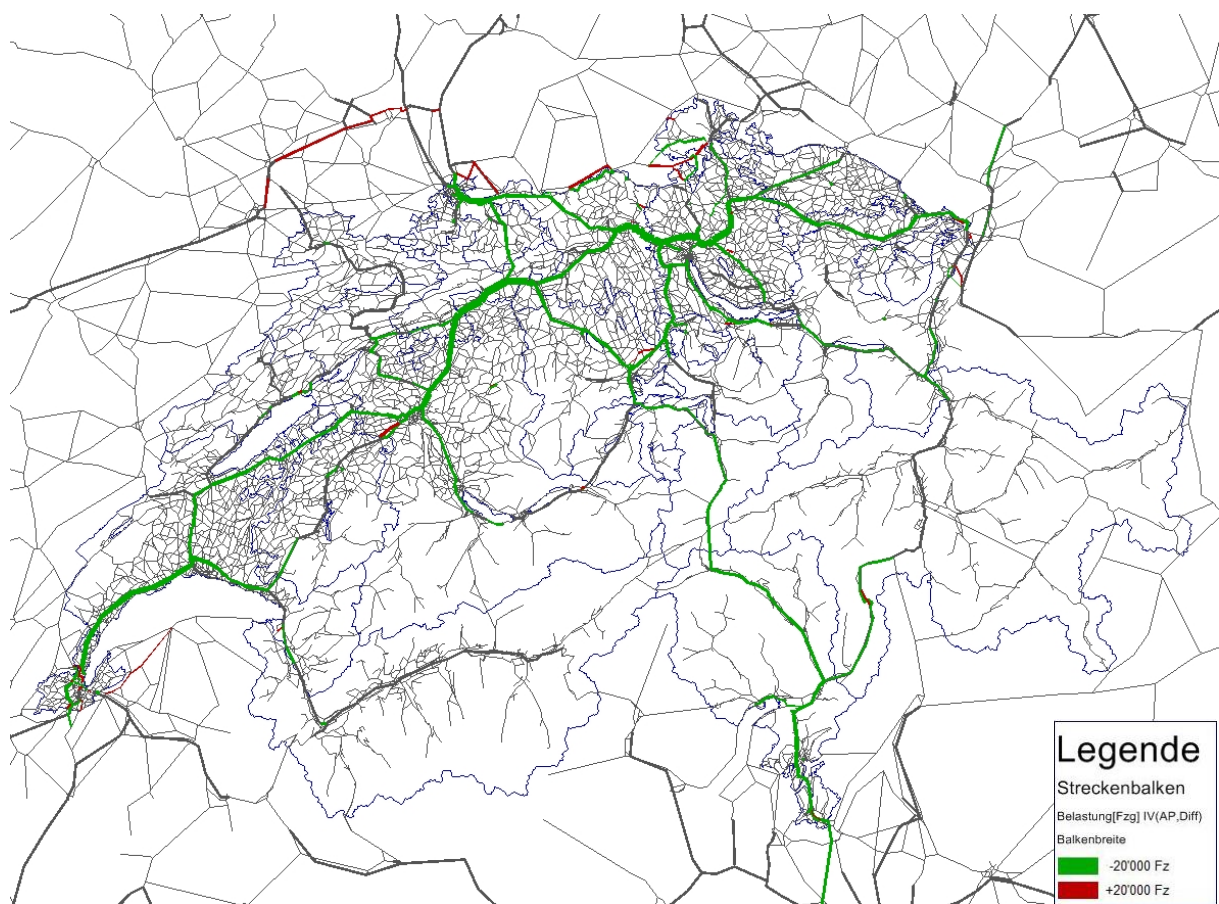
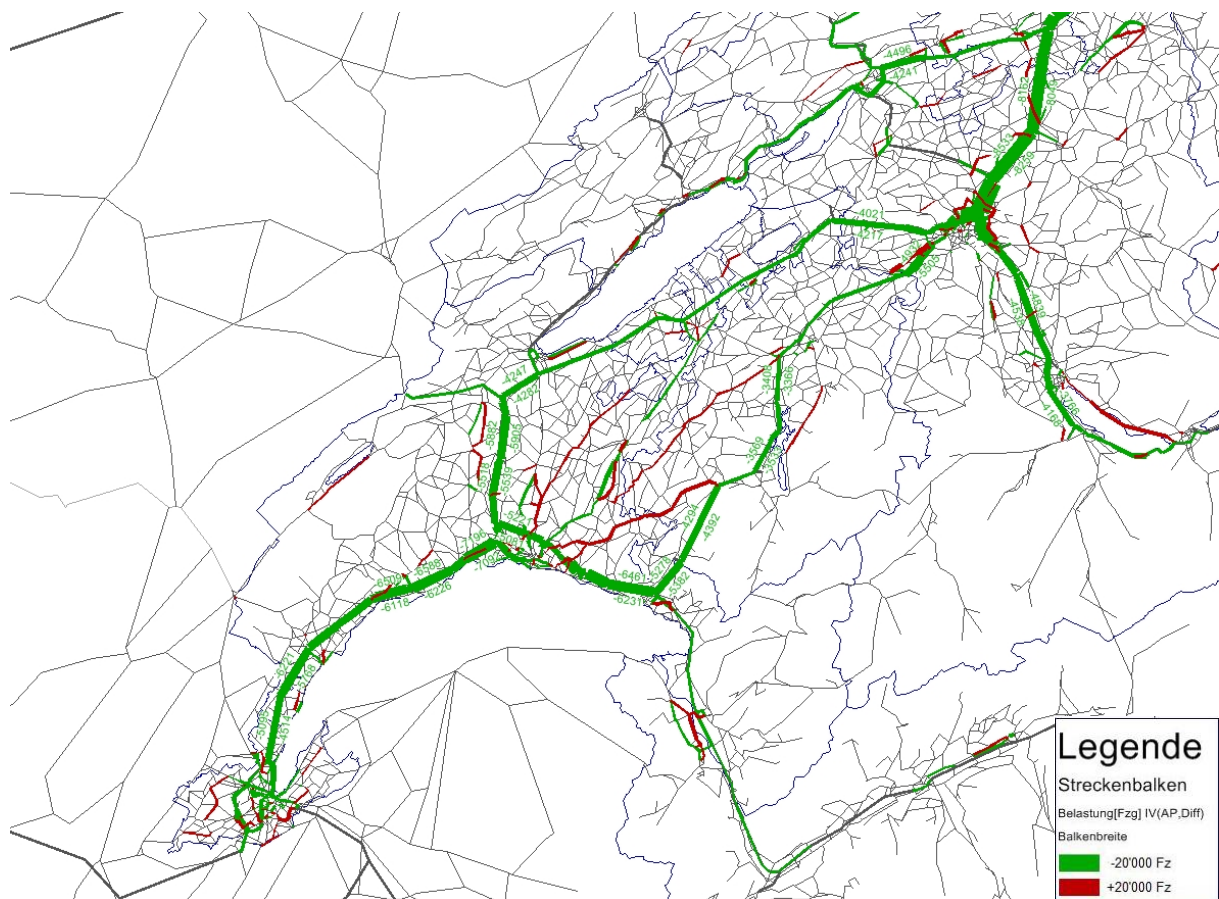


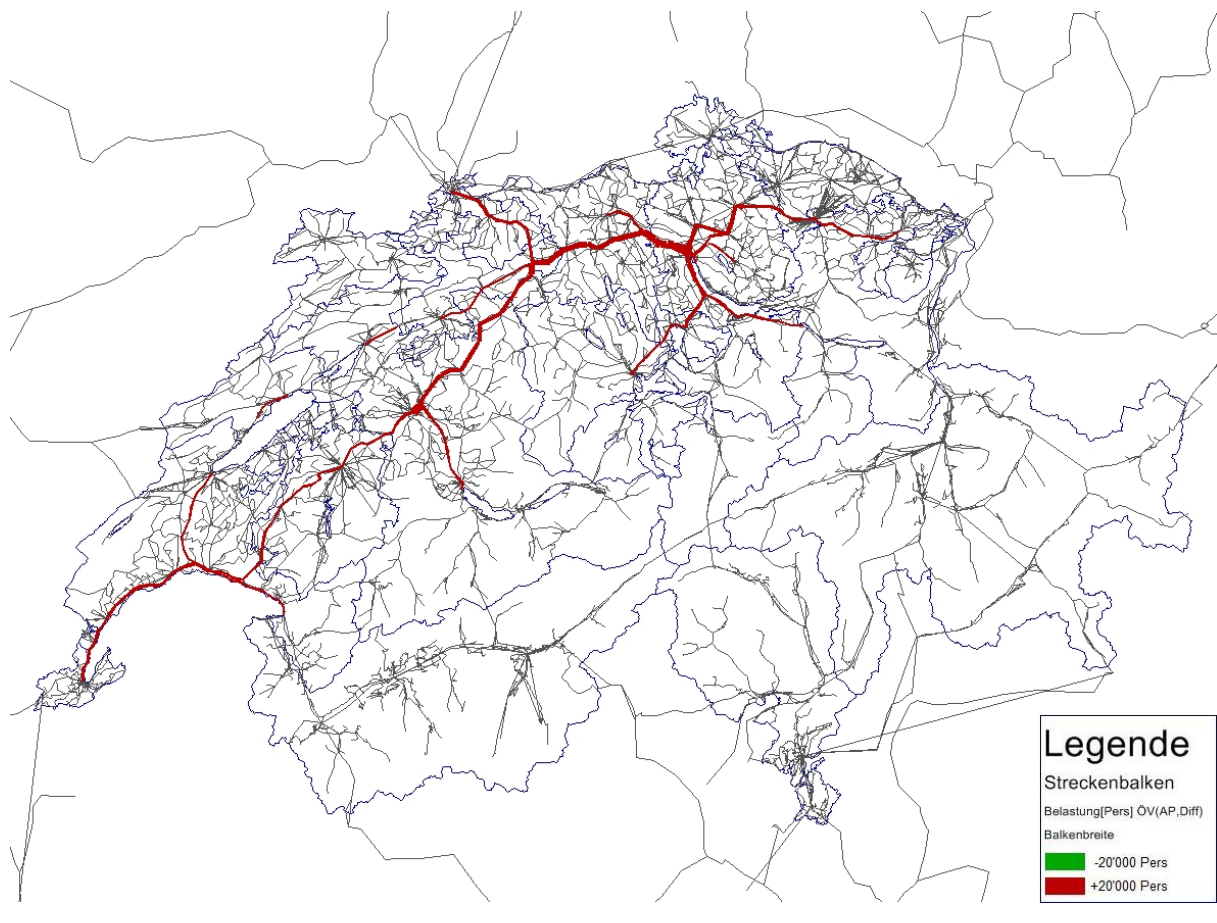
Abbildung 37 zeigt den Ausschnitt Romandie. Auf der A1 zwischen Morges und Aubonne nimmt die Belastung pro Tag und Richtung um ca. 3'400 Fahrzeuge ab (-10% gegenüber dem Referenzfall).

Abbildung 37 MIV-Szenario E1 (Gebietsmodell mit km-Abgabe): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)



In Abbildung 38 ist die Differenzabbildung für das ÖV-Szenario E1 zur ÖV-Referenz dargestellt. Beim ÖV sind die Belastungszunahmen auf die Ost-West-Verbindung St. Gallen-Zürich-Bern-Lausanne-Genf beschränkt. Auch Richtung Basel und Luzern sind Zunahmen zu beobachten.

Abbildung 38 ÖV-Szenario E1(Gebietsmodell mit km-Abgabe): Differenzbelastung zur Referenz



In Abbildung 39 ist der Ausschnitt Mittelland dargestellt. Auf der Strecke östlich des Bahnhofs Olten beträgt die Fahrgastzunahme ca. 3'300 Personen pro Richtung, was einer Zunahme von 8% entspricht. Auf der Strecke südwestlich des Bahnhofs Winterthur beträgt die Fahrgastzunahme 3'150 Personen pro Richtung (+6%).

Abbildung 39 ÖV-Szenario E1 (Gebietsmodell mit km-Abgabe): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)

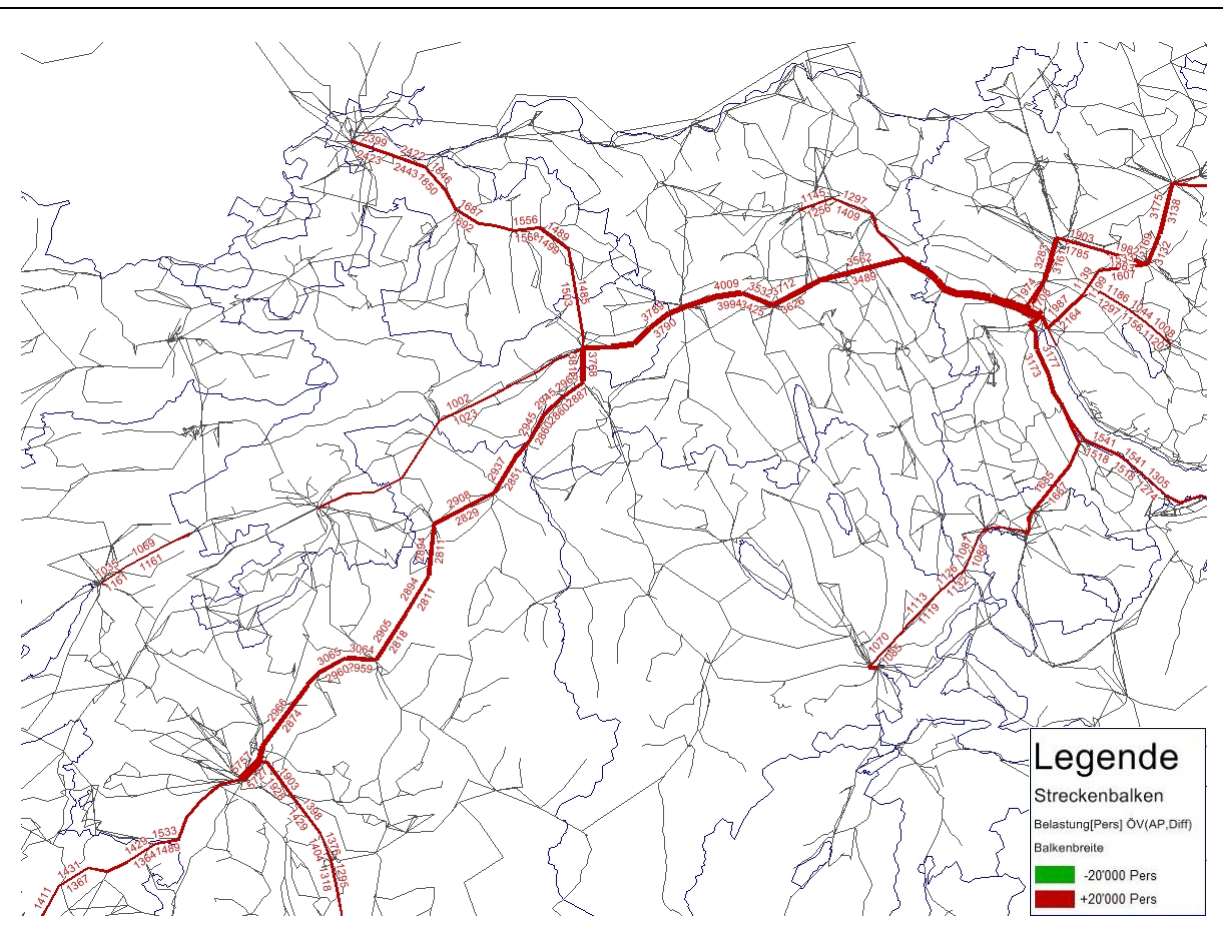
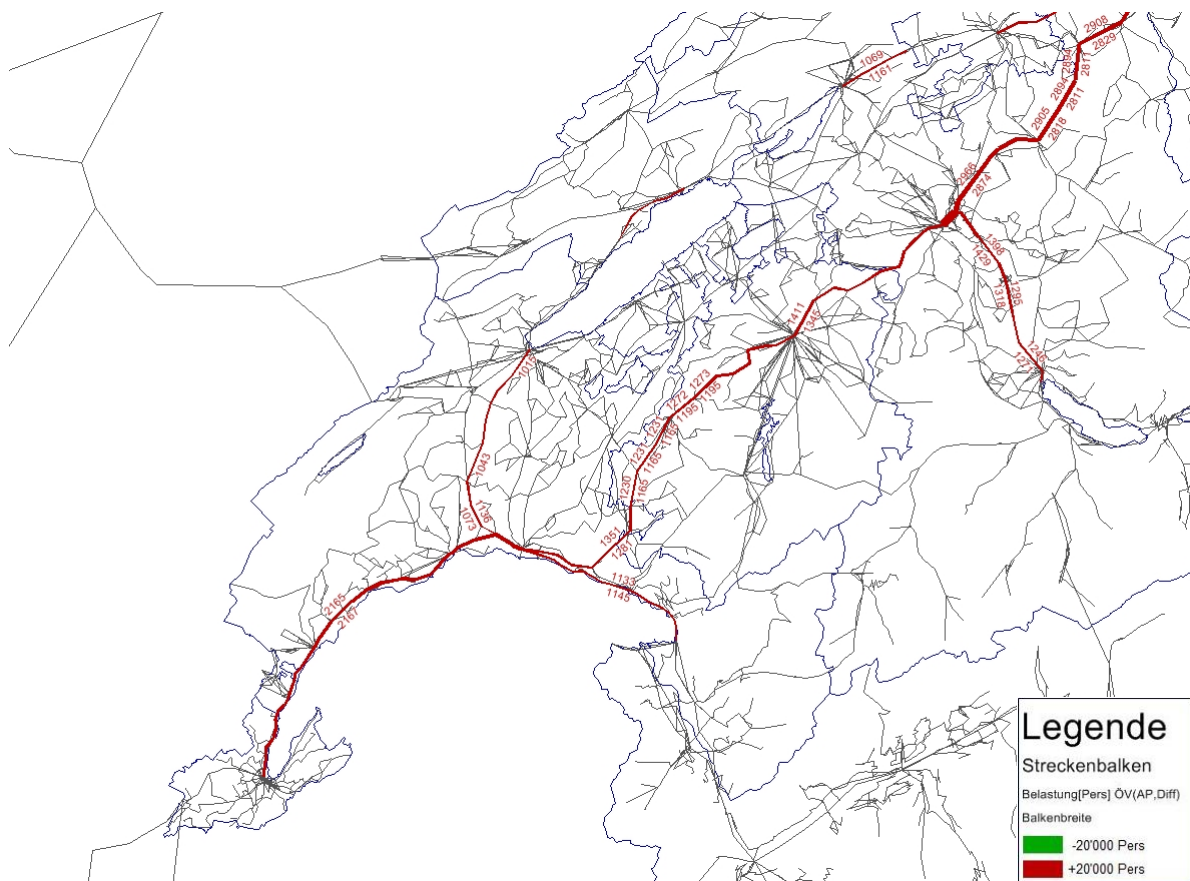


Abbildung 40 zeigt den Ausschnitt Romandie. Auf der Strecke westlich des Bahnhofs Morges steigt die Passagierzahl um 2'250 je Richtung (8% Zuwachs gegenüber dem Referenzmodell).

Abbildung 40 ÖV-Szenario E1 (Gebietsmodell mit km-Abgabe): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)



6.5.2 Szenario E2 – Gebietsmodell mit Km-Abgabe

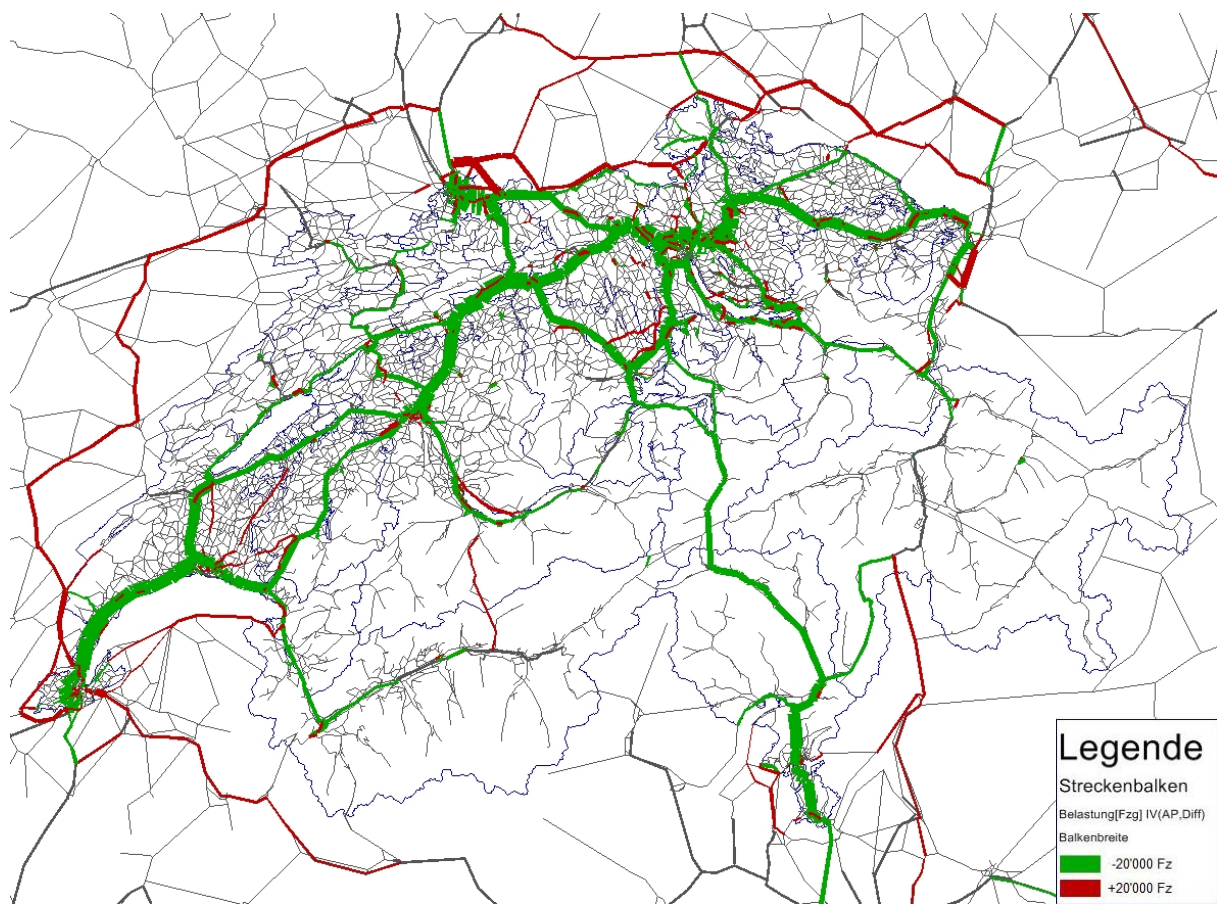
Tabelle 19 beschreibt die Charakteristiken des Szenarios E2. Hier werden mehr als 200'000 Wege vom MIV auf den ÖV verlagert. Man muss aber beachten, dass im Szenario E2 (Gebietsmodell mit km-Abgabe) auch der ÖV-Preis massiv erhöht wurde.

Tabelle 19 Charakteristiken des Szenarios E2 – Gebietsmodell mit km-Abgabe

Eigenschaft	Wert pro Tag	Eigenschaft	Wert in Mio. pro Tag
Preis MIV P-km (in Rp.)	11.0	MIV Fz-km CH	130.702
Maut MIV P-km (in Rp.)	10.8	MIV P-km CH	180.369
Preis ÖV P-km (in Rp.)	24.4	ÖV P-km CH	75.112
Fahrten MIV	9'712'191	MIV Fz-km Ausl.	196.262
Wege MIV	13'402'824	MIV Fz-h CH	2'029.9
Wege ÖV	2'802'909	MIV Fz-h Ausl.	1'888.0

In Abbildung 41 ist die Differenzabbildung für das MIV-Szenario E2 (Gebietsmodell) zur MIV-Referenz dargestellt. Beim Szenario E2 (Gebietsmodell) ergeben sich massive Belastungsabnahmen auf den Hauptverkehrsstrassen. Auch ist die Distanzsensibilität der Automobilisten höher und daher werden vermehrt distanzkürzere Routen im untergeordneten Netz verwendet. Der Transitverkehr durch die Schweiz nimmt grossräumige Umwege in Kauf und umfährt die Schweiz bzw. die Aussenverkehre (Quelle oder Ziel in der Schweiz) routen einen Grossteil der Wegstrecke im Ausland.

Abbildung 41 MIV-Szenario E2 (Gebietsmodell): Differenzbelastung zur Referenz



In Abbildung 42 ist der Ausschnitt Mittelland dargestellt. Auf der A1 südlich der Autobahnausfahrt Töss nimmt die Belastung um ca. 10'100 Fahrzeuge pro Tag und Richtung ab (-23% gegenüber dem Referenzfall), und auf der A1 zwischen der Ausfahrt Olten und der Verzweigung Wiggertal nimmt die Belastung um ca. 13'200 Fahrzeuge pro Tag und Richtung ab (-31% gegenüber dem Referenzfall).

Abbildung 42 MIV-Szenario E2 (Gebietsmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)

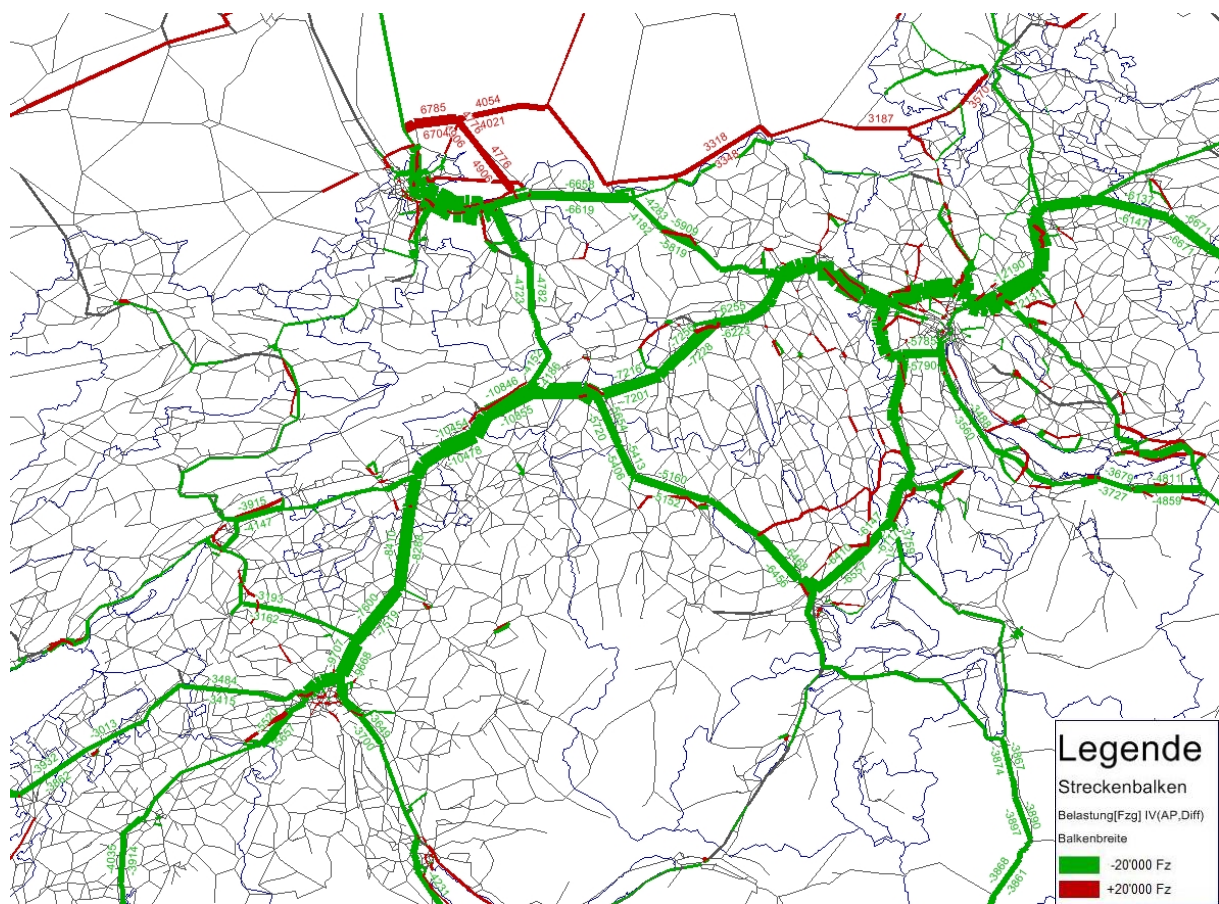
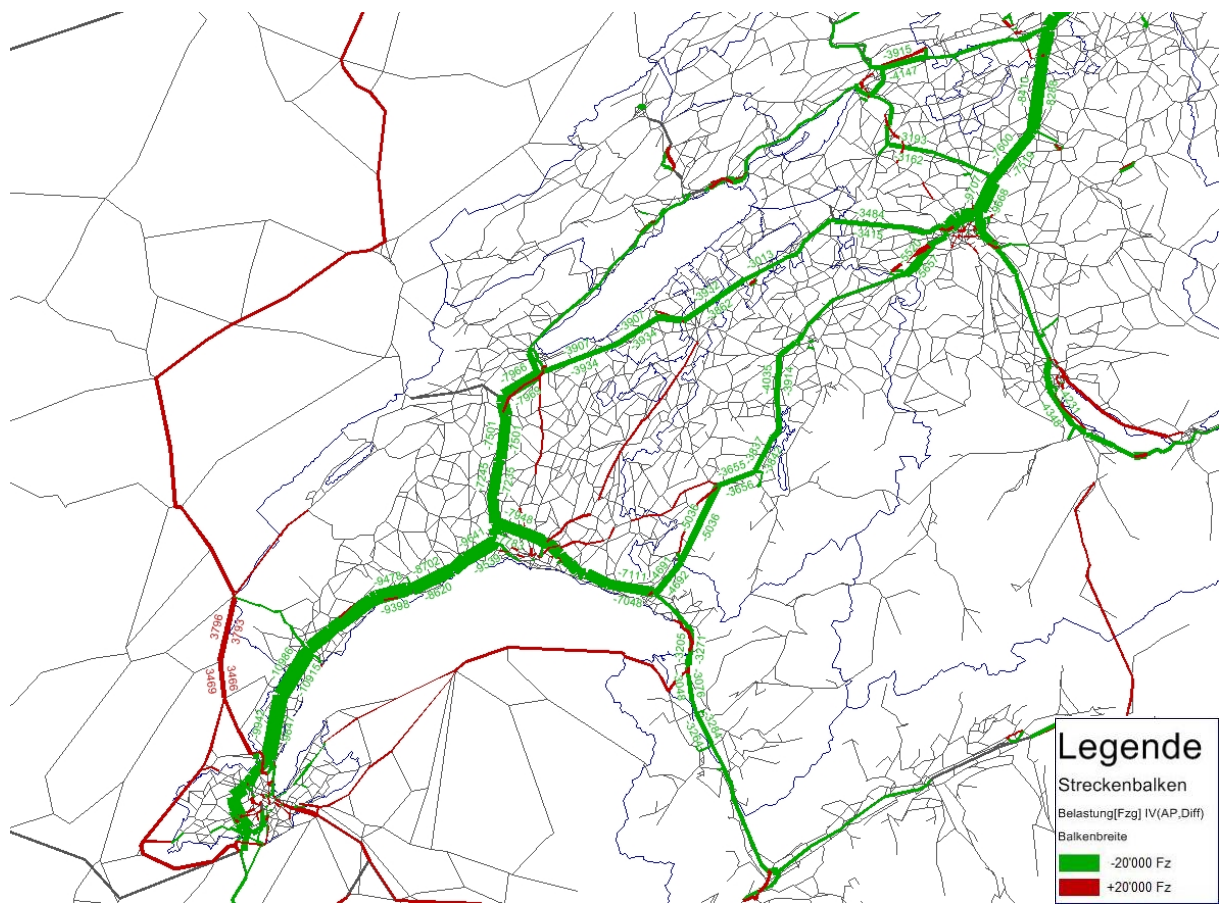


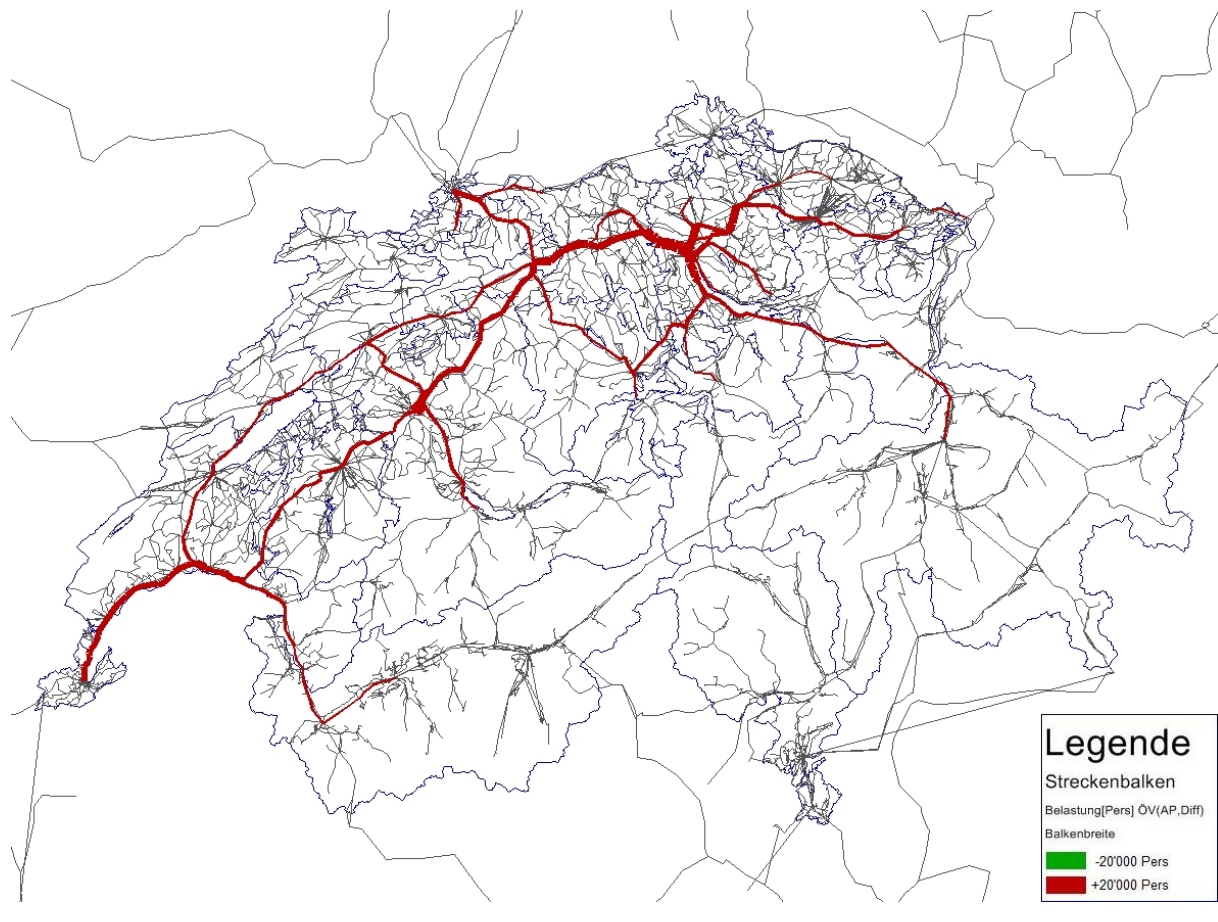
Abbildung 43 zeigt den Ausschnitt Romandie. Auf der A1 zwischen Morges und Aubonne nimmt die Belastung pro Tag und Richtung um ca. 8'700 Fahrzeuge ab (-24% gegenüber dem Referenzfall).

Abbildung 43 MIV-Szenario E2 (Gebietsmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)



In Abbildung 44 ist die Differenzabbildung für das ÖV-Szenario E2 (Gebietsmodell) zur ÖV-Referenz dargestellt. Die ÖV-Belastung steigt entlang der Hauptachsen an.

Abbildung 44 ÖV-Szenario E2 (Gebietsmodell): Differenzbelastung zur Referenz



In Abbildung 45 ist der Ausschnitt Mittelland dargestellt. Auf der Strecke östlich des Bahnhofs Olten beträgt die Fahrgastzunahme ca. 4'500 Personen pro Richtung, was einer Zunahme von 11% entspricht. Auf der Strecke südwestlich des Bahnhofs Winterthur beträgt die Fahrgastzunahme 5'300 Personen pro Richtung (+10%).

Abbildung 45 ÖV-Szenario E2 (Gebietsmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Mittelland)

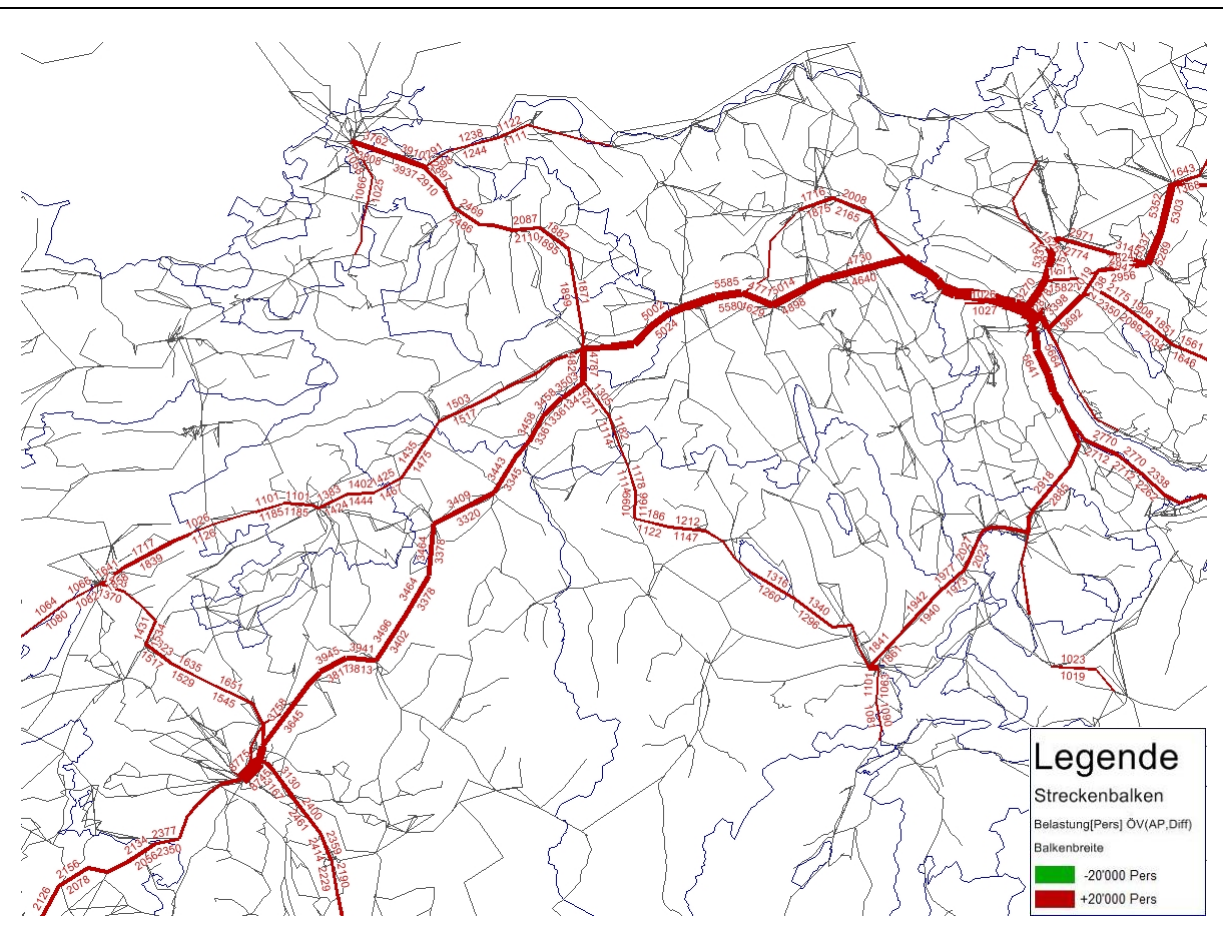
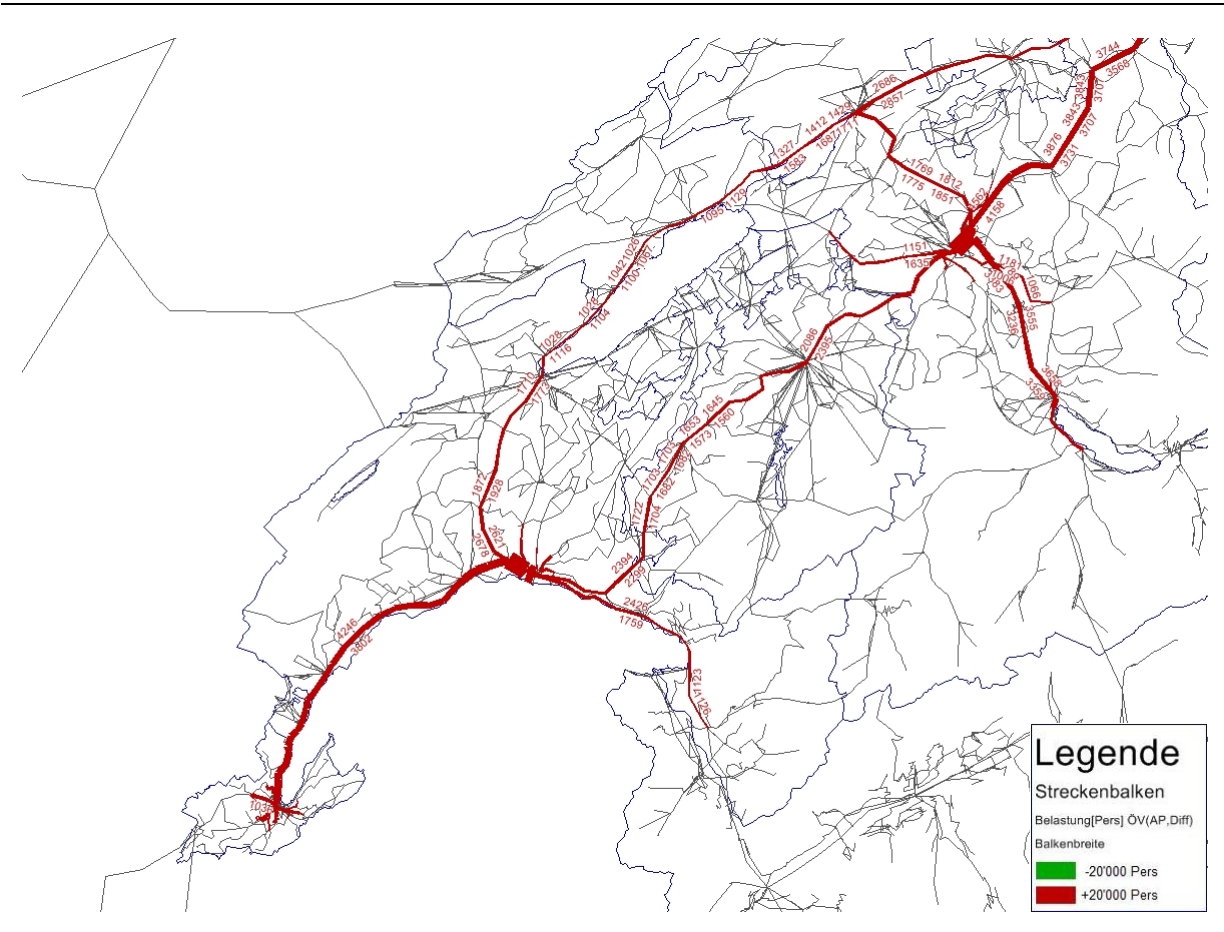


Abbildung 46 zeigt den Ausschnitt Romandie. Auf der Strecke westlich des Bahnhofs Morges steigt die Passagierzahl um 4'150 je Richtung (14% Zuwachs gegenüber dem Referenzmodell).

Abbildung 46 ÖV-Szenario E2 (Gebietsmodell): Differenzbelastung zur Referenz (Ausschnitt Romandie)



6.6 Übersicht zu den Szenarien

In Tabelle 20 sind die Ergebnisse zu den MIV-Fahrten, MIV-Wege und ÖV-Wege der Szenarien und die relativen Veränderungen gegenüber dem Referenzfall 2030 sowie für Vergleichszwecke auch die Werte aus dem NPVM für das Jahr 2000 aufgeführt. Im NPVM für das Jahr 2000 ist die Anzahl ÖV-Wege pro Werktag ist um 27% und die Anzahl MIV-Wege pro Werktag um 18% geringer als im Referenzfall 2030.

Die relativen Veränderungen bei den Mobility Pricing Szenarien der Anzahl Wege im MIV und ÖV sind moderat, da bei den Szenarien geringe Erhöhungen der variablen Preise, mit Ausnahme des Szenarios E2 (Gebietsmodell), vorgesehen sind. Beim Szenario E2 (Gebietsmodell), wo insgesamt höhere Mobilitätskosten angenommen wurden, ist die Verschiebung am Grössten. Im Referenzmodell kommen auf einen ÖV-Weg rund fünf MIV-Wege, daher bewirkt eine Abnahme der MIV-Wege um 1% eine Zunahme der ÖV-Wege um 5%. Auf gesamtschweizerische Ebene sind die Auswirkungen von den Mobility Pricing Szenarien bezüglich PW-Besetzungsgrad und langsamer Individualverkehr (LIV) nicht signifikant, und wurden daher nicht berücksichtigt.

Tabelle 20 MIV-Fahrten, MIV-Wege und ÖV-Wege pro Werktag im Modellgebiet

	MIV-Fahrten pro Werktag	MIV-Wege pro Werktag	ÖV-Wege pro Werktag	MIV rel. zur Referenz in %	ÖV rel. zur Referenz in %
NPVM 2000	7'720'089	11'194'129	1'884'579	-17.87	-26.94
Referenz 2030	9'876'537	13'629'621	2'579'390		
Sz. A (Objektpricing)	9'873'826	13'625'880	2'580'824	-0.03	+0.06
Sz. B (Zonenmodell)	9'823'906	13'556'990	2'650'041	-0.53	+2.74
Sz. C (Netzmodell)	9'834'345	13'571'396	2'635'636	-0.43	+2.18
Sz. D (ZSZ-Modell)	9'779'065	13'495'110	2'712'197	-0.99	+5.15
Sz. E1 (Gebietsmodell)	9'799'232	13'522'940	2'683'949	-0.78	+4.05
Sz. E2 (Gebietsmodell)	9'712'191	13'402'824	2'802'909	-1.66	+8.67

Tabelle 21 zeigt die Fahrzeugkilometer (Fz-km) und Fahrzeugstunden (Fz-h) nach aggregierten Streckentypen im MIV-Referenzmodell, den verschiedenen Szenarien und zu Vergleichszwecken auch im MIV-Modell des NPVM für das Jahr 2000.

Tabelle 21 Szenarien Fahrzeugkilometer und Fahrzeugstunden nach Streckentyp

in Mio. pro Tag	Autobahn		Ausserortsstrassen		Innerortsstrassen		Summe CH		Ausland	
	Fz-km	Fz-h	Fz-km	Fz-h	Fz-km	Fz-h	Fz-km	Fz-h	Fz-km	Fz-h
NPVM 2000	51.0	0.47	53.6	0.88	9.5	0.27	114.1	1.62	127.4	1.19
Referenz 2030	65.3	0.64	68.1	1.15	12.4	0.39	145.8	2.17	187.2	1.80
Sz. A (Objektpricing)	64.6	0.63	68.4	1.15	12.4	0.39	145.4	2.17	187.2	1.79
Sz. B (Zonenmodell)	64.2	0.63	68.0	1.14	11.9	0.36	144.0	2.13	186.8	1.79
Sz. C (Netzmodell)	54.8	0.53	72.6	1.23	12.5	0.39	140.0	2.15	191.1	1.83
Sz. D (ZSZ-Modell)	52.9	0.51	72.4	1.21	12.0	0.37	137.3	2.09	190.2	1.82
Sz. E1 (Gebietsmodell)	59.5	0.58	67.7	1.14	12.4	0.38	139.6	2.10	190.2	1.82
Sz. E2 (Gebietsmodell)	49.4	0.48	68.8	1.16	12.6	0.39	130.7	2.03	196.3	1.89
Relative Veränderungen zur Referenz 2030 in %										
NPVM 2000	-21.9	-26.6	-21.3	-23.5	-23.4	-30.8	-21.7	-25.3	-31.9	-33.9
Sz. A (Objektpricing)	-1.1	-1.2	0.4	0.4	0.0	0.0	-0.3	-0.2	0.0	0.0
Sz. B (Zonenmodell)	-1.8	-2.2	-0.2	-0.4	-4.4	-6.1	-1.2	-1.9	-0.2	-0.2
Sz. C (Netzmodell)	-16.0	-16.9	6.6	7.4	1.0	0.9	-4.0	-0.9	2.1	1.8
Sz. D (ZSZ-Modell)	-19.0	-20.2	6.2	5.7	-2.9	-4.7	-5.9	-3.8	1.6	1.3
Sz. E1 (Gebietsmodell)	-8.9	-9.6	-0.6	-0.7	-0.3	-0.6	-4.3	-3.3	1.6	1.3
Sz. E2 (Gebietsmodell)	-24.4	-25.6	0.9	1.3	1.2	2.0	-10.4	-6.5	4.8	5.2

Die Verkehrsleistung in Fz-km im MIV in der Schweiz war im Jahr 2000 um rund 22% geringer als im Referenzjahr 2030. Die Fahrzeit (Fz-h) im Schweizer Strassennetz ist um 25% niedriger als im Referenzfall 2030, da die Fahrzeit bei höherer Auslastung der Strassen ansteigt.

Beim Szenario A sind keine nennenswerte Veränderungen festzustellen. Im Szenario B nehmen die Fz-km auf den Innerortsstrecken stark ab. Bei den anderen Streckentypen sind nur geringe Veränderungen festzustellen. Auf die ganze Schweiz bezogen nehmen die Fz-km um 1.2% und die Fz-h um 1.9% ab. Eine Verlagerung von Fahrleistung auf ausländischen Strecken findet nicht statt.

Szenario C (Netzmodell) zeigt eine massive Verlagerung von Fahrleistung von der Autobahn auf die Ausserortsstrassen. Auch auf den Innerortstrassen nehmen die Fz-km leicht zu. Die gesamtschweizerischen Fz-km nehmen um 4% und die Fz-h um knapp 1% ab. Dieser Unterschied ist mit der häufigeren Benutzung der langsameren Strassen anstelle der Autobahn

zu erklären. Eine Verlagerung von Fahrleistung auf ausländische Strecken findet statt. Szenario D (ZSZ-Modell) zeigt ein ähnliches Muster wie Szenario C (Netzmodell), doch mit stärkeren Effekten.

Beim Szenario E1 (Gebietsmodell) nehmen die Fz-km und Fz-h auf Autobahnen ab und auf den ausser- und innerorts Strassen geringfügig ab. Auch hier findet eine Verlagerung auf ausländische Strecken statt. Im Szenario E2 (Gebietsmodell) fällt die Fahrleistung auf den Autobahnen massiv, nimmt aber auf den untergeordneten Netzen leicht zu, da die Automobilisten distanzsensibler reagieren. Es kommt zu der stärksten Verlagerung von Fz-km und Fz-h auf die Strecken im Ausland. Auch zeigt das Szenario E2, in welchem das höchste Abgabenniveau der untersuchten Szenarien vorgesehen ist, im Vergleich zu den Werten aus dem NPVM für das Jahr 2000, dass die MIV-Verkehrsleistung auch mit einem Mobility Pricing System mit hohen Mobilitätskosten signifikant höher liegen würde als im Jahr 2000.

Die nachfolgende Tabelle 22 gibt eine Übersicht der P-km pro Tag im MIV und ÖV für das NPVM 2000, für das Referenzmodell 2030 und die Szenarien. Die Verkehrsleistung gemessen in Personen-Kilometern (P-km) in der Schweiz war im Jahr 2000 im MIV um 18% geringer und im ÖV um 33% geringer als im Referenzjahr 2030. Bei den Szenarien ist ersichtlich, dass eine abnehmende Zahl der P-km im MIV nicht linear zu einer Zunahme der P-km im ÖV führen. Dies ist zurückzuführen auf die grössere Distanzsensibilität der Automobilisten bei km-abhängigen Mautsystemen, wodurch verstärkt distanzkürzere Routen verwendet werden.

Tabelle 22 Verkehrsleistung im MIV und ÖV der Szenarien in P-km

in Mio. pro Tag	MIV Netz Schweiz	ÖV Netz Schweiz
	P-km	P-km
NPVM 2000	165.375	44.954
Referenz 2030	201.256	67.464
Szenario A (Objektpricing)	200.675	67.562
Szenario B (Zonenmodell)	198.752	72.360
Szenario C (Netzmodell)	193.135	71.370
Szenario D (ZSZ-Modell)	189.492	76.288
Szenario E1 (Gebietsmodell)	192.600	72.116
Szenario E2 (Gebietsmodell)	180.369	75.112
Relative Veränderungen zur Referenz in %		
NPVM 2000	-17.9	-33.2
Szenario A (Objektpricing)	-0.29	+0.15
Szenario B (Zonenmodell)	-1.24	+7.26
Szenario C (Netzmodell)	-4.04	+5.79
Szenario D (ZSZ-Modell)	-5.85	+13.08
Szenario E1 (Gebietsmodell)	-4.30	+6.90
Szenario E2 (Gebietsmodell)	-10.38	+11.34

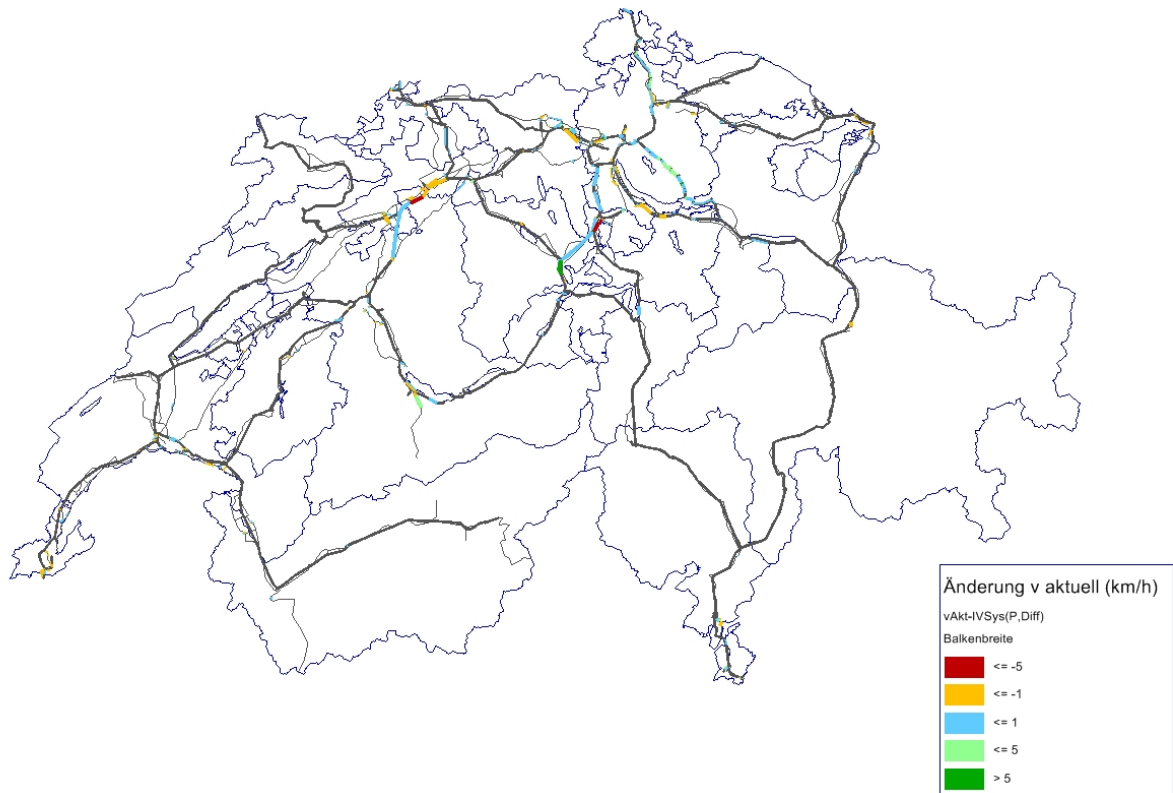
7 Auswertungen

7.1 Fahrgeschwindigkeit und Auslastung im Strassennetz

In Abbildung 47, Abbildung 48, Abbildung 49, Abbildung 50, Abbildung 51 und Abbildung 52 zeigen die Veränderung der Fahrgeschwindigkeit unter Belastung im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz gegenüber dem Referenzmodell. Auf den nicht mit farbigen Balken versehenen Strecken sind die Geschwindigkeitsänderungen 0 km/h. Die durchschnittliche Streckenfahrgeschwindigkeit an einem Werktag unter Belastung ist abhängig von der freien Streckenfahrgeschwindigkeit, der Streckenkapazität pro Tag, der Streckenbelastung des DWV, der Vorbelastung durch LKW und der Capacity-Restrain-Funktion. Das NPVM bildet den durchschnittlichen Werktag ab, tageszeitliche Schwankungen und damit kurzfristige Überlastungssituationen werden nicht berücksichtigt.

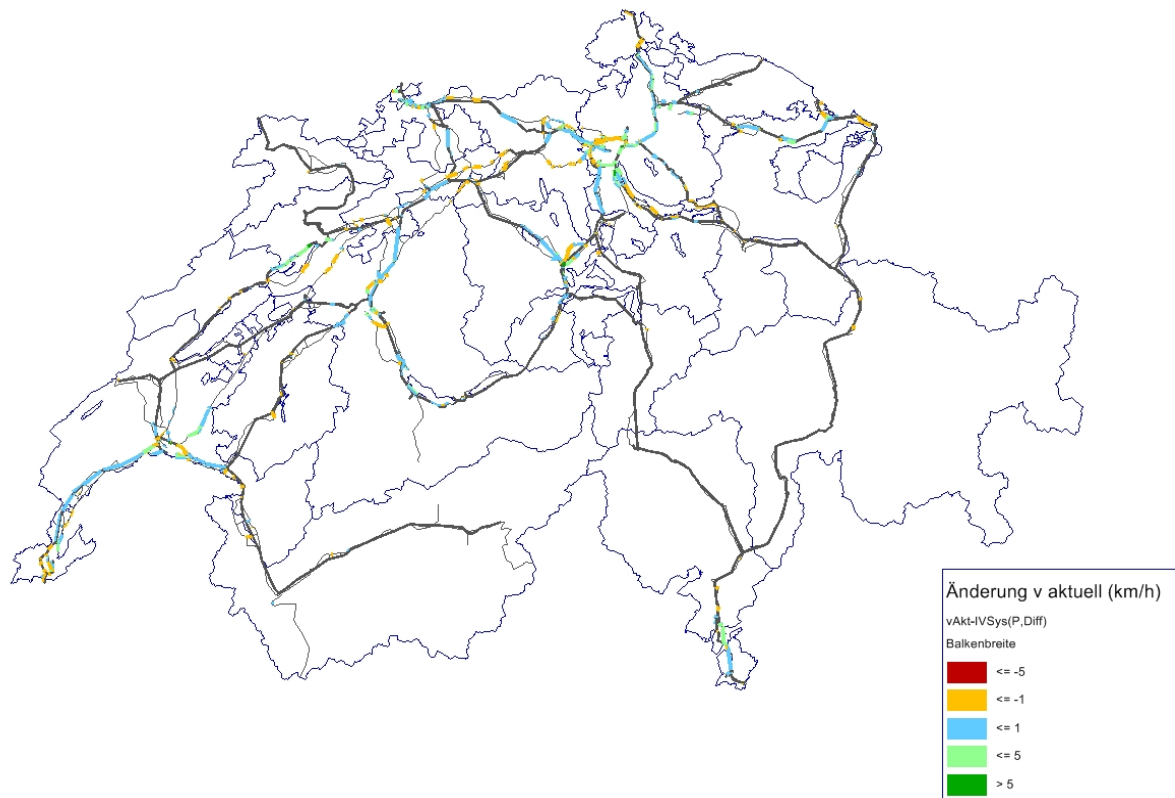
Im Szenario A (Objektpricing) (Abbildung 47) kommt es zu marginalen Veränderungen der Geschwindigkeitssituation in der engeren Umgebung der Pricing-Objekte.

Abbildung 47 Szenario A (Objektpricing): Veränderung der Fahrgeschwindigkeit unter Belastung (v_{aktuell}) im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz gegenüber dem Referenzmodell



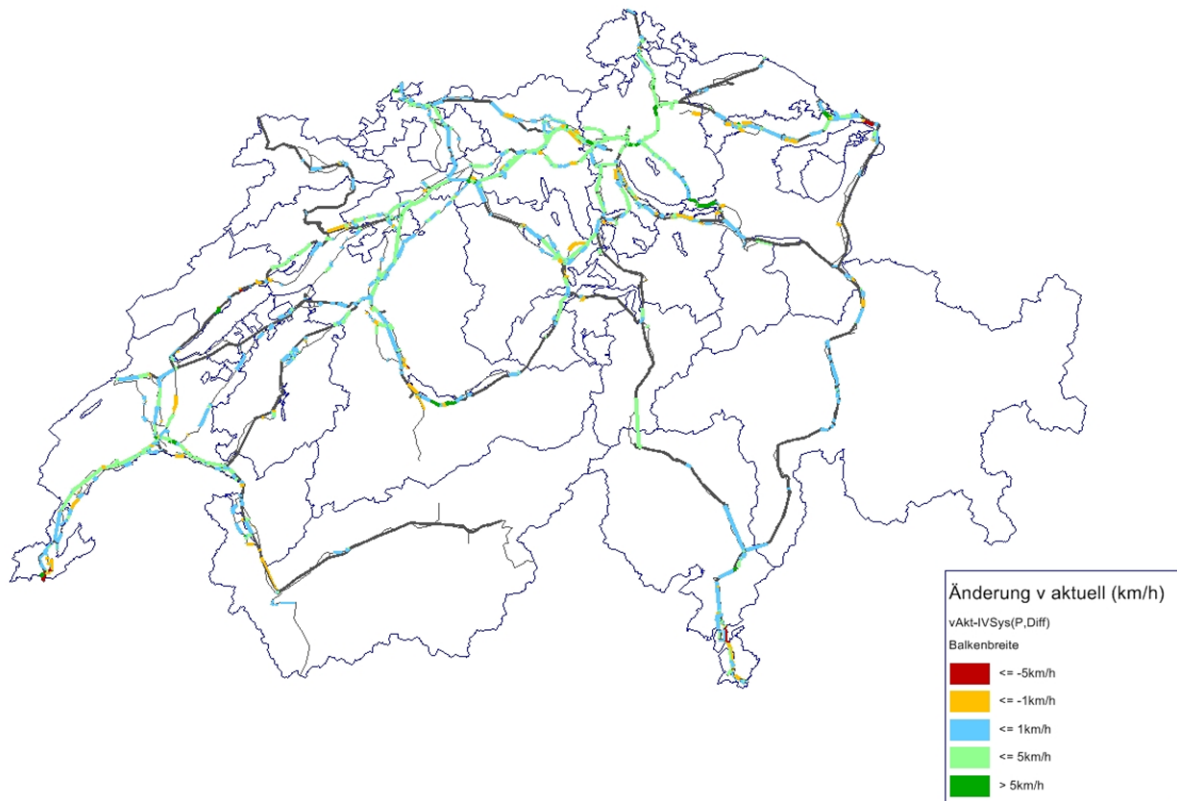
Im Szenario B (Zonenmodell) (Abbildung 48) steigt die Geschwindigkeit auf den radialen Zufahrtstrassen zu den Pricingzonen an, andererseits fällt sie auf den Strecken, die die Pricingzone umfahren.

Abbildung 48 Szenario B (Zonenmodell): Veränderung der Fahrgeschwindigkeit unter Belastung (v_{aktuell}) im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz gegenüber dem Referenzmodell



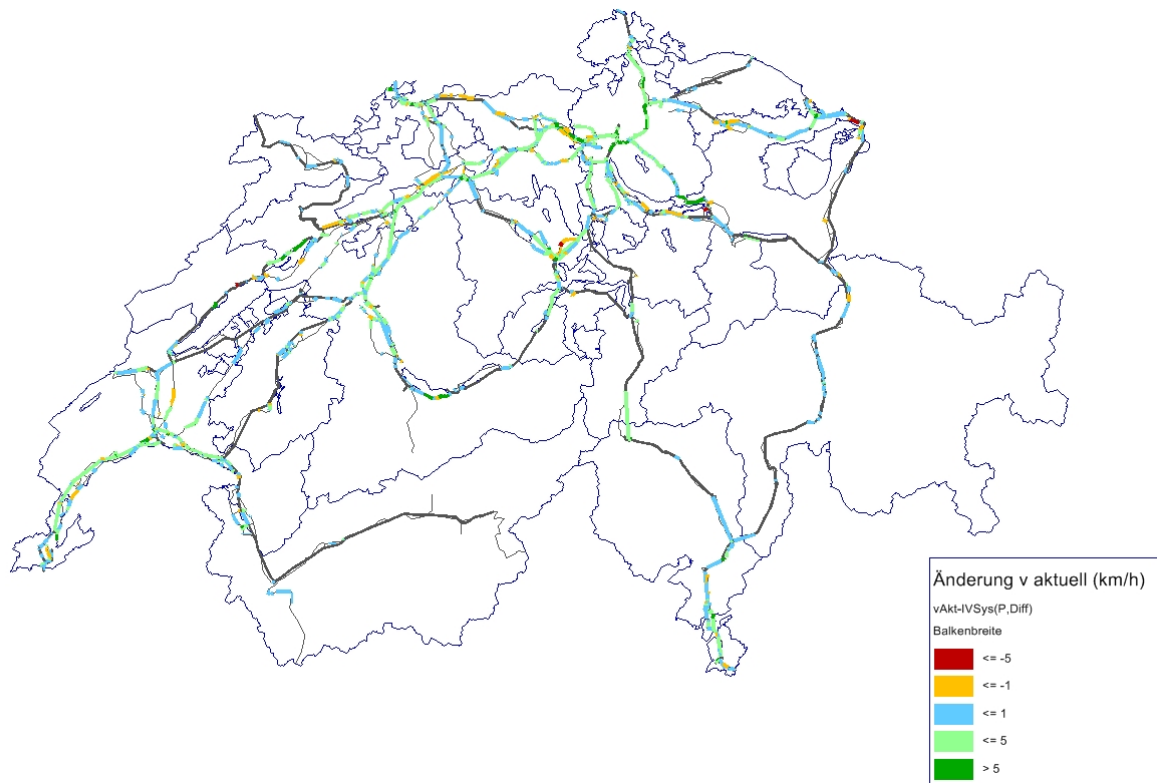
Szenario C (Netzmodell) (Abbildung 49) zeigt starke Verbesserungen zwischen 1 und 5 km/h bei der tagesdurchschnittlichen Geschwindigkeit auf den Autobahnen im Mittelland, im Gott-hard-Tunnel und um den Genfer See an.

Abbildung 49 Szenario C (Netzmodell): Veränderung der Fahrgeschwindigkeit unter Belastung (v_{aktuell}) im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz gegenüber dem Referenzmodell



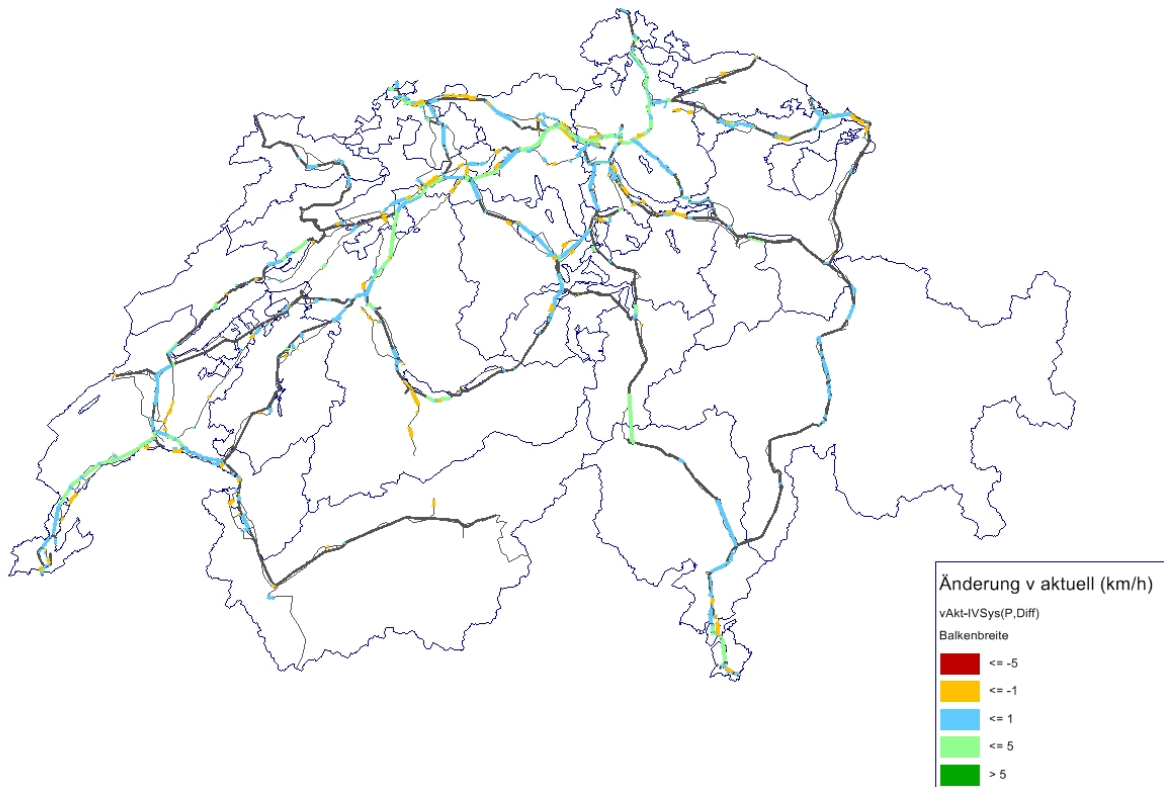
Im Szenario D (ZSZ-Modell) (Abbildung 50) überlagern sich die Effekte aus Szenario B (Zonenmodell) und Szenario C (Netzmodell), aber auf manchen Streckenabschnitten nahe der Pricingzonen sind Geschwindigkeitserhöhungen um mehr als 5 km/h zu erkennen.

Abbildung 50 Szenario D (ZSZ-Modell): Veränderung der Fahrgeschwindigkeit unter Belastung (v_{aktuell}) im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz gegenüber dem Referenzmodell



Szenario E1 (Gebietsmodell mit km-Abgabe) (Abbildung 51) zeigt auf den Autobahnen im Mittelland, um den Genfersee und im Gotthard-Tunnel eine Erhöhung der Geschwindigkeit von 1 bis 5 km/h. Auf einigen parallel zu den Autobahnen verlaufenden Abschnitten des Netzes von Bedeutung sind leichte Geschwindigkeitssenkungen auszumachen.

Abbildung 51 Szenario E1 (Gebietsmodell): Veränderung der Fahrgeschwindigkeit unter Belastung (v_{aktuell}) im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz gegenüber dem Referenzmodell



Ähnlich zeigt sich auch im Szenario E2 (Gebietsmodell mit km-Abgabe) (Abbildung 52) die Geschwindigkeitsentwicklung, wobei im Gotthard-Tunnel eine massive Verbesserung von mehr als 5 km/h auftritt. Auch sind hier räumlich weit verbreitete Verringerungen der tagesdurchschnittlichen Geschwindigkeit auf dem Netz von Bedeutung zu erkennen.

Abbildung 52 Szenario E2 (Gebietsmodell): Veränderung der Fahrgeschwindigkeit unter Belastung (v_{aktuell}) im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz gegenüber dem Referenzmodell

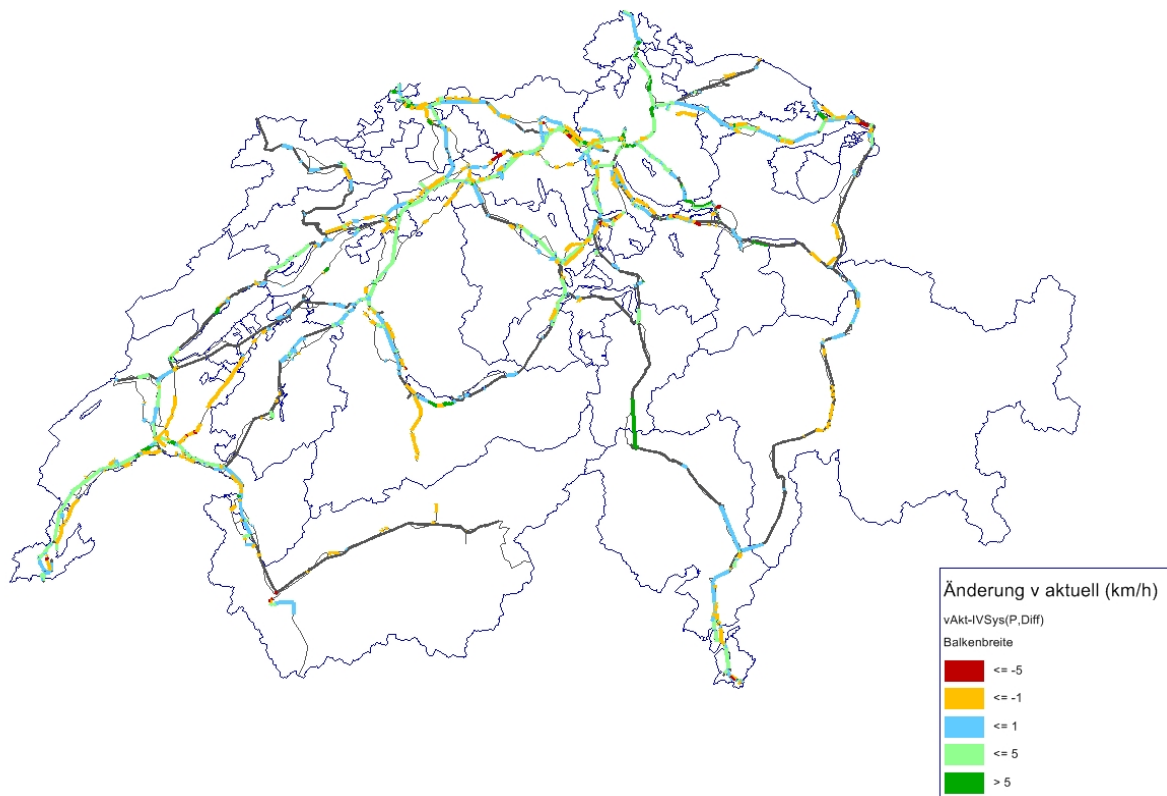


Abbildung 53 sowie Abbildung 54, Abbildung 55, Abbildung 56, Abbildung 57, Abbildung 58 und Abbildung 59 zeigen den Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz für das Referenzmodell und die verschiedenen Szenarien. Der Auslastungsgrad (in Prozent) ist in der Software Visum definiert als Streckenbelastung der umgelegten Verkehrsnachfragen dividiert durch die Streckenkapazität. Er zeigt damit die durchschnittliche Auslastung an einem Werktag. Die bei den Veränderungen der Durchschnittsgeschwindigkeit an einem Werktag gemachten Aussagen, lassen sich weitgehenden auch auf den Auslastungsgrad übertragen.

Abbildung 53 Referenzmodell: Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz

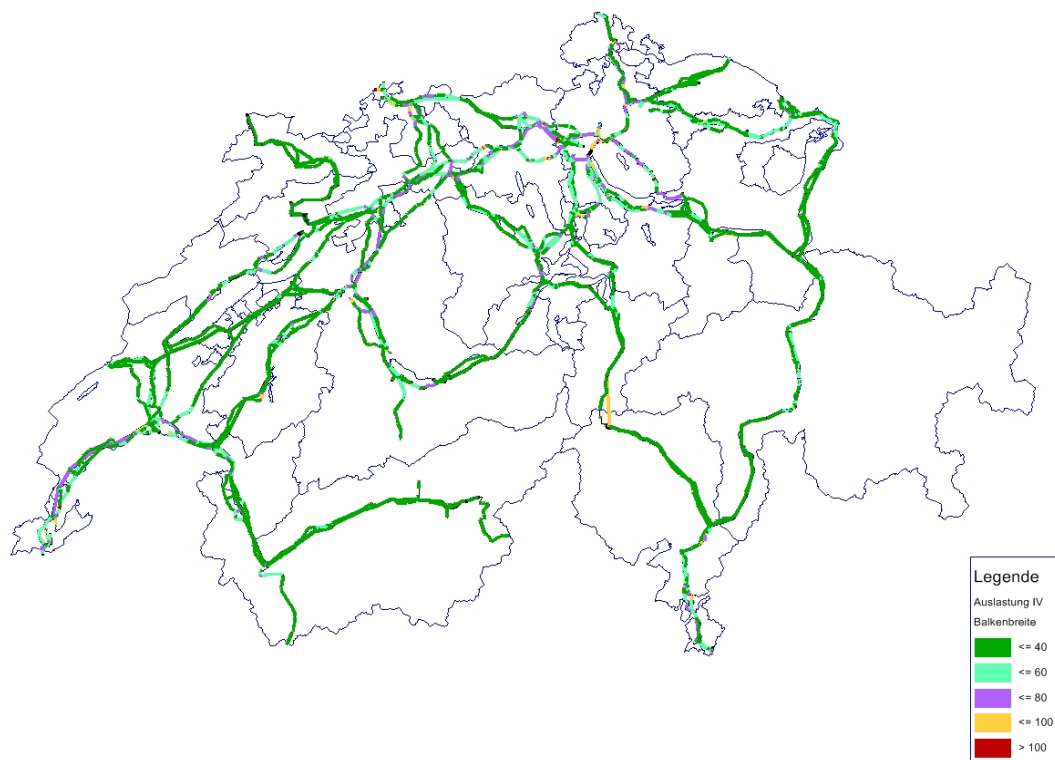


Abbildung 54 Szenario A (Objektpricing): Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz

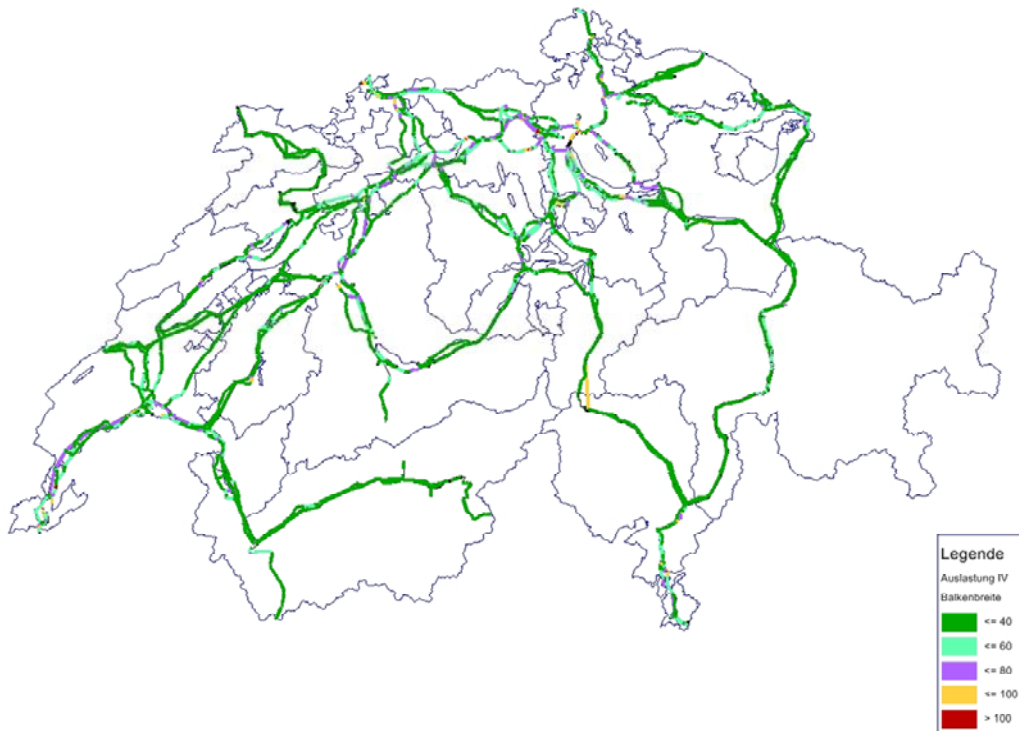


Abbildung 55 Szenario B (Zonenmodell): Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz

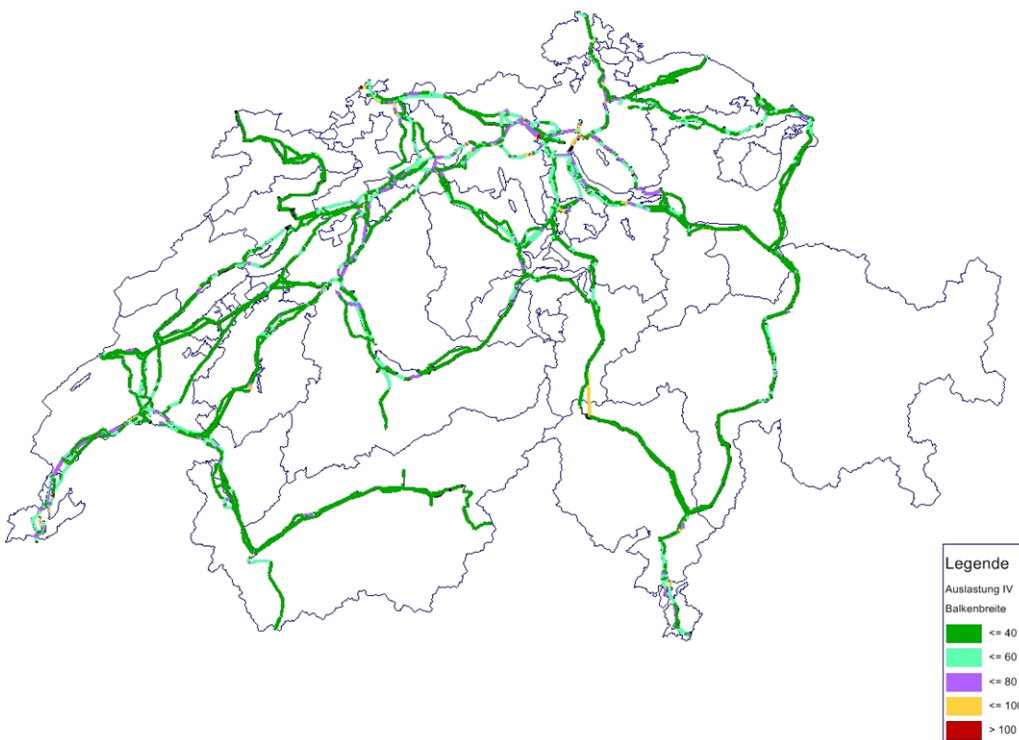


Abbildung 56 Szenario C (Netzmodell): Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz

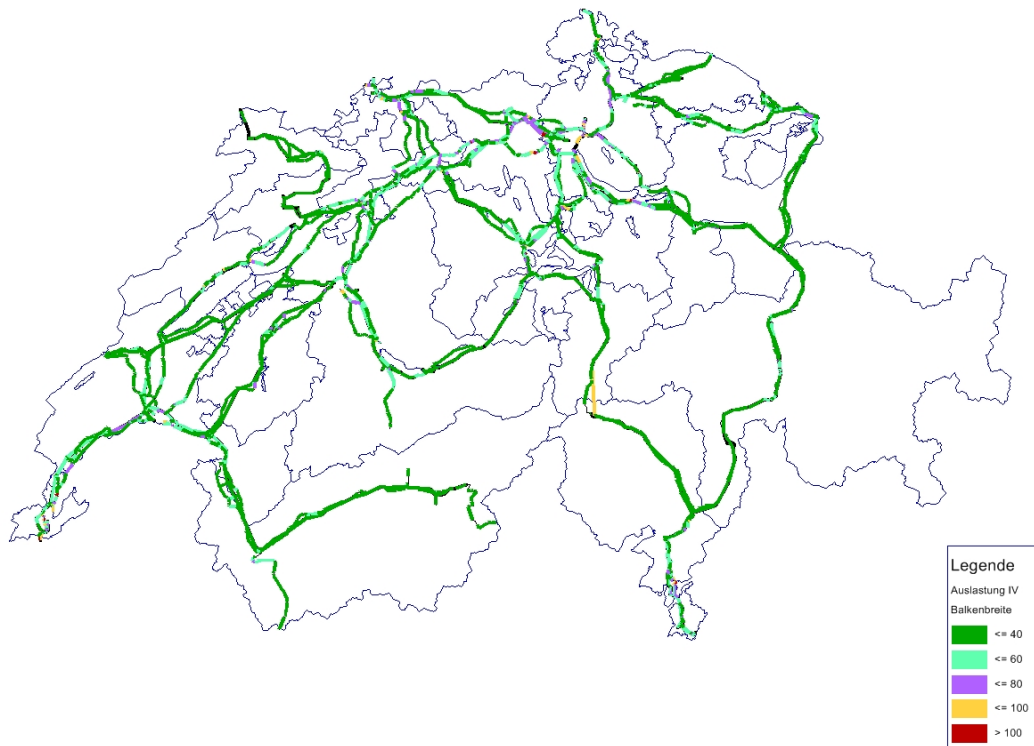


Abbildung 57 Szenario D (ZSZ-Modell): Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz

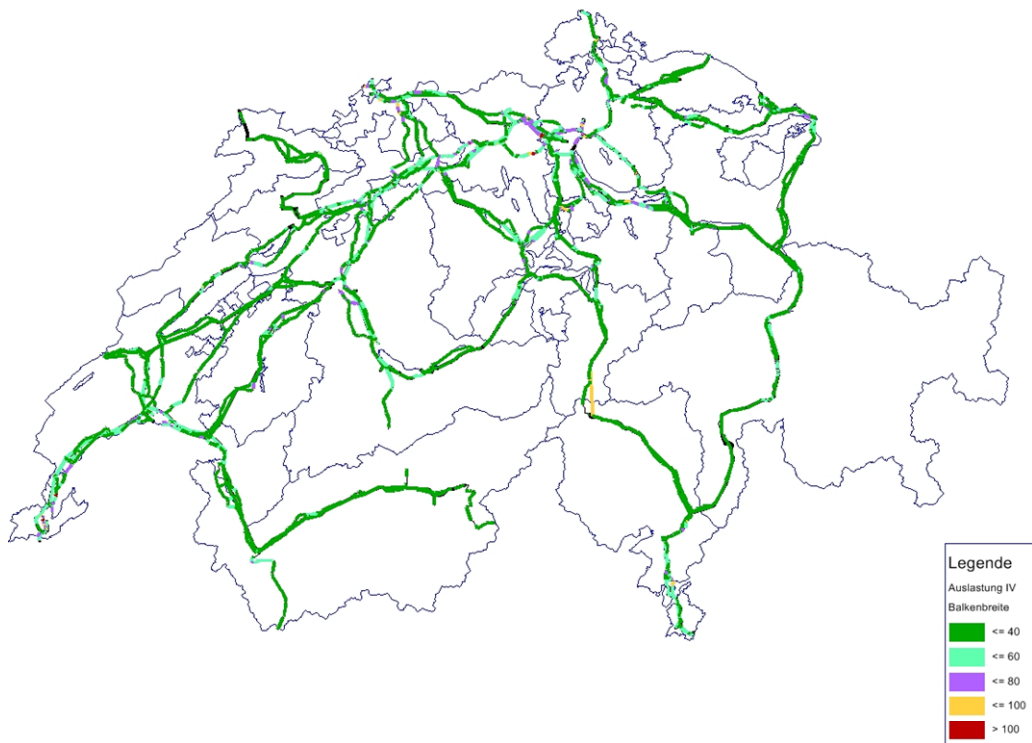


Abbildung 58 Szenario E1 (Gebietsmodell): Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz

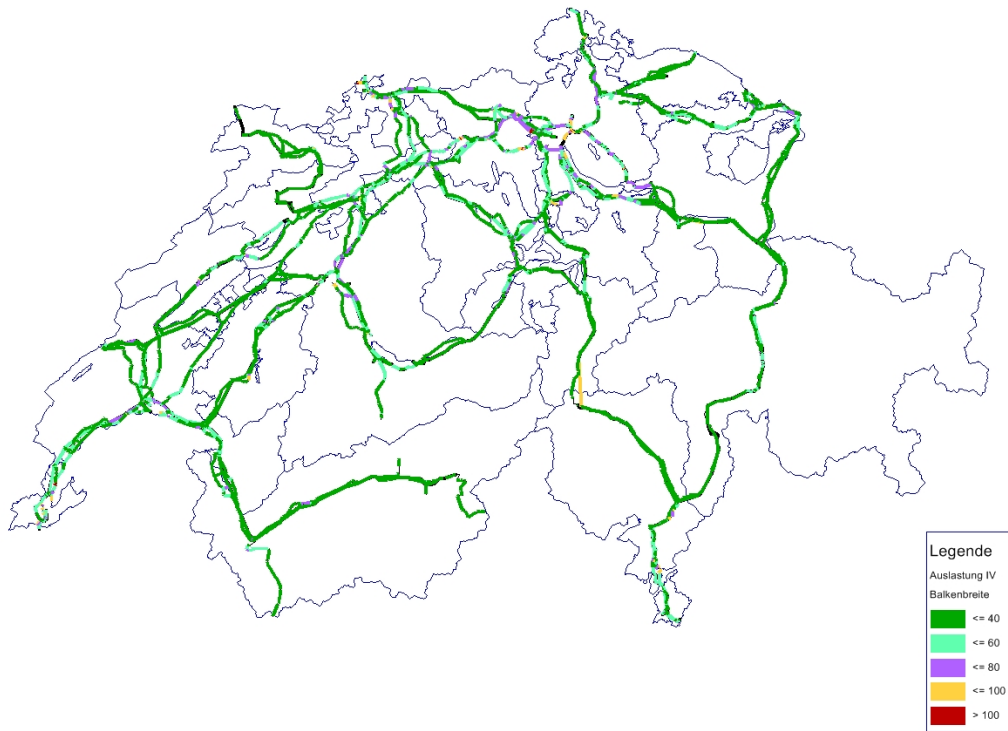
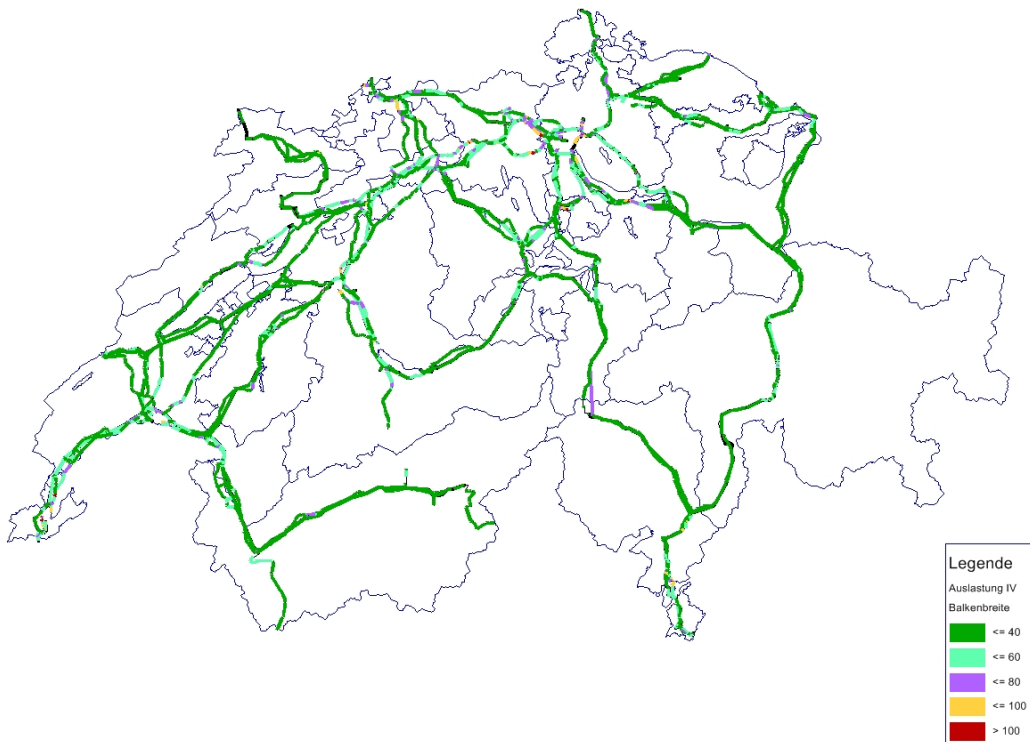


Abbildung 59 Szenario E2 (Gebietsmodell): Auslastungsgrad im Netz von Bedeutung und Nationalstrassennetz



7.2 Auswirkung der Mobility Szenarien auf die Strassenverkehrssicherheit

Die Schweizer Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu) analysiert unter anderem auch das Unfallgeschehen auf Schweizer Strassen. Für den Strassenverkehr werden die Unfallrate (Unfälle pro 1 Mio. Fz-km) und die Verunfalltenrate (Verunfallte pro 100 Mio. Fz-km) ermittelt. Unter Verunfallte werden die Verletzten und Getöteten zusammengefasst. Die aktuellen Zahlen aus dem Jahr 2003 sind in Tabelle 23 aufgeführt.

Tabelle 23 Unfallrate und Verunfalltenrate nach Strassentyp in der Schweiz 2003

	Unfallrate (U pro 1 Mio. Fz-km)	Verunfalltenrate (V pro 100 Mio. Fz-km)
Autobahn	0.38	16
Ausserortsstrassen	0.73	43
Innerortsstrassen	2.37	93
Ganze Schweiz	1.14	50

Quelle: bfu (2004)

Aufgrund der Fahrzeugkilometer pro Jahr für das MIV-Referenzmodell, den Szenarien sowie den Raten für Unfälle und Verunfallte (Tabelle 23) wurden die zu erwartenden Unfälle und Verunfallte pro Jahr für die Streckentypen Autobahn, Ausserorts- und Innerortsstrassen ermittelt (siehe Tabelle 24). Danach wurden noch die Summen gebildet und die relativen Veränderungen ausgerechnet. Für die ausländischen Strecken wurden die gleichen Unfall- und Verunfalltenraten wie in der Schweiz unterstellt.

Die Abschätzungen sollen die Auswirkungen der verschiedenen Mobility Pricing Szenarien auf die Verkehrssicherheit zeigen. Die Unfallgefahr im Strassenverkehr hängt aber noch von einer Vielzahl von anderen Faktoren ab, die hier nicht berücksichtigt werden können. Daher sind die Resultate nur als Abschätzung von den möglichen Wirkungstendenzen der Mobility Pricing Szenarien auf die Verkehrssicherheit zu verstehen.

Tabelle 24 Abschätzung der Unfälle und der Verunfallten auf Strassen nach Szenario

pro Jahr	Autobahn CH		Ausserortsstrassen CH		Innerortsstrassen CH		Summe CH		Ausland	
	U	V	U	V	U	V	U	V	U	V
Referenz	8'967	3'776	17'966	10'583	10'624	4'196	37'557	18'527	30'278	14'025
Szenario A	8'868	3'734	18'044	10'628	10'628	4'170	37'539	18'533	30'268	14'018
Szenario B	8'808	3'709	17'936	10'565	10'158	3'986	36'902	18'260	30'168	13'965
Szenario C	7'530	3'170	19'143	11'276	10'727	4'209	37'399	18'656	30'842	14'270
Szenario D	7'263	3'058	19'086	11'242	10'314	4'047	36'663	18'348	30'659	14'177
Szenario E1	8'170	3440	17'851	10'515	10'594	4'157	36'615	18'112	30'693	14'196
Szenario E2	6'781	2'855	18'135	10'683	10'748	4'218	35'664	17'755	32'074	14'928
Relative Veränderungen zur Referenz in %										
Szenario A	-1.1	-1.1	0.4	0.4	0.0	0.0	-0.1	-0.1	0.0	0.0
Szenario B	-1.8	-1.8	0.2	0.2	-4.4	-4.4	-1.7	-1.4	-0.4	-0.4
Szenario C	-16.0	-16.0	6.6	6.6	1.0	1.0	-0.4	0.7	1.9	1.7
Szenario D	-19.0	-19.0	6.2	6.2	-2.9	-2.9	-2.4	-1.0	1.3	1.1
Szenario E1	-8.9	-8.9	-0.6	-0.6	-0.3	-0.3	-2.5	-2.2	1.4	1.2
Szenario E2	-24.4	-24.4	0.9	0.9	1.2	1.2	-5.0	-4.2	5.9	6.4

Anmerkung: U=Unfälle; V=Verunfallte

Beim Szenario A (Objektpricing) sind nur sehr geringe Änderungen zu beobachten. Im Szenario B (Zonenmodell) gehen die Unfälle auf den Autobahnen leicht und auf den Innerortsstrassen stark zurück. Das Szenario C (Netzmodell) zeigt eine Verlagerung der Fahrleistung und damit der Unfälle von den Autobahnen auf die Ausserortsstrassen. So nehmen die Unfälle auf den Autobahnen um 16% ab, während sie auf den Ausserortsstrassen um 6.6% ansteigen. Für die ganze Schweiz gesehen, ergibt sich eine Reduzierung der Unfälle von 0.7% und eine Zunahme der Verunfallten von 0.7%. Das Szenario C (Netzmodell) ist das einzige Szenario, wo die Anzahl Verunfallte in der Schweiz gegenüber dem Referenzfall zunehmen. Die Anzahl der Unfälle und Verunfallten nimmt auch auf den ausländischen Strecken zu.

Bei Szenario D (ZSZ-Modell) zeigt sich eine Abnahme der Unfälle auf den Autobahnen von 19.0%, eine Zunahme auf Ausserortsstrassen von 6.2% und eine leichte Abnahme auf Innerortsstrassen von 2.9%. Die gesamtschweizerischen Ergebnisse zeigen eine Abnahme der Unfälle von 2.4% und der Verunfallten von 1.0%. Im Szenario E1 (Gebietsmodell) verlagern sich weniger Autofahrten auf das untergeordnete Netz und die Anzahl der Unfälle und Verunfallten fallen in die gleiche Grössenordnung. Beim Szenario E2 (Gebietsmodell) gehen die Anzahl der Unfälle und Verunfallten auf den Schweizer Autobahnen um rund 25% zurück, auf den Ausserorts- und Innerortsstrassen nehmen sie leicht zu. Für die ganze Schweiz reduzieren sich die Unfälle um 5% bzw. die Verunfallten um 4.2%. Auf den ausländischen

Strecken steigen die Zahlen an. Bei allen Szenarien zeigt sich die eine stärkere Abnahme der Unfälle als der Verunfallten, da auf untergeordneten Strecken eine höhere Verunfalltenrate pro 100 Mio. Fz-km vorliegt.

Wenn bei der Auswertung der Unfälle die Schweiz und das Ausland zusammen betrachtet werden (Tabelle 25), dann zeigen sich keine Änderungen gegenüber dem Referenzfall beim Szenario A. Szenario B zeigt die stärksten Abnahmen mit rund 1% sowohl bei den Unfällen als auch bei den Verunfallten. Szenario C (Netzmodell) hat die stärksten Zunahmen aller Szenarien, bei den Unfällen steigt die Anzahl um 0.6% und bei den Verunfallten 1.1%. Im Szenario D (ZSZ-Modell) gleichen sich die Effekte der Szenarien B und C teilweise aus, insgesamt nehmen die Unfälle leicht ab (-0.8%) und die Anzahl Verunfallten bleibt weitgehend konstant (+0.1%). Szenario E1 (Gebietsmodell) zeigt eine gleichmässige Abnahme bei Unfällen und Verunfallte von 0.7% bzw. 0.8%. Beim Szenario E2 (Gebietsmodell) bleibt die Anzahl der Unfälle fast unverändert (-0.1%), dafür steigt die Zahl der Verunfallten um 0.4%.

Tabelle 25 Gesamtabschätzung (Schweiz und Ausland) der Unfälle und der Verunfallten nach Szenario

pro Jahr	Schweiz		Ausland		Schweiz und Ausland	
	U	V	U	V	U	V
Referenz	37'557	18'527	30'278	14'025	67'835	32'552
Szenario A (Objektpricing)	37'539	18'533	30'268	14'018	67'807	32'551
Szenario B (Zonenmodell)	36'902	18'260	30'168	13'965	67'070	32'225
Szenario C (Netzmodell)	37'399	18'656	30'842	14'270	68'241	32'926
Szenario D (ZSZ-Modell)	36'663	18'348	30'659	14'177	67'322	32'525
Szenario E1 (Gebietsmodell)	36'615	18'112	30'693	14'196	67'308	32'308
Szenario E2 (Gebietsmodell)	35'664	17'755	32'074	14'928	67'738	32'683
Relative Veränderungen zur Referenz in %						
Szenario A (Objektpricing)	-0.1	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Szenario B (Zonenmodell)	-1.7	-1.4	-0.4	-0.4	-1.1	-1.0
Szenario C (Netzmodell)	-0.4	0.7	1.9	1.7	0.6	1.1
Szenario D (ZSZ-Modell)	-2.4	-1.0	1.3	1.1	-0.8	0.1
Szenario E1 (Gebietsmodell)	-2.5	-2.2	1.4	1.2	-0.8	-0.7
Szenario E2 (Gebietsmodell)	-5.0	-4.2	5.9	6.4	-0.1	0.4

Anmerkung: U=Unfälle; V=Verunfallte

7.3 Auswirkungen der Mobility Pricing Szenarien auf die Umwelt

7.3.1 Lärmschutz

Für die einzelnen Szenarien wurde berechnet, wie sich die Veränderung der Streckenbelastungen auf die Lärmemission auswirkt. Dafür wurde je Szenario die Lärmemission auf jeder Strecke errechnet, unter Berücksichtigung der Tag- und Nachtstunden, der entsprechenden Verkehrsmenge, der Geschwindigkeit und des Lastwagenanteils. Für den Lastwagenanteil wurde im Referenzzustand ein Wert von 10% (Hochleistungsstrassen) bzw. 5% (Hauptverkehrs- und übrige Strassen) angenommen. Die so berechnete Belastung durch Lastwagen je Strecke wurde für alle Szenarien übernommen, da der Lastwagenverkehr durch die Mobility Pricing Szenarien nicht beeinflusst wird. Dies führte somit, je nach Veränderung der Belastung durch PW, zu einer Zu- oder Abnahme des Lkw-Anteils auf den einzelnen Strecken. Die Lärmauswertungen wurden für Strecken in der Schweiz, welche innerhalb eines bebauten Gebiets liegen (mindestens 70 % der Streckenlänge), mit Ausnahme der Autobahnen durchgeführt. Diese Klassifikation war im NPVM schon vorhanden.

Bei der Betrachtung (siehe Tabelle 26) des Verhältnisses zwischen Streckenlänge mit abnehmender Lärmbelastung (mehr als 1 dBA Reduktion) und Streckenlänge mit zunehmender Lärmbelastung (mehr als 1 dBA Zunahme), die wahrnehmbar ist, schneidet das Szenario B (Zonenmodell) am besten ab. Die übrigen Szenarien liefern schlechtere Resultate; es werden mehr Strecken zusätzlich belastet, als entlastet werden.

Tabelle 26 Veränderung der Lärmbelastung auf Strecken im bebauten Gebiet

Szenario	Abnahme grösser als 1 dBA (1)	Zunahme grösser als 1 dBA (2)	Differenz (2)-(1)
Szenario A (Objektpricing)	30.8 km	35.8 km	+5.0 km
Szenario B (Zonenmodell)	131.1 km	64.0 km	-67.1 km
Szenario C (Netzmodell)	78.1 km	181.7 km	+103.6 km
Szenario D (ZSZ-Modell)	121.6 km	160.6 km	+39.0 km
Szenario E1 (Gebietsmodell)	63.1 km	62.8 km	-0.3 km
Szenario E2 (Gebietsmodell)	99.7 km	155.1 km	+55.4 km

Tabelle 27, Tabelle 28, Tabelle 29, Tabelle 30, Tabelle 31 und Tabelle 32 zeigen die unterschiedlichen Auswirkungen der Mobility Pricing Szenarien auf die Veränderung der Lärmemissionen auf Strassen im bebauten Gebiet (ohne Autobahnen) mit einer feineren Klassifizierung. Die Lärmveränderungen sind nach fünf Lärmbelastungsklassen differenziert.

Tabelle 27 Veränderung der Lärmbelastung in bebautem Gebiet im Szenario A (Objektpricing)

Veränderung Lärmbelastung	Streckenlänge	Anteil Streckennetz bebautes Gebiet CH
Abnahme um mehr als 3 dBA	11.3 km	0.8%
Abnahme um 1 bis 3 dBA	19.4 km	1.4%
Veränderung weniger als 1 dBA	1'328.8 km	95.2%
Zunahme um 1 bis 3 dBA	20.9 km	1.5%
Zunahme um mehr als 3 dBA	14.9 km	1.1%

Tabelle 28 Veränderung der Lärmbelastung in bebautem Gebiet im Szenario B (Zonenmodell)

Veränderung Lärmbelastung	Streckenlänge	Anteil Streckennetz bebautes Gebiet CH
Abnahme um mehr als 3 dBA	43.6 km	3.1%
Abnahme um 1 bis 3 dBA	87.5 km	6.2%
Veränderung weniger als 1 dBA	1'211.5 km	86.1%
Zunahme um 1 bis 3 dBA	32.6 km	2.3%
Zunahme um mehr als 3 dBA	31.4 km	2.2%

Tabelle 29 Veränderung der Lärmbelastung in bebautem Gebiet im Szenario C (Netzmodell)

Veränderung Lärmbelastung	Streckenlänge	Anteil Streckennetz bebautes Gebiet CH
Abnahme um mehr als 3 dBA	30.4 km	2.2%
Abnahme um 1 bis 3 dBA	47.7 km	3.4%
Veränderung weniger als 1 dBA	1'151.3 km	81.6%
Zunahme um 1 bis 3 dBA	91.6 km	6.5%
Zunahme um mehr als 3 dBA	90.1 km	6.4%

Tabelle 30 Veränderung der Lärmbelastung in bebautem Gebiet im Szenario D (ZSZ-Modell)

Veränderung Lärmbelastung	Streckenlänge	Anteil Streckennetz bebautes Gebiet CH
Abnahme um mehr als 3 dBA	44.1 km	3.1%
Abnahme um 1 bis 3 dBA	77.4 km	5.5%
Veränderung weniger als 1 dBA	1'136.8 km	80.1%
Zunahme um 1 bis 3 dBA	66.8 km	4.7%
Zunahme um mehr als 3 dBA	93.8 km	6.6%

Tabelle 31 Veränderung der Lärmbelastung in bebautem Gebiet im Szenario E1 (Gebietsmodell)

Veränderung Lärmbelastung	Streckenlänge	Anteil Streckennetz bebautes Gebiet CH
Abnahme um mehr als 3 dBA	19.7 km	1.4%
Abnahme um 1 bis 3 dBA	43.4 km	3.1%
Veränderung weniger als 1 dBA	1'271.6 km	91.0%
Zunahme um 1 bis 3 dBA	35.1 km	2.5%
Zunahme um mehr als 3 dBA	27.7 km	2.0%

Tabelle 32 Veränderung der Lärmbelastung in bebautem Gebiet im Szenario E2 (Gebietsmodell)

Veränderung Lärmbelastung	Streckenlänge	Anteil Streckennetz bebautes Gebiet CH
Abnahme um mehr als 3 dBA	30.1 km	2.2%
Abnahme um 1 bis 3 dBA	69.5 km	5.0%
Veränderung weniger als 1 dBA	1'124.6 km	81.5%
Zunahme um 1 bis 3 dBA	78.3 km	5.7%
Zunahme um mehr als 3 dBA	76.7 km	5.6%

7.3.2 Schadstoffe

Für die Berechnung der Schadstoffemissionen wurden auf die prognostizierten Schadstoffemissionsfaktoren von BAFU (2004) sowie dem „Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs“ (Buwal, 2004) zurückgegriffen.

Schadstoffemission pro Jahr

Um eine Aussage treffen zu können, welche umweltrelevanten Auswirkungen die verschiedenen Szenarien aufweisen, wurde je Szenario die jährlich ausgestossene Menge an CO₂, NO_x und Feinstaub (PM 10) berechnet. Dafür wurde wie bei der Berechnung der Lärmemissionen je Strecke im Referenzzustand ein durchschnittlicher Lkw-Anteil von 10% auf Autobahnen, respektive 5% auf den übrigen Strassen angenommen und anhand streckenspezifischer Emissionsfaktoren (Autobahnstrecken, Ausserorts- bzw. Innerortsstrecken, aus BAFU (2004) und Buwal (2004)) für PW und LKW zusammen die über jede Strecke emittierten Schadstoffmenge ausgerechnet und über das gesamte Schweizer Strassennetz aufsummiert. Die Auswirkungen des Tanktourismus in die Schweiz durch die Senkung der Benzinspreise in einigen Szenarien können im NPVM nicht berücksichtigt werden und bleiben daher bei der Berechnung der Emissionen insbesondere des CO₂ unberücksichtigt. Zu dieser Fragestellung wurden im Projekt A2 „Bedeutung von Mobility Pricing für die Verkehrsfinanzierung der Zukunft“ (Ecoplan und INFRAS, 2006) Abschätzungen durchgeführt.

In Tabelle 33 sind die Ergebnisse für die jährlich ausgestossenen Mengen an CO₂, NO_x und Feinstaub (PM 10) aufgeführt. Analog zur Veränderung der pro Tag zurückgelegten Fahrzeugkilometer ist auch die Reduktion der Schadstoffemissionen für die Szenarien E2 (Gebietsmodell) und D (ZSZ-Modell) am grössten.

Tabelle 33 Schadstoffausstoss pro Jahr

Szenario	CO ₂ [t/a]	Differenz	NO _x [t/a]	Differenz	PM 10 [t/a]	Differenz
2030 Referenz	10'472'000		17'233		2'901	
Sz. A (Objektpricing)	10'444'000	-0.3%	17'200	-0.2%	2'891	-0.4%
Sz. B (Zonenmodell)	10'365'000	-1.0%	17'112	-0.7%	2'865	-1.3%
Sz. C (Netzmodell)	10'064'000	-3.9%	16'735	-2.9%	2'742	-5.5%
Sz. D (ZSZ-Modell)	9'912'000	-5.4%	16'560	-3.9%	2'691	-7.3%
Sz. E1 (Gebietsmodell)	10'114'000	-3.4%	16'814	-2.4%	2'782	-4.1%
Sz. E2 (Gebietsmodell)	9'586'000	-8.5%	16'185	-6.1%	2'597	-10.5%

Anmerkung: Lkw-Anteil: 10% (Tag) resp. 5% (Nacht)

7.4 Räumliche Auswirkungen von Mobility Pricing

Im Zusammenhang mit den räumlichen Auswirkungen von Mobility Pricing werden

- die Erkenntnisse aus der Studie "Einfluss von Road Pricing auf die Raumentwicklung" des Bundesamtes für Raumentwicklung ARE (Ernst Basler + Partner AG, 2005) beigezogen und
- Auswertungen bezüglich der Zielwähländerungen im Szenario B (Zonenmodell) und D (ZSZ-Modell) vorgenommen, um daraus Interpretationen für die räumlichen Auswirkungen vorzunehmen

Die Szenarien B (Zonenmodell) und D (ZSZ-Strecken) werden hier speziell betrachtet, weil sie als einzige Szenarien eine Bemaatung in speziellen Räumen (Grossstädte) vorsehen und sich somit je nach Siedlungsgebiet unterschiedliche Verkehrswirkungen ergeben. Bei den anderen Szenarien ergeben sich unabhängig vom Raum relativ gleichmässige Veränderungen über die ganze Schweiz, was sich auf die räumlichen Wirkungen nicht bemerkbar macht.

7.4.1 Einfluss von Road Pricing auf die Raumentwicklung

Im Rahmen der Studie „Einfluss von Road Pricing auf die Raumentwicklung“ (EBP, 2005) wurde der Erkenntnisstand zum Thema Road Pricing und Raumentwicklung aufbereitet und für zwei Fallbeispiele qualitative Wirkungen skizziert:

Gebührenpflichtiger Verkehrskordon / Stadtgebühr

Hauptsächlich betroffen sind für ein solches Szenario die Pendler, da in den Spitzenzeiten eine Bemaatung vorgenommen wird. In städtischen Gebieten ist aber insbesondere für Pendler das Umsteigen auf den ÖV attraktiv. Zur Vermeidung der Gebühr ist somit eine Verlagerung des Wohnortes in die Stadt potenziell möglich, resp. umgekehrt bei einem Arbeitsplatz ausserhalb der Stadt. Da für die Wohnortwahl bzgl. Lage innerhalb oder ausserhalb der Stadt (Kordon) andere Faktoren viel wesentlicher sind und gleichzeitig ein Umsteigen auf den ÖV wahrscheinlicher ist, werden die Effekte auf die Raumentwicklung als äusserst gering eingestuft.

Die Effekte eines solchen Bemaatungsszenarios auf Immobilienpreise sind ebenfalls sehr gering. In London gab es bisher keine entsprechenden Beobachtungen, und in Oslo wurden geringfügige Preisrückgänge in einzelnen Gebieten direkt ausserhalb der Zone festgestellt. Generell kann gesagt werden, dass geringe Raumeffekte des Mobility Pricings direkt an der Zonengrenze wahrscheinlich sind und dass allenfalls eine geringfügige Zentralisierungstendenz zur Vermeidung der Gebühr festzustellen ist, da für Fahrten innerhalb der Zone keine

Gebühr bezahlt werden muss. Effektiv konnten aber bisher keine Effekte wirklich erfasst werden.

Fahrleistungsabhängiges Roadpricing

Bei Befragungen in Österreich stellte sich heraus, dass die Bereitschaft zur Standortveränderung bei der Einführung eines fahrleistungsabhängigen Road Pricings nur bei rund 2 bis 3% der Befragten vorhanden war. Generell würden laut Umfragen 2 bis 5% der befragten Bevölkerung bei einer Erhöhung der variablen Fahrkosten eine Standortanpassung in Erwägung ziehen. Ein grosser Teil dürfte sich, tatsächlich vor die Wahl gestellt, nicht entsprechend verhalten.

Grundsätzlich sind neben den dominierenden Modal-Split-Effekten auch weitere Wirkungen wie Fahrtverzicht, Zielwahländerungen sowie Wohn-, Arbeitsort- und Firmenstandortverlagerungen möglich. Diese Effekte treten aber nur auf, wenn die variablen Kosten einer Fahrt nicht über eine Senkung der fixen Fahrzeugkosten kompensiert werden. Ansonsten bleibt das Haushaltsbudget unverändert, womit sich keine Gründe für Standortwechsel ergeben.

Für die Wohnortwahl spielen verschiedenste Faktoren eine Rolle. Die Mobilitätskosten spielen dabei in Bezug auf die Standortwahl im Verhältnis zu den anderen Faktoren eine untergeordnete Rolle. Ein Umziehen z.B. vom Land in die Agglomeration oder Stadt (wo z.B. besseres ÖV-Angebot vorhanden ist und kleinere Distanzen überwunden werden müssen) wird bei der relativ geringfügigen Erhöhung der gesamten Mobilitätskosten durch Mobility-Pricing kaum deswegen in Betracht genommen.

Für die Standortwahl der Unternehmungen sind ebenfalls kaum Effekte zu erwarten. Die Auswirkungen sind hier mit Sicherheit von Branche zu Branche unterschiedlich. Auch wenn im ländlichen Raum die Betroffenheit eher grösser ist (längere Distanzen und schlechtere Alternativen für ÖV), sind die verkehrlichen Effekte gesamthaft zu gering und zu gleichmässig im Raum verteilt, als dass dies einen bemerkbaren Einfluss auf die Standortwahl haben kann.

Fazit

Allgemein werden geringe raumwirksame Effekte erwartet – im Vergleich zu den verkehrlichen Wirkungen aber auch in Hinblick auf die unabhängig davon stattfindende Veränderung der Raumstruktur. Als wichtigste Gründe für diese geringen räumlichen Effekte können angeführt werden:

- Die Verkehrsteilnehmer weichen primär auf andere Verkehrsmittel aus (Modal-Split-Effekte).
- Höhere Verkehrskosten führen nur in geringem Ausmass zur Veränderung von Wohn- und Geschäftsstandorten. Viele andere Effekte sind neben den Transportkosten für die Wohn- und Standortwahl wichtiger oder ebenfalls von Bedeutung. Auch werden die Mobilitätskosten insgesamt nur geringfügig erhöht (oder z.T. nur von fixen zu variablen Kosten verlagert). Somit verändert man einen untergeordneten Faktor für die Standortwahl nur zu einer geringen Masse, was sich kaum auf die Raumentwicklung bemerkbar machen dürfte.
- Unternehmen in den bemautekten Zonen sind über die veränderte Attraktivität für Kundinnen und Kunden betroffen. Eine Gebühr kann die Attraktivität steigern, sei dies aufgrund der Reduktion des Strassenverkehrs (bessere zeitliche Erreichbarkeit wegen Staureduktion) oder aufgrund einer Rückverteilung der Einnahmen oder Verbesserung des Verkehrsangebotes (ÖV- und / oder Verkehrsinfrastruktur).

Der heute beobachtete Trend (z.B. durch Verlagerung von Geschäften aus der Innenstadt in die Einkaufszentren am Stadtrand) wird durch Road Pricing kaum verstärkt, aber auch nicht durch die verbesserte zeitliche Erreichbarkeit der Innenstadt abgewendet.

7.4.2 Beurteilung der räumlichen Wirkungen für die Mobility-Pricing-Szenarien

Szenario A (Objektpricing)

Die grundsätzlich geringfügig zu erwartenden Effekte gelten auch beim Objektpricing. Da sich ganz lokal verkehrliche Veränderungen ergeben (z.B. durch einen Umfahrungstunnel, der bepreist wird), sind in einem sehr geringfügigem Umkreis auch räumliche Veränderungen potenziell denkbar. Doch auch hier überwiegen wiederum andere, wesentlich wichtigere Faktoren für die Standortwahl als die Mobilitätskosten.

Szenario C (Netzmodell) und E (Gebietsmodell)

Da diese beiden Szenarien gleichmässig und flächendeckend über die ganze Schweiz wirken, sind aufgrund der Erkenntnisse aus der ARE-Studie "Einfluss von Road Pricing auf die

Raumentwicklung" (EBP, 2005) keine oder kaum Effekte auf die Raumentwicklung zu erwarten.

Szenario B (Zonenmodell) und D (ZSZ-Modell)

Da bei diesen beiden Szenarien in den grössten Städten der Schweiz Gebühren erhoben werden und somit als einzige Szenarien in bestimmten Räumen unterschiedliche Veränderungen der Mobilitätskosten entstehen, sind hier am ehesten räumliche Wirkungen zu erwarten. Deshalb wird im folgenden Kapitel auf Auswertungen zur Zielwahländerung in den Szenarien B (Zonenmodell) bzw. Szenario D (ZSZ-Strecken) näher eingegangen. Grundsätzlich sind aber auch in diesen Szenarien aufgrund der Erkenntnisse der ARE-Studie "Einfluss von Road Pricing auf die Raumentwicklung" (EBP, 2005) kaum Effekte auf die Raumentwicklung zu erwarten.

7.4.3 Spezifische Auswertung der Zielwahlveränderungen

Die nachfolgende Tabelle 34 zeigt die Zielwahlveränderungen im motorisierten Individualverkehr (MIV) gemäss Szenario B (Zonenmodell), welche auch im Szenario D (ZSZ-Modell) verwendet wurde. Diese sind für die Interpretation in Hinblick auf räumliche Veränderungen von Relevanz. Die Auswertung erfolgt nach Relation zwischen den aggregierten ARE-Gemeindetypen. Diese werden in Hinblick auf die Auswertung wie folgt zusammengefasst:

- 1 Pricing-Zone
- 2 Agglomeration
- 3 Mittel- und Kleinzentrum
- 4 Ländliche Gemeinde

Befinden sich Start und Ziel innerhalb derselben Stadt und wird somit die Pricing-Zone nicht verlassen, wird die Fahrt der Relation 0-0 zugeordnet. Hier ist eine deutliche Zunahme der Fahrten zu erwarten. Bei Fahrten mit Start- und Zielort gleichen Gemeindetyps (1-1, 2-2, 3-3, 4-4) sind nur geringe Veränderungen feststellbar. Bei den Fahrten zwischen Städten (1-1) werden folglich nur diejenigen Fahrten gezählt, welche nicht innerhalb der gleichen Pricing-Zone stattfinden. Die Fahrten innerhalb derselben Pricing-Zone (0-0) sind in einer separaten Tabelle 35 aufgelistet und kommentiert.

MIV-Fahrten mit Start oder Ziel in einer Pricing-Zone nehmen um rund 11 bis 16% ab. Alle übrigen Relationen verzeichnen einen Fahrtenzuwachs von ca. 1 bis 4%.

Tabelle 34 MIV-Zielwahlveränderung nach Gemeindetyp-Relation

Relation (nach Gemeindetyp)	Referenz- zustand MIV	Absolute Zielwahlver- änderung MIV	Relative Zielwahlver- änderung MIV
	Anzahl Fahrten / Tag	Zu- / Abnahme	Differenz
0 – 0	821'109	104'325	12.7%
1 – 1	70'630	-1'548	-2.2%
1 – 2 , 2 – 1	1'299'056	-142'631	-11.0%
1 – 3 , 3 – 1	295'404	-35'950	-12.2%
1 – 4 , 4 – 1	279'972	-44'245	-15.8%
2 – 2	1'374'717	52'186	3.8%
2 – 3 , 3 – 2	493'962	15'863	3.2%
2 – 4 , 4 – 2	553'452	16'901	3.1%
3 – 3	1'574'865	12'980	0.8%
3 – 4 , 4 – 3	1'726'736	19'944	1.2%
4 – 4	1'008'951	10'340	1.0%
Summe	9'498'854	8'165	0.1%

Wie in Tabelle 35 ersichtlich ist, hängt die Fahrtenveränderung innerhalb der Grossstädte von deren Einwohnergrösse ab.

Tabelle 35 Zielwahlveränderung der MIV-Fahrten zwischen den Stadtzonen der jeweiligen Kordonpricingzonen (Relation 0-0)

Stadt	Referenz- zustand MIV	Absolute Zielwahlver- änderung MIV	Relative Zielwahlver- änderung MIV
	Anzahl Fahrten / Tag	Zu- / Abnahme	Veränderung in %
Zürich	278'632	30'943	11.1%
Genf	138'261	14'985	10.8%
Basel	107'130	12'056	11.3%
Lausanne	79'947	10'463	13.1%
Bern	75'204	10'985	14.6%
St. Gallen	36'049	5'085	14.1%
Winterthur	32'244	6'219	19.3%
Luzern	31'536	5'569	17.7%
Biel	27'213	5'310	19.5%
Thun	14'893	2'710	18.2%
Summe	821'109	104'325	12.7%

In den drei grössten Schweizer Städten (Zürich, Genf, Basel) ist die Zunahme der Fahrten mit rund 11 % deutlich geringer als in den kleineren Städten wie Winterthur, Luzern, Biel und Thun, wo die Zunahme mit 18 bis 19% deutlich höher ausfällt. In diesen Städten sind die Zonen, in der eine Maut erhoben wird, räumlich gesehen deutlich kleiner, und der Anteil an

Fahrten über die Mautgrenze ist daher ohne Zielwahlveränderung höher als in den grösseren Städten.

Folgerungen

Wie die Berechnungen der Zielwahlveränderungen für das Szenario B (Zonenmodell) und das Szenario D (ZSZ-Strecken) zeigen, nimmt derjenige Verkehr, welcher die Grenze der Pricing-Zone überfährt, deutlich ab. Deshalb ist es möglich, dass im Raumbereich, der unmittelbar an der Zonengrenze liegt, Unternehmen mit einem leichten Rückgang der Kundenfrequenzen rechnen müssen, sofern sie als Anbieter von Produkten durch Konkurrenz diesseits der Zonengrenze (aus Kundensicht) ersetzbar sind.

7.5 Auswirkungen von Mobility Pricing auf ÖV-Unternehmungen

7.5.1 Auswirkungen auf die ÖV-Nachfrage

In der folgenden Tabelle 36 sind die Auswirkungen der einzelnen Mobility Pricing Szenarien auf die mit dem öffentlichen Verkehr zurückgelegten Personenkilometer pro Werktag in der Schweiz dargestellt. Zu Vergleichszwecken sind ebenfalls die Werte für das Jahr 2000 aus dem NPVM angeführt.

Tabelle 36 Auswirkungen der Mobility Pricing Szenarien auf die ÖV-Personenkilometer

in Mio. pro Tag	Bahn	Veränderung Bahn		Bus	Veränderung Bus	
	P-km	P-km	%	P-km	P-km	%
NPVM 2000	40.205	-21.346	-34.7	4.749	-1.164	-19.7
Referenz 2030	61.551			5.913		
Sz. A (Objektpricing)	61.645	0.094	0.2	5.916	0.003	0.1
Sz. B (Zonenmodell)	65.925	4.374	7.1	6.434	0.521	8.8
Sz. C (Netzmodell)	65.336	3.785	6.2	6.033	0.120	2.0
Sz. D (ZSZ-Modell)	69.739	8.188	13.3	6.549	0.636	10.8
Sz. E1 (Gebietsmodell)	65.912	4.361	7.1	6.203	0.290	4.9
Sz. E2 (Gebietsmodell)	68.564	7.013	11.4	6.547	0.634	10.7

Das Objektpricing (Szenario A) führt nur in unwesentlichem Mass zu einer Mehrbenutzung der öffentlichen Verkehrsmittel, da das Strassennetz insgesamt kaum an Attraktivität einbüsst, was einige Verkehrsteilnehmer zu einem Wechsel des Verkehrsträgers bewegen könnte.

Auffallend ist die unterschiedliche Zunahme der Personenkilometer bei Bahn und Bus. Je nach Mobility Pricing Modell nimmt der Bahnverkehr deutlich stärker zu als der Busverkehr. Einzig im Szenario B (Zonenmodell) nimmt der Busverkehr mehr zu als der Bahnverkehr, da durch das für dieses Szenario gewählte Mobility Pricing Modell gerade Busverbindungen zwischen Agglomerationsgemeinden und Grossstädten deutlich an Attraktivität gewinnen.

Im Szenario C (Netzmodell) ist deutlich erkennbar, dass eine Mautgebühr für die Benutzung des Netzes von Bedeutung und des Nationalstrassennetzes die Attraktivität von Bahnverbindungen erhöht. Der Vergleich der beiden Gebietsmodell-Szenarien E1 und E2 zeigt, dass trotz jeweils gleicher absoluter Erhöhung der Abgabe für MIV und ÖV die Zunahme der ÖV-Personenkilometer im Szenario E2 (Gebietsmodell) deutlich stärker ausfällt.

7.5.2 Auswirkungen der Mobility Pricing Szenarien auf die ÖV-Einnahmen

Die Zunahme auf der ÖV-Einnahmenseite (Bahn bzw. Bus) ist in der folgenden Tabelle 37 ersichtlich. Die Berechnungen der Einnahmen basieren auf einem Wert von 16 Rappen pro Personenkilometer. Einzige Ausnahme bildet das Szenario E2 (Gebietsmodell), bei welchem mit einem Erlös von 24.37 Rappen pro Personenkilometer gerechnet wird. So beträgt die Zunahme im Szenario E2 (Gebietsmodell) der gefahrenen Personenkilometer (Bahn und Bus, Mittelwert) 11.33%, während sich die Einnahmen um rund 69% erhöhen.

Tabelle 37 Auswirkungen der Mobility Pricing Szenarien auf die ÖV-Einnahmen pro Tag

Szenario in CHF	Bahn	Veränderung Bahn		Bus	Veränderung Bus	
	Mio./Tag	Mio./Tag	%	Mio./Tag	Mio./Tag	%
2030 Referenz	9.85			0.95		
Sz. A (Objektpricing)	9.86	0.02	0.2	0.95	0.00	0.1
Sz. B (Zonenmodell)	10.55	0.70	7.1	1.03	0.08	8.8
Sz. C (Netzmodell)	10.45	0.61	6.2	0.97	0.02	2.0
Sz. D (ZSZ-Modell)	11.16	1.31	13.3	1.05	0.10	10.8
Sz. E1 (Gebietsmodell)	10.55	0.70	7.1	0.99	0.05	4.9
Sz. E2 (Gebietsmodell)	16.71	6.86	69.7	1.60	0.65	68.6

Tabelle 38 zeigt die nach Szenarien berechneten jährlichen Einnahmen für den öffentlichen Verkehr.

Tabelle 38 Auswirkungen der Mobility Pricing Szenarien auf die ÖV-Einnahmen pro Jahr

Szenario in CHF	Bahn	Bus	Bahn + Bus	Veränderung	
	Mio. /a	Mio./a	Mio./a	Mio./a	%
2030 Referenz	3'595	345	3'940		
Sz. A (Objektpricing)	3'600	346	3'946	6	0.2
Sz. B (Zonenmodell)	3'850	376	4'226	286	7.3
Sz. C (Netzmodell)	3'816	352	4'168	228	5.8
Sz. D (ZSZ-Modell)	4'073	383	4'455	515	13.1
Sz. E1 (Gebietsmodell)	3'849	362	4'212	271	6.9
Sz. E2 (Gebietsmodell)	6'099	583	6'681	2'742	69.6

7.5.3 Interpretation der ÖV-Nachfrage je Szenario

Szenario A (Objektpricing)

Nur in der Region Zürich sind Auswirkungen des Mobility Pricings auf das Verhalten der Verkehrsteilnehmer zu erkennen, bedingt durch das Objektpricing auf Netzergänzungen beziehungsweise Value-Pricing auf Ausbauten.

Szenario B (Zonenmodell)

Hier sind die Einflüsse des Mobility Pricings sehr deutlich erkennbar. Im Einzugsgebiet der Städte mit Zonenmaut nimmt die Belastung auf den radial in die Städte verlaufenden Linien, insbesondere auch auf den Buslinien, des öffentlichen Verkehrs zu.

Szenario C (Netzmodell)

Wie zu erwarten war, wird die Nachfrage im öffentlichen Verkehr auf den interregionalen und nationalen Verbindungen grösser, da auf dem Nationalstrassennetz und dem Netz von Bedeutung eine Maut erhoben wird. S-Bahn- und Nahverkehrslinien sind nicht so stark von einer Nachfragesteigerung betroffen.

Szenario D (ZSZ-Modell)

Die Kombination von Szenario B (Zonenmodell) und C (Netzmodell) zeigt sich auch in den Abbildungen deutlich: Sowohl im radialen Einzugsbereich von Grosstädten als auch auf dem ÖV-Netz entlang der Autobahnen (Ost-West-Achse) tritt eine Nachfragesteigerung ein.

Szenario E (Gebietsmodell)

Der Vergleich der Abbildungen der Gebietsmodell-Szenarien E1 und E2 zeigt, dass die zusätzliche ÖV-Nachfrage in beiden Szenarien an der gleichen Stelle auftritt. Einziger Unterschied ist die Grösse des Nachfragezuwachses; in Szenario E2 (Gebietsmodell) nimmt die Nachfrage deutlich stärker zu.

7.5.4 Allgemeine Aussagen zum ÖV

Je Mobility Pricing Szenario resultiert eine unterschiedliche Mehrzahl an Personenfahrten mit den öffentlichen Verkehrsmitteln. Die daraus resultierenden Mehreinnahmen (16 Rappen pro Personenkilometer) fliessen jedoch nicht als zusätzlicher Gewinn in die Kassen der ÖV-Betreiber, sondern müssen grundsätzlich verwendet werden, um den entstehenden Mehraufwand zu entschädigen. Je grösser die Mehrbelastung des ÖV-Netzes ist, desto höher sind auch dessen Kosten.

Für die ÖV-Betreiber ist eine Mehrbelastung in den Spitzenstunden des Weiteren nicht unproblematisch, da zu diesen Zeiten sowohl die Strecken als auch die Züge bzw. Busse selbst vielerorts bis an die Kapazitätsgrenzen ausgelastet sind. Zusätzliche Kapazitäten können oft nur mit teuren Infrastrukturmassnahmen oder dem Kauf von leistungsfähigeren Fahrzeugen (Doppelstock-Wagen bzw. (Doppel-)Gelenkbusse) ermöglicht werden.

8 Schlussfolgerungen und Forschungsbedarf

Die Aufgabenstellung war, die taktischen Nachfrageveränderungen im Personenverkehr für die definierten Mobility Pricing Szenarien zu quantifizieren sowie die Auswirkungen auf den Raum und die Umwelt zu analysieren. Die Arbeiten konnte in einem relativ kurzen Zeitraum bewältigt werden.

Dies war aber nur möglich, da die entsprechenden Grundlagen vorhanden waren. Dies bestätigt den in der Schweiz auf Bundesebene verfolgten Ansatz, die Modellerstellung und Anwendung zu trennen sowie die Grundmodelle, wie z.B. das Nationale Personenverkehrsmodell des VM-UVEK (Federführung liegt beim Bundesamt für Raumentwicklung, ARE), vorzuhalten.

Die Einführung von Mobility Pricing zwingt die Verkehrsteilnehmer, sich bei ihren Entscheidungen zum Mobilitätsverhalten mit einer weiteren Angebotskomponente zu beschäftigen. Die Verhaltensänderungen können je nach definierter Pricing-Komponente Zielwahl-, Verkehrsmittelwahl-, Routenwahl- und Abfahrtszeitveränderungen sein. Für die Quantifizierung dieser sind angesichts der unterschiedlichen Zahlungsbereitschaft und Kostenwahrnehmung der Verkehrsteilnehmer die Anwendung von diskreten Entscheidungsmodellen und stochastischen Umlegungsverfahren notwendig. Mit vereinfachten Ansätzen auf Grundlage der Elastizitäten-Methode sind nur grobe Abschätzungen auf einem stark aggregierten Niveau möglich.

Die Modellergebnisse zeigen plausible Resultate und die erwarteten Wirkungszusammenhänge. Insgesamt sind die Nachfrageverlagerungen vom MIV zum ÖV moderat, da die zusätzliche Maut durch die Einführung von Mobility Pricing in den Szenarien auch meist mit einer Verringerung des Benzinpreises gekoppelt ist.

Szenario A (Objektpricing) sieht ein Objekt- und Valuepricing an einigen ausgewählten Streckenabschnitten vor. Die Mauthöhe wurde derart festgelegt, dass die Summe der Einnahmen über alle ausgewählten Projekte maximiert wird. Das Szenario A hat aufgrund der Definition und der erforderlichen Vergleichbarkeit zu den anderen Szenarien nur geringe Wirkung auf die Nachfrage. Die Auswirkungen sind lokal begrenzt und eine Verlagerung vom MIV auf den ÖV ist kaum feststellbar.

Das Szenario B (Zonenmodell) ist als Kordon-Maut definiert und dabei wird für jede Überfahrt der Gemeindegrenzen einer der 11 grössten Schweizer Städte in den Spitzenstunden (6-8 und 16-18 Uhr) eine Maut von 3 Franken erhoben. Hier sind die Wirkungen in den Agglomerationsgebieten deutlich sichtbar. Es erfolgt eine Verschiebung der Zielwahl hin zu mehr Fahrten im MIV innerhalb der Pricing-Zonen, als auch eine Verlagerung auf den ÖV und eine Verflachung des Spitzenstundenverkehrs. Zusätzlich entstehen aber auch MIV-

Umfahrungsverkehre um die Pricing-Zone. Bei der Lärmentwicklung und der Strassenverkehrssicherheit zeigt dieses Szenario positive Effekte. Der ÖV gewinnt im Umkreis der Städte auf den Radiallinien in den Spitzenstunden Fahrgäste dazu, dies kann aber zu ÖV-Zusatzinvestitionen führen. Die raumstrukturellen Auswirkungen durch Szenario B können direkt an den Pricingzonengrenzen, also lokal sehr begrenzt, und mit geringer Intensität auftreten.

Szenario C (Netzmodell) sieht eine Abgabe von 4 Rp. pro Fz-km auf dem Nationalstrassennetz und dem Netz von Bedeutung (insgesamt ca. 5'000 km) vor. Gleichzeitig wird der Mineralölsteuerzuschlag um 12 Rp. pro Liter Benzin gesenkt. Das Szenario C beeinflusst die Verkehrsmittelwahl der längeren Wege Richtung ÖV und entlastet durch Verlagerung von Fahrten auf den Autobahnen ins untergeordnete Netz das Hochleistungsstrassennetz. Andererseits ändert sich dadurch die Verkehrsbelastung in den bebauten Gebieten. Die MIV-Aussen- und Transitverkehre werden in ihrer Routenwahl beeinflusst und vermehrt auf ausländische Strecken verlagert. Die Verlagerung von Fahrzeugkilometern ins untergeordnete Netz bringt insbesondere bei der Lärmbelastung und bei der Strassenverkehrssicherheit negative Aspekte mit sich. Die Tagesdurchschnittsgeschwindigkeit auf den Autobahnen nimmt in den dicht besiedelten Gebieten zu. Die ÖV-Zuwächse konzentrieren sich auf die interregionalen und nationalen Verbindungen.

Das Szenario D (Zonen-Strecken-Zonen-Modell) kombiniert das Szenario B (Zonenmodell) und C (Netzmodell) und führt sowohl in den Agglomerationen als auch auf den Autobahnen zu einer Entlastung. Teilweise heben sich die Wirkungen der Szenarien B und C gegenseitig auf. Dies zeigt sich sowohl bei der Lärmbelastung mit moderaten Verschlechterungen als auch bei der Strassenverkehrssicherheit mit geringen Verbesserungen. Die durchschnittliche Geschwindigkeit pro Tag nimmt auf den Autobahnen zu. Im ÖV kommt es sowohl auf den radial auf die Städte zulaufenden Linien als auch auf den übergeordneten Verbindungen zu Fahrgastgewinnen.

Im Szenario E1 (Gebietsmodell mit km-Abgabe) ist eine distanzabhängige Abgabe von 4 Rp. pro Fz-km im gesamten Schweizer Strassennetz vorgesehen, zusätzlich wird der Mineralölsteuerzuschlag von 30 Rp. pro Liter abgeschafft. Szenario E1 hat aufgrund der geringen Mauthöhe und der gleichzeitigen Senkung des Benzinpreises nur eine geringe Wirkung auf die Nachfrage. Auch hier erfolgt sowohl eine Verlagerung vom MIV zum ÖV als auch eine Beeinflussung der Aussen- und Transitfahrten. Hier zeigen sich nur geringe und räumlich ausgeglichene verteilte Veränderungen bei den Umweltauswirkungen als auch bei der Strassenverkehrssicherheit. Es zeigt sich ein leichter Anstieg der Tagesdurchschnittsgeschwindigkeit auf Autobahnen und eine leichte Verringerung im untergeordneten Netz.

Für Szenario E2 (Gebietsmodell mit km-Abgabe) wurde von generell hohen Mobilitätskosten ausgegangen. Die km-Abgabe beträgt 15 Rp. pro Fz-km, der Mineralölsteuerzuschlag von 30 Rp. pro Liter Benzin wird abgeschafft und die ÖV-Preise werden im gleichen absoluten Ausmass wie die gesamten variablen MIV-Preise erhöht, daher steigen die ÖV-Preise pro P-

km um mehr als 50%. Szenario E2 bewirkt aufgrund der Mauthöhe eine Verlagerung von MIV-Fahrten auf den ÖV. Bei der Routenwahl ist einerseits eine erhöhte Distanzsensibilität, welche teilweise zu höherer Belastung im untergeordneten MIV-Netz führt, als auch andererseits eine massive Verlagerung der Aussen- und Transitfahrten auf das ausländische Strassennetz bemerkbar. Durch die Verlagerung von MIV-Fahrten ins untergeordnete Netz kommt es zu unerwünschten Effekten bei der Strassenverkehrssicherheit und der Lärmentwicklung. Die durchschnittliche Geschwindigkeit pro Tag im Autobahnnetz steigt an, auf einigen Netzabschnitten, wie z.B. dem Gotthard-Tunnel, massiv, im untergeordneten Netz kommt es teilweise zu einer Verringerung der Geschwindigkeit. Beim ÖV gewinnen die interregionalen und nationalen Verbindungen massiv dazu. Auch zeigt das Szenario E2, in welchem das höchste Abgabenniveau der untersuchten Szenarien vorgesehen ist, im Vergleich zu den Werten aus dem NPVM für das Jahr 2000, dass die MIV-Verkehrsleistung im Jahr 2030 auch mit einem Mobility Pricing System mit hohen Mobilitätskosten signifikant höher liegen würde als im Jahr 2000.

Weiterer Forschungsbedarf

Während der Bearbeitung des Projektes zeigte sich bei folgenden Themenbereichen weiterer Forschungsbedarf:

Die Berechnung der Verschiebung der Abfahrtszeitwahl ist für die Beurteilung von Strassenbauprojekten in Agglomerationen unbedingt erforderlich. Das NPVM ist für die Modellierung von Überlastungsfunktionen innerhalb von Grossstädten zu wenig fein aufgelöst. Daher ist es wünschenswert, die Wirkung einer tageszeitabhängigen Maut an einem stundenfeinen kantonalen oder städtischen MIV-Modell zu testen, in welchem das innerstädtische Strassennetz und die Nachfrage vollständig inklusive der Knoten- bzw. Abbiegewiderstände und des Rückstauverhaltens abgebildet sind.

Der Parameter für die MIV-Verlässlichkeit musste bei der Berechnung der Nutzenfunktion unberücksichtigt bleiben, da für die relevante Frage in der SP-Erhebung im Projekt B1 „Verspätung von mindestens 10 Minuten bei jeder x-ten, z.B. zehnten, Fahrt“ keine Funktion in makroskopischen Verkehrsmodellen bekannt ist. Dafür müssten mit vergleichenden Analysen von mikroskopischen und makroskopischen Modellansätzen entsprechende Funktionen erarbeitet werden.

Die langfristigen, strategischen Effekte, wie die veränderte Ausstattung mit Personenwagen und ÖV-Abonnements, den so genannten Mobilitätswerkzeugen, oder Wechsel von Wohnort und Arbeitsplatz, sind bisher (zu) wenig mit schlüssigen quantitativen Methoden untersucht worden. Eine aktuelle Arbeit auf dem Gebiet Raumnutzung und Verkehr für den Grossraum Zürich stellen Löchl, Bürgle und Axhausen (2007) vor.

In der Schweiz wurden bisher vorwiegend Verkehrsmodelle für den DWV (durchschnittlicher Werktagsverkehr) erstellt. Eine gültige Formulierung für die Umrechnung von DWV-Werten

aus Verkehrsmodellen auf DTV und Jahreswerte liegt nicht vor. Auch ein grossräumiges Modell für den Wochenend- und Feiertagsverkehr ist nicht bekannt. Es ist aber anzunehmen, dass die Struktur der Nachfrage an Wochenenden bzw. Feiertagen deutlich unterschiedlich von den Werktagen ist. Daher ist sowohl für eine realitätsnahe Berechnung vom durchschnittlichen täglichen Verkehr (DTV) als auch für Jahreswerte sowohl ein Werktags- als auch ein Wochenend- und Feiertagsmodell notwendig, um die Beziehungen und Verhältnisse abschätzen zu können.

Bei der ÖV-Umlegung wird beim heutigen Stand der Technik von keiner Kapazitätsbeschränkung der ÖV-Linien ausgegangen. Eine Erweiterung der ÖV-Umlegung um Kapazitätsbeschränkungen sowie auslastungsspezifischen Komfortfaktoren stellt ein interessantes Forschungsthema da.

Literatur

- ARE (2006) Expertengruppe Verkehrsdaten, Statusbericht vom 30. November 2006, Bern.
- BAFU (2004) Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980 – 2030, Schriftenreihe Umwelt NR. 355, Luft, des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL / BAFU, Bern.
- BfU (2004) Unfall- und Verunfalltenrate Schweiz 2003, Auswertung von Herrn Allenbach (BfU) 13.10.2004.
- BUWAL (2004) HBEFA; Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Bern.
- Cascetta, E. (2001) Transportation Systems Engineering: Theory and Methods, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- EBP und BBAG (2007) Zukünftige Entwicklung Bahninfrastruktur (ZEB): Modellarbeiten - Vorgehens- und Erfahrungsbericht, Ernst Basler + Partner AG und Buchhofer Barbe AG, im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr, Bern.
- EBP (2005) Einfluss von Road Pricing auf die Raumentwicklung, Schlussbericht, Ernst Basler + Partner AG, Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Bern.
- Ecoplan und INFRAS (2006) Projekt A2 „Bedeutung von Mobility Pricing für die Verkehrsfinanzierung der Zukunft“, Forschungspaket Mobility Pricing Einzelprojekt A2, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern.
- Koblo, R., S. Rommerskirchen, M. Vödtsch, M. Hery, S. Judmayr, N. Sedlacek und A. Gorisse (1997) Study of the Development of Transalpine Traffic (Goods and Passengers) Horizon 2010, European Commission for Transport DG VII, Basel.
- König, A., K.W. Axhausen und G. Abay (2004) Zeitkostenansätze im Personenverkehr: Hauptstudie, Forschungsbericht SVI 2001/534, IVT, RappTrans AG, Zürich.
- Löchl, M., M. Bürgle und K.W. Axhausen (2007) Implementierung des integrierten Flächen-nutzungsmodells UrbanSim für den Grossraum Zürich - ein Erfahrungsbericht, DISP, 168, 13-25.
- Marchal, F. (2003) Departure time choice modeling, Vortrag, IVT-Seminar, Juni 2003.
- Schnabel, W. und D. Lohse (1997) Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und Straßenverkehrsplanung, Band 2. Verlag für Bauwesen, Berlin.
- Ortuzar, J. de D. und L.G. Willumsen (2001) Modelling Transport, 3. Auflage, Wiley, Chichester.
- PTV (2006) Benutzerhandbuch VISUM 9.5, Planung Transport Verkehr AG, Karlsruhe.
- PTV Swiss (2007) Systemtechnische und betriebswirtschaftliche Aspekte des Mobility Pricing, Forschungspaket Mobility Pricing Einzelprojekt C1, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern.
- ProgTrans (2004) European Transport Report 2004, Basel.
- RappTrans (2007) Entwicklungsindizes des Schweizerischen Strassenverkehrs: Fortschreibung 1995 – 2006, im Auftrag des Bundesamtes für Strassen (ASTRA), Basel.
- Vrtic, M. (2003) Simultanes Routen- und Verkehrsmittelwahlmodell, Dissertation, Fakultät für Verkehrswissenschaften, TU Dresden, Dresden.
- Vrtic, M. und K.W. Axhausen (2003) Experiment mit einem dynamischen Umlegungsverfahren, Strassenverkehrstechnik, 47 (3) 121-126.

- Vrtic, M., K.W. Axhausen, N. Schüssler, A. Erath, R. Maggi und M. Bierlaire (2006) Einbezug von Reisekosten bei der Modellierung des Mobilitätsverhalten, Forschungspaket Mobility Pricing, Bundesamt für Strassen, UVEK, Bern.
- Vrtic, M., N. Schüssler und A. Erath (2007) Tageszeitliche Fahrtenmatrizen im Personenverkehr, Im Auftrag des Bundesamtes für Raumentwicklung, Strassen und Verkehr, UVEK, Bern.
- Vrtic, M., P. Fröhlich, N. Schüssler, K.W. Axhausen, S. Dasen, S. Erne, B. Singer, D. Lohse und C. Schiller (2005) Erzeugung neuer Quell-Ziel-Matrizen im Personenverkehr, im Auftrag des Eidgenössischen Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), des Bundesamtes für Raumentwicklung (ARE), des Bundesamtes für Strassen (ASTRA) und des Bundesamtes für Verkehr (BAV), IVT, ETH Zürich, Emch+Berger AG und Lehrstuhl für Verkehrsplanung, TU Dresden, Zürich und Dresden.