

Gutachten zum Ausführungsprojekt

Gesamtsystems Bypass Luzern

Prof. Dr. Alexander Erath

Basel, 20.11.2021

Auftraggeber: Verkehrs-Club Schweiz, Sektion Luzern

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	3
1 Ausgangslage	4
2 Motivation und Vorgehen bei der Begutachtung	4
3 Verkehrsprognose	4
3.1 Modellgrundlagen	5
3.2 Prognose Alters- und Siedlungsentwicklung	7
3.3 Verkehrsverhalten	7
3.4 Beurteilung der Verkehrsprognose im Kontext des Ausführungsprojektes	9
4 Dimensionierung der Knoten bei den Autobahnanschlüssen	10
5 Wechselwirkung mit dem kantonalen Projekt Spange Nord	12
6 Empfehlungen	13
7 Literatur	14

Kurzfassung

Die Sektion Luzern des Verkehrsclubs Schweiz hat Prof. Dr. Alexander Erath (FHNW) und Prof. Dr. Kay Axhausen mit der Erarbeitung eines unabhängigen Gutachtens der für das Ausführungsprojekt «Gesamtsystem Bypass» erstellten Prognose der Verkehrsnachfrage und deren Bewertung im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse beauftragt. Die Grundlage für dieses Gutachten bildet der Technische Bericht des Ausführungsprojekts (Bundesamt für Strassen 2020), sowie die darin erwähnten Vorarbeiten (SNZ Ingenieure und Planer 2018, S-ce consulting 2019)

Dieses Gutachten umfasst eine Beurteilung der Prognose der Verkehrsnachfrage und der vorgesehenen verkehrlich flankierenden Massnahmen.

Ziel des Gutachtens ist es die dem Ausführungsprojekt zugrunde liegende Verkehrsprognose inhaltlich zu beurteilen und die Wirkung möglicher Vereinfachungen der Verkehrsmodellierung in Bezug auf die Beurteilung des Projekts im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse einzuschätzen. Zusätzlich werden die derzeit in der Schweiz eingesetzten Methoden zur Beurteilung von für Strasseninfrastrukturprojekte in Bezug auf die Berücksichtigung des zu erwartenden Mehrverkehrs, die Berücksichtigung der Wirkung auf die Siedlungswirkung sowie der Bewertung von Externalitäten, wie zum Beispiel der Klimakosten, thematisiert.

Die dem Ausführungsprojekt zugrunde liegende Verkehrsprognose basiert auf einem für den Prognosehorizont 2030 erstellten Gesamtverkehrsmodell. Die Verhaltensdaten des Gesamtverkehrsmodells basieren auf Befragungsdaten aus dem Jahr 2000. Die vorhandenen räumlichen Unterschiede beim ÖV-Abonnementsbesitz werden bezüglich der Verkehrsmittelwahl nicht berücksichtigt. Zudem werden im Modell für das Stadtgebiet und die umliegenden Gemeinden zu hohe Autobesitzraten angenommen. Demgemäss muss erwartet werden, dass im Gebiet der Stadt Luzern und den umliegenden Gemeinden die Anzahl der MIV-Fahrten überschätzt wird. Neben dem Transitverkehr führt der Bypass in diesen Gebieten aufgrund der Entlastung der Stadtautobahn auch zu Reisezeitverbesserungen im Quell-/Zielverkehr. Eine Überschätzung der MIV-Fahrten führt somit auch dazu, dass der Nutzen dieser Reisezeitverbesserungen überschätzt wird.

Für die Beurteilung der verkehrlichen Wirkung des Bypasses wurde ein monomodales Verkehrsmodell eingesetzt. Die für das Jahr 2040 erwartete MIV-Nachfrage wurde aufgrund der zwischen 2017 und 2040 angenommenen Bevölkerungsentwicklung prognostiziert. Dabei wird die Wirkung wesentlicher ÖV-Angebotsverbesserungen, wie sie z.B. der Durchgangsbahnhof Luzern ermöglicht, nicht berücksichtigt.

Die aufgrund des Bevölkerungswachstums gesteigerte MIV-Nachfrage führt zu Reisezeitverlängerungen. Um die nachfragesenkende Wirkung dieser Reisezeitverlängerungen im monomodalen Verkehrsmodell abzubilden, wurde auf Basis von Nachfrageelastizitäten die Nachfrage einzelner Fahrbeziehungen je nach erwarteter Veränderung der Reisezeit reduziert. Da die Reisezeitverlängerung mit Bypass geringer ausfallen, als im Ausgangszustand ohne Bypass, wird mit einer gegenüber des Ausgangszustands leicht höheren Nachfrage gerechnet. Aus dem technischen Bericht zum Ausführungsprojekt wird jedoch nicht klar, ob im Projektzustand mit Bypass auf einzelnen Fahrbeziehungen auch mit verringerten Reisezeiten zu rechnen ist und ob die nachfragesteigernde Wirkung solcher Reisezeitreduktionen berücksichtigt worden sind. Aufgrund der

Bei grossen Projekten, wie dem Bypass Luzern, muss die verkehrliche Wirkung mit einem multimodalen Verkehrsmodell berechnet werden, das nicht nur Routen- und Verkehrsmittelwahl sondern iterativ auch Zielwahleffekte abbildet. Die Norm SN 641 820 «Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr» (VSS 2006) sieht vor. Nur so kann die Wirkung neuer Infrastrukturen auf die Fahrtweitenverteilung und den dadurch induzierten Verkehr dargestellt werden. Aufgrund der deutlichen Entlastung der Stadtautobahn durch

den Bypass sind dabei nicht nur beim Transit- sondern auch im städtischen Quell-/Zielverkehr Reisezeitverbesserungen und somit eine auch bezüglich der zurückgelegten Distanzen nachfragesteigernde Wirkung zu erwarten.

Bei der Abschätzung der Nachfragewirkung des Bypass wird nicht abgebildet, dass sich die Erreichbarkeitsverbesserungen ebenfalls auf die Siedlungsentwicklung auswirkt. Auch dies führt dazu, dass der durch den Bypass zu erwartende, induzierte Mehrverkehr bei der Bewertung des Projektes nicht oder nicht vollständig berücksichtigt wird.

Auf Basis des generellen Projekts wurde eine Kosten-Nutzen-Analyse erstellt. Das generelle Projekt des Bypasses sieht vor, dass der Anschluss Lochhof in Betrieb genommen und das kantonale Projekt «Spange Nord und Massnahmen für den öffentlichen Verkehr» umgesetzt wird. Im Ausführungsprojekt wird jedoch ohne Anschluss Lochhof und «Spange Nord und Massnahmen für den öffentlichen Verkehr» geplant. Dadurch ergeben sich wesentliche Unterschiede gegenüber der auf Basis des generellen Projekts durchgeführten Kosten-Nutzen-Analyse bezüglich der zu erwartenden Kosten und des verkehrlichen Nutzens in Bezug auf den Quell-/Zielverkehr der über die Stadtautobahn abgewickelt wird. Deutlich wird dies unter anderem bei den ausgewiesenen Überkapazitäten auf der Stadtautobahn. Daher ist davon auszugehen, dass das tatsächliche Kosten-Nutzen-Verhältnis des Ausführungsprojekt schlechter ausfällt, als dies auf Basis des generellen Projekts ermittelt worden ist.

Die in der Schweiz gängigen Normen und Richtlinien zur Bewertung von Verkehrsinfrastrukturprojekten sehen eine über die Zeit konstante Bewertung von Unfall- und Emissionskosten vor. Es ist aber davon auszugehen, dass bei steigender Wohlfahrt die Zahlungsbereitschaften zur Verminderung solcher Externalitäten ansteigen werden. Dieser Umstand wird bei der Bewertung aber nicht berücksichtigt. Bei der Bewertung der Klimakosten ist heute davon auszugehen, dass die tatsächlichen Folgekosten der Klimaerwärmung höher liegen, als dies in den derzeit geltenden Normen und Richtlinien vorgesehen ist.

Die bei Bau und Betrieb von Verkehrsinfrastrukturen entstehenden CO₂-Emissionen werden gemäss der heute in der Schweiz geltenden Bewertungsrichtlinien (Nistra) nicht berücksichtigt. Im Fall des Bypass ist davon auszugehen, dass die infrastrukturbedingten CO₂-Emissionen pro Fahrzeugkilometer höher liegen als im gesamtschweizerischen Schnitt, da der Bau und der Unterhalt eines Tunnels höhere CO₂-Emissionen nach sich zieht als andere Streckenabschnitte. Solche Spezialeffekte würden aber auch dann nicht berücksichtigt, wenn bei der Quantifizierung von CO₂-Emissionen im Verkehr auch vor- und nachgelagerte Prozesse berücksichtigt werden, da hier Durchschnittswerte zum Einsatz kommen würden.

Während der Erstellung des Ausführungsprojekts hat die Dienststelle Verkehr und Infrastruktur des Kantons Luzern ein neues kantonales Verkehrsmodell erarbeiten lassen. Bei diesem Modell bestehen die oben benannten Mängel bezüglich der Verhaltensdaten nicht mehr. Zudem ermöglicht das Modell eine Prognosemethodik zu wählen, welche die Wirkung der Angebotsausbauten auf die Ziel- und Verkehrsmittelwahl direkt berücksichtigt. Die Wirkung des Bypasses auf die Siedlungsentwicklung und die Anzahl zurückgelegter Wege kann aber auch mit diesem Modell nicht direkt abgebildet werden.

Es wird empfohlen für das Ausführungsprojekt eine neue Kosten-Nutzen-Analyse zu erstellen, die auf Ergebnissen beruht, die mit dem neuen Verkehrsmodell ermittelt werden. Bei der Interpretation der damit ermittelten Resultate ist zu berücksichtigen, dass die Wirkung des Strassenausbaus auf den Mobilitätswerkzeugbesitz und die Siedlungsentwicklung nicht abgebildet wird und gegebenenfalls flankierende Massnahmen zur Eindämmung der Wirkung des Strassenausbaus auf die Siedlungsentwicklung vorzusehen sind.

Zusätzlich wird empfohlen bei der nächsten Überarbeitung der Normen und Richtlinien zur Bewertung von Verkehrsinfrastrukturprojekten die Bewertung von Externalitäten an das zu erwartende Wohlstandswachstum zu koppeln und die Bewertung der Klimakosten aufgrund der zum Bearbeitungszeitpunkt vorliegenden Wissenstand bezüglich der Folgekosten der Klimaerwärmung vorzunehmen. Ebenso ist zu grundsätzlich zu prüfen, wie das angenommene Verkehrswachstum mit den Klimazielen zu vereinbaren ist.

1 Ausgangslage

Das Ausführungsprojekt (AP) des Bundesprojektes «Gesamtsystem Bypass Luzern» des Bundesamtes für Strassen wurde vom 8. Juni bis zum 7. Juli 2020 öffentlich aufgelegt (Bundesamt für Strassen 2020). Die Sektion Luzern des VCS ist mit dem Projekt nicht einverstanden und erwägt über das Verbandsbeschwerderecht eine Beschwerde geltend zu machen. Um die Beschwerde sachlich und wissenschaftlich fundiert einzubringen, hat sich die Sektion des VCS Luzern dazu entschlossen ein Expertengutachten zum verkehrlichen Teil des technischen Berichts (Kapitel 4 und Beilage g1) des Ausführungsprojektes in Auftrag zu geben.

2 Motivation und Vorgehen bei der Begutachtung

Ziel des Gutachtens ist es, eine fachliche Einschätzung zur Methodik der Verkehrsmodellierung zur Abschätzung der Verkehrsnachfrage 2040 sowie der daraus abgeleiteten Schlüsse bezüglich der zu erwartenden Verkehrsmengen und des Nutzens der beabsichtigten Netzausbauten vorzulegen. Zudem soll dargelegt werden, wie in Verkehrsmodellen der durch Ausbauten der Verkehrsinfrastruktur induzierte Mehrverkehr in Modellen abgebildet und bei der Bewertung berücksichtigt wird. Ebenfalls soll dargestellt werden, wie innerhalb von Kosten-Nutzen-Analysen zukünftige Unfall- und Emissionskosten sowie zu erwartende Klimafolgekosten bewertet werden.

Für die Begutachtung wurden neben dem technischen Bericht des Ausführungsprojekts auch alle verfügbaren Dokumente sorgfältig studiert, welche das methodische Vorgehen bei der Verkehrsmodellierung genauer beschreiben. Zur Abschätzung der Verkehrsnachfrage 2040 wurde methodisch gleich vorgegangen, wie bei der Verkehrsmodellierung, die im Rahmen des kantonalen Projekts «Spange Nord und Massnahmen für den ÖV» (S-ce consulting 2019) erarbeitet wurde. Daher gibt es bezüglich der in diesem Gutachten dargelegten Argumentation Überlappungen mit dem Gutachten zum Synthesebericht «Spange Nord» (Erath und Axhausen 2020) sowie dem Gutachten zum Ausführungsprojekt, das für das Tiefbauamt der Stadt Luzern im Sommer 2020 erstellt worden ist (Erath 2020).

Dieses Gutachten unterscheidet sich vom Gutachten, welches für das Tiefbauamt der Stadt Luzern erstellt worden ist bezüglich der inhaltlichen Ausrichtung. Während in diesem Gutachten Fragestellungen zu Nachfragewirkung des Bypass im Vordergrund stehen, befasste sich das vom Tiefbauamt der Stadt Luzern beauftragte Gutachten unter anderem mit einer Beurteilung der im Ausführungsprojekt geplanten Autobahnanschlüssen und der Wirkung des Bypass auf den bestehenden Stadttunnel. Beiden Gutachten gemeinsam ist die Beurteilung des Verkehrsmodells, auf dessen Zahlen die im Rahmen des Generellen Projekts getätigte Kosten-Nutzen-Analyse getätigt und die im Ausführungsprojekt aufgeführten Verkehrsprognosen beruhen.

Die Auftraggeberin, die Sektion Luzern des Verkehrs-Clubs Schweiz, hat die für das Gutachten relevanten Fragestellungen definiert, aber keinen Einfluss auf die Inhalte und das methodische Vorgehen bei der Erarbeitung ausgeübt. Die Inhalte des Gutachtens wurden selbstständig von den Autoren erarbeitet.

3 Verkehrsprognosen für das Generelle Projekt und das Ausführungsprojekt

Das Verkehrsmodell, das dem Ausführungsprojekt (AP) für die Abschätzung der Verkehrsnachfrage zugrunde liegt, basiert auf der Teilaktualisierung des MIV-Modells des KVM Luzern. Dieses Modell wurde auch für die Verkehrsprognosen verwendet, die für die im Synthesebericht «Spange Nord und Massnahmen für den ÖV» (S-ce consulting 2019) dargelegten Planung verwendet wurde. Daher gelten die im Rahmen des Gutachtens zum Synthesebericht «Spange Nord» dargelegten Kritikpunkte auch in Bezug auf die dem Ausführungsprojekt zugrunde liegende Verkehrsprognose. In der Folge werden diese Kritikpunkte zusammenfassend dargelegt und im Kontext des Ausführungsprojekts «Gesamtsystem Bypass Luzern» der zu beantwortenden Fragestellungen neu eingeordnet.

3.1 Modellgrundlagen

Abb. 1 stellt den Entwicklungspfad des im Ausführungsprojekt verwendeten Verkehrsmodells dar. Die Basis bildet dabei das Verkehrsmodell Kanton Luzern, welches als «Verkehrsgrundlage für GP Bypass und Agglomerationsprogramm Luzern» im Auftrag des Bundesamts für Strassen (ASTRA, Filiale Zofingen) von Jenni + Gottardi AG (2014) entwickelt worden ist (Modell A). Modell A ist eine Aktualisierung des Verkehrsmodells der Kantone Luzern, Obwalden und Nidwalden (Jenni + Gottardi AG 2007a), das in Abb. 1 als Modell 0 bezeichnet wird. Für die Aktualisierung wurden die Verkehrszonen räumlich verfeinert, das Verkehrsangebot auf den Stand 2010 gebracht (Strasse und ÖV-Fahrpläne) sowie eine Prognose der Verkehrsnachfrage aufgrund der damals erwarteten Siedlungsentwicklung bis 2030 (Planteam S 2011) erstellt.

Bei der Berechnung der in Modell A für das Jahr 2030 prognostizierten Nachfrage wurde auf die Berücksichtigung eines Verkehrswachstumsfaktors zur Abbildung des Wohlstandseffekts verzichtet. Die daraus entstehenden Zusatzbelastung führt zu Netzüberlastungen, die längere Reisezeiten im MIV und somit wieder ein geringere MIV-Nachfrage nach sich ziehen würde.

Die Nachfragemodellierung von Modell A basiert, gleich wie Modell 0, auf den Verkehrsverhaltensparametern, die aus dem Mikrozensus Verkehr des Jahres 2000 abgeleitet wurden.

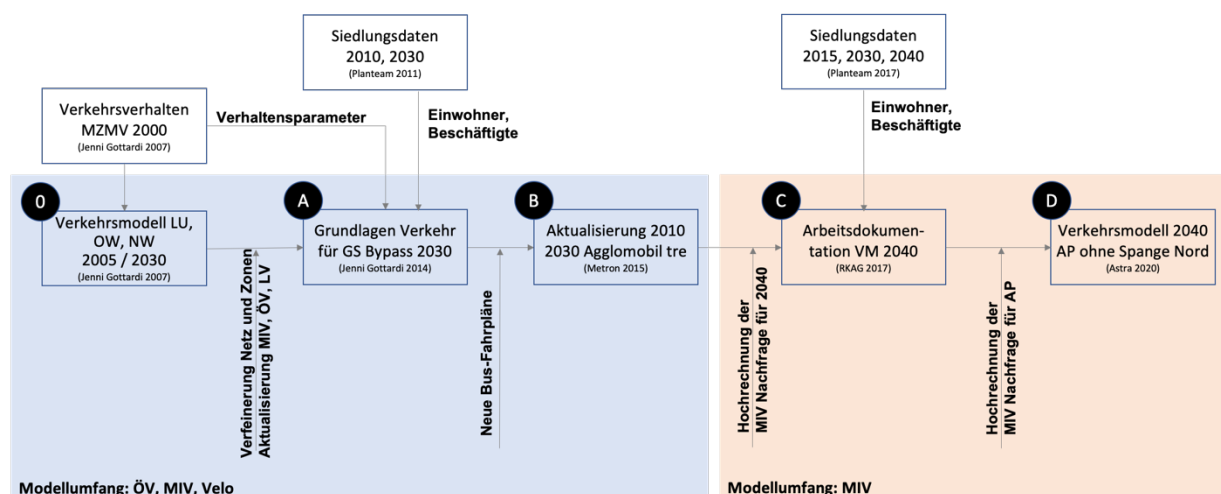


Abb. 1 Entwicklungspfad des Verkehrsmodells mit dem die Prognose für das AP erstellt wurde.

Zur Beurteilung der Wirkung des ÖV-Angebotskonzeptes AggloMobil tre (Metron AG 2015) wurden das ÖV-Angebot von Modell A um die neu durchgebundenen RBus-Linien sowie einigen Tangentiallinien im

Agglomerationsgürtel ergänzt. Mit diesem **Modell B** wurde dann die Wirkung der ÖV-Angebotsverbesserungen auf die Ziel- und Verkehrsmittelwahl beurteilt (Verkehrsverbund Luzern 2015). ÖV-Angebotsverbesserungen aufgrund des geplanten Durchgangsbahnhofs sowie die Wirkung von Strassenbaumassnahmen zur Beschleunigung der RBus-Linien blieben dabei unberücksichtigt.

Modell C (Rudolf Keller AG, 2017, bisher unveröffentlicht) deckt nur die Nachfrage im motorisierten Personenverkehr ab und basiert auf den Verkehrsmengen aus Modell B. Die für das Jahr 2040 (Planteam 2017) erwarteten Verkehrsmengen wurden basierend auf dem Zustand 2030 (Modell B) gemäss dem erwarteten Siedlungswachstum bis 2040 (Planteam 2017) proportional hochgerechnet. Die betreffende Arbeitsdokumentation wurde im Rahmen der Auflage des Ausführungsprojekts nicht veröffentlicht. Die Dienststelle für Verkehr und Infrastruktur des Kantons Luzern (vif) stand aber den Autoren im Rahmen der Erarbeitung des Gutachtens zum Synthesebericht Spange Nord für Auskünfte zur in diesem Modell angewandten Methodik zur Verfügung.

Die im Ausführungsprojekt ausgewiesene Beurteilung basiert auf Verkehrsmengen, die mit **Modell D** «Verkehrsmodell 2040 AP» ermittelt wurden (Bundesamt für Strassen 2020). Es handelt sich dabei um ein Prognosemodell, das sich auf den motorisierten Individualverkehr beschränkt und auf Modell C basiert. Anders als noch im Generellen Projekt bleiben dabei die kantonalen Projekte Spange Nord und die flankierenden Massnahmen ÖV in der Stadt Luzern unberücksichtigt. Ebenso bleiben ÖV-Angebotsverbesserungen die durch den Bau des Durchgangsbahnhofs Luzern möglich werden unberücksichtigt. Die Wirkung von kapazitätsbeschränkenden Knoten wurde über entsprechende Nachkalibrationen der Verkehrsnachfrage sichergestellt. Zudem wurden über die Anpassung der sogenannten *Capacity-Restraint-Funktionen* die kapazitätssteigernde Wirkung von Fahrassistenzsystemen berücksichtigt.

Aufgrund des erwarteten Verkehrswachstums ergeben sich auf bestimmten Beziehungen Reisezeitverlängerungen. Da ein monomodales Verkehrsmodell eingesetzt wurde, konnte die Wirkung solcher Reisezeitverlängerungen auf die Ziel- und Verkehrsmittelwahl nicht direkt abgebildet werden. Stattdessen wurde auf Basis von Nachfrageelastizitäten die Nachfrage entsprechend der verlängerten Reisezeiten sowohl für den Ausgangszustand, als auch für den Projektzustand reduziert. Aufgrund der erhöhten Gesamtkapazität im Projektzustand beschreibt das Modell für den Zustand mit Bypass für den DTV und die ASP geringfügig höhere Verkehrsmengen.

Im Überblick kann bezüglich der im Modell D abgeschätzten Verkehrsmengen folgendes festgestellt werden:

- Die Abschätzung der Verkehrsmittelanteile für den Prognosezustand 2030 resp. 2040 basiert auf dem im Modell B verwendeten ÖV-Angebot, also ohne Durchgangsbahnhof Luzern (Planungsprognose für 2030 aus dem Jahr 2015).
- Die der Verkehrserzeugung zugrunde liegende Aufteilung der Nachfrage in verhaltenshomogene Gruppen basiert auf den im Modell A festgelegten Anteilen. Über das Jahr 2030 hinausgehende demographische Veränderungen, die einen Einfluss auf die Verkehrserzeugung haben, werden bei der Hochrechnung der Verkehrsnachfrage für das Jahr 2040 (Modell C) und der Abschätzung der MIV Nachfrage mit Bypass (Modell D) nicht abgebildet werden.
- Die für die Verkehrserzeugung, -verteilung und -mittelwahl verwendeten Parameter basieren auf Verhaltensmodellen, die mit den Daten des Mikrozensus Verkehr 2000 geschätzt wurden.
 - Veränderungen bezüglich der Verkehrserzeugung (z.B. flexiblerer Arbeitszeiten und *home office*) werden nicht berücksichtigt.

- Veränderungen der Attraktivität der einzelnen Verkehrsmittel, die über die in den Modellen berücksichtigten Variablen hinausgehen, werden nicht berücksichtigt (z.B. Anzahl Umsteigevorgänge im öffentlichen Verkehr, Ausbau der Veloinfrastruktur).
- Die Verkehrsmittelwahlmodelle (Modell O, A, B) berücksichtigen weder den Einfluss der PW-Verfügbarkeit noch den des ÖV-Abonnementsbesitz und basieren auf Daten aus dem Jahr 2000. Die Wirkung von Veränderungen bei der PW-Verfügbarkeit und dem ÖV-Abonnementsbesitz seit dem Jahr 2000 werden daher nicht abgebildet.
- Da der Mobilitätswerkzeugbesitz das Verkehrsmittelwahlverhalten in der Schweiz aber stark beeinflusst (Fröhlich, Weis *et al.* 2013, 2014), basieren die im Modell A und B definierten Prognosezustände indirekt auf den im Jahr 2000 vorliegenden Verhältnissen des PW- und ÖV-Abonnementsbesitz. Seither haben sich der PW- und ÖV-Abonnementsbesitz aber räumlich differenziert entwickelt. Im Agglomerationskern hat der Anteil an ÖV-Abonnementsbesitz deutlich zugenommen und die Autobesitzquote ist stagniert oder rückläufig. In Agglomerationsgürtelgemeinden hat sowohl der PW-Besitz als auch der ÖV-Abonnementsbesitz zugenommen.
 - Bei der Hochrechnung der MIV-Nachfrage (Modell A) wurde auf die Berücksichtigung eines Wachstumsfaktors zur Abbildung des Wohlstandeffekts verzichtet.
 - Ebenso wurde bei der Hochrechnung der MIV-Nachfrage für die Modelle C und D auf eine Berücksichtigung eines Verkehrswachstumsfaktors zur Abbildung des Wohlstandeffekts verzichtet
 - Bei der Hochrechnung des MIV für Modell C (und somit auch für Modell D) bleiben Veränderungen der Zielwahl aufgrund der Siedlungsentwicklung methodenbedingt unberücksichtigt. Somit werden weder die nachfragereduzierende Wirkung einer verdichteten Siedlungsentwicklung, noch die nachfragesteigernde Wirkung des Netzausbaus abgebildet.

Im Folgenden wird in kurzer Form das Vorgehen bei der Abschätzung der Verkehrsmengen bezüglich der oben angeführten Punkte analysiert. Für eine ausführlichere Analyse wird auf das Gutachten zum Synthesebericht «Spange Nord» (Erath und Axhausen 2020) verwiesen.

3.2 Prognose Alters- und Siedlungsentwicklung

Tabelle 1 vergleicht die dem Verkehrsmodell zugrunde liegenden Annahmen Bevölkerungsanteile von Personen über 65 Jahren mit den für den Kanton Luzern erfassten Daten aus dem Jahr 2005 und 2010 (Iustat 2020) sowie der Prognose (Referenzszenario) des Bundesamts für Statistik für die Jahre 2030 und 2040 (Bundesamt für Statistik 2016). Es zeigt sich, dass aufgrund der erwarteten demographischen Veränderungen und der für das Jahr 2030 angenommenen Anteile der verhaltenshomogenen Gruppen bezüglich der Personen im Rentenalter deutliche Abweichungen zur Prognose des BFS auftreten. Dieser Effekt verstärkt sich weiter, da bei der Hochrechnung der MIV-Nachfrage für das Jahr 2040 der Effekt des gegenüber 2030 weiter steigenden Anteil der Personen über 65 Jahren unberücksichtigt bleibt.

Die Daten Mikrozensus Verkehrs 2015 (Bundesamt für Statistik BFS und Bundesamt für Raumentwicklung ARE 2017) zeigen, dass Personen über 65 Jahren eine geringere Verkehrsleistung aufweisen als die Gesamtbevölkerung. Unter der Annahme, dass diese Unterschiede im Verkehrsverhalten konstant bleiben reduziert sich die Gesamtverkehrsleistung bedingt durch die sich verändernde Altersverteilung (ohne gleichzeitige Berücksichtigung des Bevölkerungswachstums) um 3.8% für das Prognosejahr 2040. Da Personen über 65 Jahren unterdurchschnittlich oft zu zur Morgen- und Abendspitzenstunde unterwegs sind, wird ergibt sich bei der Berechnung der kapazitätsrelevanten Zuständen eine noch stärkere Überschätzung der Verkehrsnachfrage.

Tabelle 1 Anteile der Personen über 65 Jahren		
Jahr	Lustat / Prognose BFS für Kanton Luzern	Verkehrsmodell Luzern
2005	15.7%	14.5%
2010	16.4%	14.5%
2030	22.1%	16.5%
2040	25.1%	-

3.3 Verkehrsverhalten

Die für die Modellzustände 2010 und 2030 relevanten Verhaltensdaten basieren auf Analysen des Mikrozensus Verkehr 2000 (Jenni + Gottardi AG 2007b). Dabei werden für die Modelle der Verkehrserzeugung, Zielwahl und Verkehrsmittelwahl unterschiedliche Verhaltensparameter verwendet.

3.3.1 Verkehrserzeugung

Die Ermittlung der Anzahl Wege nach Wegzweck erfolgt differenziert nach 13 verschiedenen verhaltenshomogenen Gruppen sowie nach den Raumtypen Stadt, Agglomeration und ländlicher Raum. Dabei weisen die verhaltenshomogenen Gruppen mit PW-Verfügbarkeit und Erwerbstätigkeit bezüglich der Anzahl Wege überdurchschnittliche Erzeugungsraten auf.

PW-Verfügbarkeit

Die dem Modell zugrundeliegenden Annahmen bezüglich der PW-Verfügbarkeit überschätzen für die Stadt Luzern die im Jahr 2015 beobachtete PW-Verfügbarkeit um 17 Prozentpunkte. Umgekehrt unterschätzen sie die PW-Verfügbarkeit auf dem Land und in Agglomerationsgemeinden um rund 10 respektive 4 Prozentpunkte. Personen mit PW-Verfügbarkeit weisen eine höhere Erzeugungsraten auf. Demgemäss wird auch die Verkehrsnachfrage auf dem Gebiet der Stadt Luzern und zu einem gewissen Grad auch für die Gemeinden Horw, Ebikon und Emmen tendenziell überschätzt. Die Verkehrsnachfrage in den Gebieten «Agglomeration» und «Land» wird hingegen tendenziell unterschätzt.

Erwerbstätigkeit

Aufgrund der demographischen Entwicklung reduziert sich gemäss den Prognosen des Bundesamts für Statistik im Kanton Luzern der Anteil der Personen im Alter zwischen 20 und 65 Jahren von 61.7% im Jahr 2005 um knapp 7 Prozentpunkte auf 55.0% im Jahr 2040. Das KVM geht aber nur von einem Rückgang des Anteils der Erwerbstätigen von 1.5 Prozentpunkten aus. Erwerbstätige Personen legen mehr und längere Wege zurück. Daher folgt, dass aufgrund dieser Unterschiede der Anstieg der Verkehrsnachfrage tendenziell überschätzt wird.

3.3.2 Zielwahl

Das Zielwahlmodell definiert die Ziele der Wege und kombiniert dazu Informationen zum verkehrsträgerübergreifenden (kombinierten) Raumwiderstand, der Zielattraktivität und für gewisse Wegzwecke auch der Qualität der ÖV-Verbindung (basierend auf Umsteigehäufigkeit und Takt). Aufgrund von Netzausbauten verringert sich der Raumwiderstand, wodurch die Attraktivität weiter entfernt gelegener Ziele zunimmt. Dieser Effekt wird bei der vorliegenden Nachfrageprognose in Modell C und D, die auf Reisezeitelastizitäten beruht, nicht abgebildet, da mit hier primär die Wirkung bezüglich der Verkehrsmittelwahl berücksichtigt wird. Dementsprechend ist davon auszugehen, dass das bezüglich der Zielwahl induzierte MIV-Nachfragewachstum bei der für das Ausführungsprojekt erstellten Verkehrsprognose unterschätzt

wird. Siehe dazu auch die Ausführungen in Kapitel 5 zur Problematik des induzierten Verkehrs in der Verkehrsmodellen und dessen Bewertung.

3.3.3 Verkehrsmittelwahl

Da Modell C und Modell D reine MIV-Nachfragemodelle sind, werden weitere geplante Angebotsverbesserungen die zum Beispiel mit dem Durchgangsbahnhof Luzern, durchgehenden Busspuren und neuen RBus-Durchmesserlinien entstehen bei der Prognose der MIV-Nachfrage nicht berücksichtigt.

Das in den Modellen O, A und B eingesetzte Verkehrsmittelwahlmodell umfasst keine Variablen zum Mobilitätswerkzeugbesitz. Demgemäss reagiert das Modell nicht auf räumliche Unterschiede und zeitliche Dynamiken beim ÖV-Abonnementsbesitz und basiert daher auf dem Zustand im Jahr 2000. Zwischen den Jahren 2000 und 2015 hat sich der Anteil von Personen mit Abonnements um 8.2% erhöht. Da die Agglomeration Luzern einen überdurchschnittlichen Abonnementsanteil aufweist, kann erwartet werden, dass der Anstieg hier noch leicht höher liegt. Demzufolge wird in den Prognosezuständen der ÖV-Anteil systematisch unterschätzt und demzufolge die MIV-Verkehrsmengen in den Modellen C systematisch überschätzt.

Die Strategie der Innenverdichtung führt dazu, dass sich das Siedlungswachstum insbesondere auf Areale mit guter ÖV-Erschliessung konzentriert. An diesen Lagen ist die Verfügbarkeit von ÖV-Abonnements deutlich höher als im Durchschnitt. Somit ist davon auszugehen, dass der ÖV-Abonnementsbesitz weiter ansteigen wird und sich somit die systematische Unterschätzung des ÖV-Anteils grösser wird.

3.3.4 Spitzenstundenanteile

Aus dem technischen Bericht zum Ausführungsprojekt geht nicht hervor wie in der Verkehrsprognose basierend auf dem durchschnittlichen Tagesverkehr die Spitzenstundenanteile abgeschätzt wurden. Falls diese aufgrund der heutigen, verkehrszweckspezifischen Spitzenstundenanteilen abgeleitet werden, dürften diese im Prognosezustand aufgrund der nicht berücksichtigten Effekte der sich verschiebenden Altersverteilung überschätzt werden: Der Anteil von Personen über 65 Jahren und somit von Personen, die zur Spitzenstunde unterdurchschnittlich oft unterwegs sind, wird im Jahr 2040 deutlich höher sein als heute.

Weiter werden bei der Prognose der Spitzenstundenanteile mögliche Effekte, die von einer flexibleren Arbeitswelt, Massnahmen beim Mobilitätsmanagement und von Mobility Pricing ausgeschlossen.

3.3.5 Wirkung auf den Transitverkehr

Für die im Rahmen des Gesamtsystem Bypass Luzern geplanten Netzausbauten wird eine grössere räumliche Wirkung erwartet, als dies bei den Infrastrukturvarianten des Projekts «Spange Nord» der Fall ist. Daher hat die Abschätzung der Nachfragewirkung bezüglich des Durchgangsverkehrs (mit Start oder Ziel ausserhalb des vom KVM abgedeckten Gebiets) hier eine höhere Relevanz. Der erwartete hohe Anteil des Durchgangsverkehrs auf dem TP Tunnel Bypass unterstreicht dies. Aufgrund der vorliegenden Unterlagen wird aber nicht klar, wie beim Durchgangsverkehr, der aus dem Nationalen Personenverkehrsmodell abgeleitet wurde, bezüglich der Abschätzung des prognostizierten Verkehrs vorgegangen wurde. Aufgrund der längeren Reisedistanzen wird aber erwartet, dass hier die absoluten Reisezeitveränderungen auf die induzierte Nachfrage aber weniger stark wirken als im regionalen Verkehr.

3.4 Beurteilung der Verkehrsprognose im Kontext des Ausführungsprojektes

Aufgrund der oben dargelegten Ausführungen ist davon auszugehen, dass die mit dem Verkehrsmodell für das Ausführungsprojekt ermittelte MIV-Verkehrsnachfrage leicht überschätzt. Die Auswirkung dieser Überschätzung auf die verkehrsplanerische Beurteilung des Projekts ist aber aus folgenden Gründen geringer als beim Projekt «Spange Nord»:

- Die Überschätzung der MIV-Nachfrage aufgrund zu hoher Annahmen bei der MIV-Verfügbarkeit beschränkt sich auf das städtische Gebiet. Aufgrund der Streckentopologie wirkt sich der Bypass auf den innerstädtischen Verkehr nur indirekt aus. Die nur geringfügig unterschiedlichen Verkehrsmengen, die mit und ohne Bypass im städtischen Strassennetz erwartet werden, unterstreichen dies.
Aufgrund der Entlastung der Stadtautobahn sind aber Reisezeitverbesserungen auf Quell-/Zielverkehrsbeziehungen zu erwarten, welche über die Stadtautobahn führen. Eine Überschätzung der Verkehrsmengen im städtischen Gebiet führt daher auch dazu, dass auf diesen Nachfragebeziehungen der Nutzen aufgrund von Reisezeitverbesserungen überschätzt wird.
- Die Unterschätzung der Verfügbarkeit von ÖV-Abonnements und somit der Überschätzung des MIV-Anteils im Verkehrsmodell beschränkt sich auf Gebiete mit hoher ÖV-Verfügbarkeit, also die Stadt Luzern und Gebiete um S-Bahnhöfe. Auch hier ist es so, dass diese Gebiete aufgrund der Streckentopologie des Bypasses unterdurchschnittlich vom Strassennetzausbau profitieren. Somit dürfte die daraus abgeleitete Überschätzung der MIV-Nachfrage auf dem Bypass gering ausfallen.
- Die mit einem Durchgangsbahnhof erzielten ÖV-Angebotsverbesserungen wirken vor allem auf der Achse Sursee, Emmen, Luzern, Ebikon, Zug. Der Bypass führt aber zur verbesserten Erschließung von Ortschaften südlich von Luzern mit Ortschaften entlang der N2 und N14 nördlich von Luzern. Aufgrund des bestehenden Viertelstundentaktes auf der Zentralbahn verbessert sich auch das ÖV-Angebot von/nach den Kantonen NW/OW, wobei sich hier die Angebotsverbesserungen auf verbesserte Umsteigebeziehungen im Bahnhof Luzern beschränken und daher weniger stark wirken. Daher ist davon auszugehen, dass die mit dem Durchgangsbahnhof erzielbaren ÖV-Angebotsverbesserungen bezüglich der vom Bypass bedienten Nachfragebeziehungen einen unterdurchschnittlichen Einfluss haben. Daher fällt auch hier die Überschätzung der MIV-Nachfrage geringer aus als dies in Bezug auf das Projekt Spange Nord der Fall ist.
- Die Überschätzung der MIV-Nachfrage wirkt sich direkt auf die im Ausführungsprojekt prognostizierten Auslastungen der Anschlüsse der Stadtautobahn aus. Diese werden einerseits von der städtischen Wohnbevölkerung (Quellverkehr) und andererseits von auswärtigen Personen genutzt, um Aktivitäten in der Stadt Luzern nachzugehen (Zielverkehr). Bezüglich des Quellverkehrs führen die zu hohen Annahmen bei der MIV-Verfügbarkeit, die Unterschätzung der Verfügbarkeit der ÖV-Abonnements sowie die Nichtberücksichtigung der ÖV-Angebotsverbesserungen zu einer Überschätzung der Auslastungen der Anschlüsse der Stadtautobahn. Beim Zielverkehr führt die Unterschätzung der Verfügbarkeit von ÖV-Abonnements in Gebieten mit hoher ÖV-Erreichbarkeit sowie die Nichtberücksichtigung der ÖV-Angebotsverbesserungen zu einer Überschätzung der Auslastungen der Anschlüsse der Stadtautobahn.
- Aufgrund dieser Überlegungen wird nicht erwartet, dass die Überschätzung der MIV-Nachfrage die im Generellen Projekt dargelegte Zweckmässigkeit des Bypasses grundsätzlich in Frage stellt. Gleichzeitig ist es aber auch so, dass nur im Generellen Projekt eine Kosten-Nutzen-Analyse durchgeführt und dabei noch von einer Netztopologie mit Anschluss Lochhof und Spange Nord ausge-

gangen worden ist. Aufgrund dieser Unterschiede bezüglich der vorgesehen Infrastrukturausbauten, ist es schwierig eine Aussage über die Gültigkeit der im Generellen Projekt durchgeführten Kosten-Nutzen-Analyse in Bezug auf das Ausführungsprojekt zu machen.

Bei der Abschätzung der prognostizierten Verkehrsmengen wurde eine Wirkung des Infrastrukturausbaus auf die Siedlungsentwicklung, der Verkehrserzeugung sowie der Zielwahl nicht berücksichtigt. Die verkehrliche Wirkung wurde nicht wie in der Norm SN 641 820 (VSS 2006, Abschnitt G: Mengengerüst, verkehrliche Auswirkungen) vorgesehen iterativ mit der Ziel- und Routenwahl gerechnet, sondern nur mit Reisezeitelastizitäten abgeschätzt. Der durch das Projekt induzierte Mehrverkehr wird somit unterschätzt.

Es ist zu erwarten, dass diese Unterschätzung auf die oben dargelegte Überschätzung der Verkehrsmenge mittelfristig ausgleichend wirkt. Langfristig sind, je nach Siedlungsentwicklung, aber höhere Verkehrsmengen zu erwarten, als im Modell D ausgewiesen worden sind. Dieser Mehrverkehr bringt einerseits Nutzen (sonst würden die zusätzlichen oder weiteren Fahrten nicht unternommen), andererseits führt er dazu, dass die prognostizierten Reisezeitgewinne geringer ausfallen. Diese Effekte werden im Kapitel 5 dargelegt.

4 Wechselwirkung mit dem kantonalen Projekt Spange Nord

Im generellen Projekt wurden die Eckwerte des Bauprojektes «Gesamtsystem Bypass Luzern» festgelegt. Dieses umfasst unter anderem die Linienführung, die Gestaltung der Anschlüsse, die Anzahl Fahrspuren und die Kreuzungen mit anderen Bauwerken. Zu den Elementen des generellen Projekts gehören nicht nur die Pläne, sondern auch Kosten-Nutzen-Analysen, der Umweltverträglichkeitsbericht und Angaben über die Kosten. All diese Elemente basieren zumindest teilweise auf einer Abschätzung der Verkehrsmengen auf Basis des in Abb. 1 mit dem Buchstaben «A» gekennzeichneten Verkehrsmodells. Das generelle Projekt beruht auf einem Gesamtsystem Bypass das auch das Teilprojekt «Spange Nord und Massnahmen für den öV» und einen zusätzlichen Autobahnanschluss Lochhof vorsieht. Dementsprechend unterscheiden sich das generelle Projekt und das Ausführungsprojekt bezüglich der zu erwartenden Baukosten und der verkehrlichen Wirkungen, die in einer Kosten-Nutzen-Analyse gegenübergestellt werden.

Mit dem Wegfall des Teilprojekts «Spange Nord» verringert sich der verkehrliche Nutzen des Ausführungsprojekts gegenüber dem generellen Projekt, da für den Quell-/Zielverkehr aus dem Gebiet der Stadt Luzern der Autobahnanschluss Lochhof nicht zur Verfügung steht und daher die Reisezeiten zur/von der Autobahn vergleichsweise länger dauern. Gemäss der im Synthesebericht des kantonalen Projekts «Spange Nord» dokumentierten Verkehrsprognose beträgt die zusätzliche Verkehrsmenge, die aufgrund der Fluhmühlebrücke im Sonnenbergtunnel erwartet wird 5'900 Fhz/Tag (DTV). Mit Bypass und Anschluss Lochhof/Flumühlebrücke ist also knapp 20% der Verkehrsnachfrage im Sonnenbergtunnel auf den Anschluss Lochhof zurückzuführen. Ähnliches, wenn auch in geringerem Ausmass, gilt auch für den Reussporttunnel. Daher ist zu erwarten, dass der Nutzen des Bypasses ohne Anschluss Lochhof niedriger ausfällt, als noch im generellen Projekt erwartet. Dementsprechend fallen die im Ausführungsprojekt (ohne Anschluss Lochhof) prognostizierten Reduktionen der Verkehrsmengen für den Abschnitt Sonnenbergtunnel (-58%¹) und Reussporttunnel (-37%) stärker aus als im generellen Projekt erwartet.

¹ gemittelt für beide Richtungen

Mit dem Wegfall des Teilprojekts «Spange Nord» verringern sich auch die Kosten des Ausführungsprojekts. Die für die Kosten-Nutzen-Analyse angenommenen Kosten des generellen Projekts inkl. des Kantonsprojekts «Spange Nord» betragen 1'637.4 Mio. CHF, wovon 178 Mio CHF auf den kantonalen Teil entfielen. Im Synthesebericht «Spange Nord» wurden die Kosten für die Bestvariante Fluhmühlebrücke ohne durchgehende Busspuren jedoch auf 83 Mio CHF veranschlagt, also rund 4.5% der im Ausführungsprojekt veranschlagten Kosten des Bypasses von 1'811 Mio.

Im Bericht zum Ausführungsprojekt sind die erwarteten Reisezeitveränderungen aufgrund des Bypasses ohne Spange Nord nicht ausgewiesen. Daher kann im Rahmen dieses Gutachtens keine Aussage darüber gemacht werden, wie stark sich der erwartete Nutzen aufgrund geringerer Reisezeiten zwischen dem generellen Projekt und dem Ausführungsprojekt unterscheidet. Aufgrund der relativ zum Bypass geringen Kosten für das kantonale Projekt, würden jedoch auch geringe relative Veränderungen beim Nutzen sich spürbar auf das Kosten-Verhältnis auswirken. Damit das Kosten-Nutzen-Verhältnis aber auf einen Wert von weniger als 1.0 fallen würde, müssten der verkehrliche Nutzen des Ausführungsprojekts aber um rund 15 bis 20% tiefer liegen also noch beim generellen Projekt erwartet wurde.

Gleichzeitig muss bei der Beurteilung berücksichtigt werden, dass die MIV-Nachfrage des Quell-/Zielverkehrs im Gebiet der Stadt Luzern bei der Verkehrsprognose sowohl im generellen Projekt als auch im Ausführungsprojekt überschätzt wird. Daher und aufgrund von Veränderungen am Gesamtprojekt wird empfohlen, die Kosten-Nutzen-Analyse für die im Ausführungsprojekt geplanten Infrastrukturausbauten zu wiederholen. Dabei böte es sich an mit dem neuen kantonalen Verkehrsmodell zu arbeiten, bei dem viele der oben dargelegten methodischen Mängel bei der Verkehrsprognose nicht vorhanden sind.

Die im Ausführungsprojekt dargelegte Reduktion der Verkehrsmengen auf der Stadtautobahn von -58% im Sonnenbergtunnel (zweispurig) und -37% im Reussporttunnel (dreispurig) legen nahe, dass die Stadtautobahn nach Inbetriebnahme des Bypasses über deutliche Überkapazitäten verfügt. Es stellt sich daher die Frage, wie mit diesen Überkapazitäten umzugehen ist. Zum Beispiel böte sich die Möglichkeit eine Express-Busspur einzurichten und diese für neue, regionale Buslinien einzusetzen. Der starke Nachfrage-rückgang legt zudem nahe, die Spurtopologie des Gesamtsystems Bypass Luzern zu überdenken. Zum Beispiel könnte erwogen werden, ob der erwartete Verkehr auch mit einem sechsspurigen Bypass und einem Rückbau von Spuren der Stadtautobahn bewältigt werden kann. Dabei wäre aber auch zu berücksichtigen, ob der zusätzliche Nutzen einer solchen Variante die erhöhten Baukosten rechtfertigen würden und wie sich eine solche Topologie auf die Netzredundanz auswirken würde.

5 Modellierung des Nachfragewachstums in Verkehrsmodellen und dessen Bewertung

5.1 Angebotsinduziertes Wachstum der Verkehrsnachfrage

Das auf Angebotsverbesserungen zurückzuführende Wachstum des Verkehrs wird in der Fachwelt als induzierter Verkehr bezeichnet. Zahlreiche wissenschaftlichen Studien zeigen, dass die generalisierten Kosten und das verfügbare Einkommen die Nachfrage nach Verkehrsleistung pro Person beeinflussen (siehe z.B. Goodwin 1992, 1996, Goodwin, Dargay *et al.* 2004, Graham und Glaister 2004 für entsprechende Übersichten der wissenschaftlichen Literatur). Die generalisierten Kosten beschreiben die risiko- und komfort-gewichteten Ressourcen, die für Reisen eingesetzt werden, also die wahrgenommene Reisezeit und damit verbundenen Kosten.

Aufgrund des Ausbaus der Verkehrsinfrastruktur und des technologischen Fortschritts sind die generalisierten Kosten in den letzten Jahrzehnten gesunken. Zusätzlich führt die Erhöhung der wirtschaftlichen Wohlfahrt und eine grössere Kaufkraft dazu, dass Kosten zur Raumüberwindung weniger stark wahrgenommen werden. Eine Veränderung der generalisierten Kosten in Bezug auf die pro Kopf zurückgelegten Kilometer erfolgt direkt über die Anzahl der zurückgelegten Wege und der dabei zurückgelegten Distanzen und indirekt über einen erhöhten Mobilitätswerkzeugbesitz, also die Verfügbarkeit von Fahrzeugen und ÖV-Abonnements (Beige 2008). Zudem wirken sich sinkende generalisierte Kosten der Raumüberwindung auf die Siedlungsentwicklung aus (Wegener und Fuerst 2004).

Studien zur langfristigen Entwicklung der Reisezeitbudgets zeigen, dass die für die Raumüberwindung pro Tag aufgewendete Reisezeit im Schnitt konstant ist und je nach Land und Region zwischen 60 bis 90 Minuten beträgt (Zahavi und Talvitie 1974, Marchetti 1994, Schafer 2000). Reisezeitgewinne aufgrund höherer Geschwindigkeiten führen daher dazu, dass längere Distanzen zurückgelegt werden. Dies belegen auch Studien zur Wirkung von Autobahnnetz und -kapazitätserweiterungen in den USA (Duranton und Turner 2011), Japan (Hsu und Zhang 2014) und Europa (Garcia-López, Pasidis *et al.* 2021). Diese zeigen, dass solche Ausbauten langfristig zu Mehrverkehr führen und die Verkehrsleistung in etwa proportional zum Zuwachs der Netzkapazität ansteigt. Für europäische Städte konnte zudem nachgewiesen werden, dass die Verkehrsleistung des Individualverkehrs für Städte mit Road Pricing geringer ausfällt und der Ausbau des öffentlichen Verkehrs zu einer Verringerung des Staus führt.

5.2 Wachstum der Verkehrsnachfrage in der Schweiz

Die Erhebung Mikrozensus Mobilität und Verkehr ist die wichtigste Erhebung zum Verkehrsverhalten in der Schweiz. Alle fünf Jahre werden in der Schweiz wohnhafte Personen unter anderem zu den im Alltag und auf Reisen zurückgelegten Strecken, den benutzten Verkehrsmitteln und die Verkehrszwecke befragt. Gemäss des Ergebnisberichts der Befragung aus dem Jahr 2015 (Bundesamt für Statistik BFS und Bundesamt für Raumentwicklung ARE 2017) erhöhte sich die im Zeitraum 1994 bis 2015 pro Kopf zurückgelegte mittlere Tagesdistanz um rund +18% von 31.2km auf 36.8km. Im gleichen Zeitraum erhöhte sich die Tagesunterwegszeit um +9%. Dies zeigt, dass in diesem Zeitraum durchschnittliche Geschwindigkeit zugenommen hat und dazu geführt hat, dass längere Distanzen zurückgelegt werden. Gleichzeitig erhöhte sich in diesem Zeitraum die Wohnbevölkerung der Schweiz um ebenfalls +18% (Bundesamt für Statistik 2020). Daraus kann geschlossen werden, dass die in diesem Zeitraum beobachtete Verkehrszunahme zu etwa gleichen Teilen auf induzierten Verkehr als auch das Bevölkerungswachstum zurückgeführt werden kann.

In einer wissenschaftlichen Studie der ETH wurde aufgrund der für den Zeitraum zwischen 1974 und 2005 verfügbaren Daten des Mikrozensus Mobilität und Verkehr untersucht inwiefern Erreichbarkeitsgewinne zu einer Erhöhung der Verkehrsleistung führen. Die über diesen Zeitraum beobachteten Erreichbarkeitsgewinne ergaben sich einerseits aufgrund der Erhöhung der Reisegeschwindigkeiten, andererseits aufgrund der Bevölkerungswachstums. Die Ergebnisse von Weis und Axhausen (2009) zeigen, dass eine Erhöhung der Erreichbarkeit um 1% folgende Wirkung hat:

- Erhöhung der Anzahl Personen, die am Stichtag der Befragung eine Aktivität ausser Haus ausführen, um 0.6%.
- Erhöhung der Anzahl zurückgelegter Wege um 0.4%
- Erhöhung der Anzahl Aktivitäten pro Reise um 0.2%

Die davon abgeleitete Elastizität bezüglich der zurückgelegten Distanz impliziert, dass eine Steigerung der Erreichbarkeit um 1% rund zu einer rund gleich grossen, relativen Veränderung der täglich zurückgelegten

Distanz führt. Gleichzeitig führte eine Reduktion der inflationsbereinigten Raumüberwindungskosten um 1% ebenfalls zu einer rund gleich grossen, relativen Veränderung der täglich zurückgelegten Distanz. Es konnte also gezeigt werden, dass sowohl die Erhöhung der Erreichbarkeit als auch der erhöhte Wohlstand zu einer Erhöhung der Verkehrsleistung pro Kopf führen.

Verschiedene Studien zur Wirkung von Verbesserungen der Verkehrsinfrastruktur in der Schweiz zeigen darüber hinaus auf, dass der Ausbau der Verkehrsinfrastruktur auch über die Siedlungsentwicklung zu einer grösseren Verkehrsnachfrage geführt hat. So konnte zum Beispiel gezeigt werden, dass die Inbetriebnahme der Autobahn A7 (Sommer, Walter *et al.* 2004), der S-Bahn in Zürich (Güller, Schenkel *et al.* 2004), Verbesserungen der Verkehrsinfrastruktur in der Magadinoebene im Tessin (Giacomazzi, Clerici *et al.* 2004) und der Verainatunnel (Aliesch, Sauter *et al.* 2006) nicht nur zu Reisezeitverkürzungen, sondern auch zu einer Erhöhung der Verkehrsnachfrage in den betroffenen Korridoren geführt haben. Dabei hat insbesondere auch die mit dem Ausbau der Verkehrsinfrastruktur in Zusammenhang stehende Veränderung der Siedlungsstruktur eine relevante Wirkung auf das Nachfragewachstum ausgeübt.

5.3 Abbildung des Nachfragewachstums in Verkehrsmodellen

In Verkehrsnachfragemodellen wird die Wirkung einer Reduktion der generalisierten Kosten auf die Verkehrsnachfrage über Rückkopplungen abgebildet. Die klassische Struktur der in der Praxis eingesetzten aggregierten Verkehrsmodelle sieht vier Schritte zur Berechnung der Nachfrage vor: Verkehrserzeugung, Verkehrsverteilung (Zielwahl), Verkehrsmittelwahl und Routenwahl. Zusätzlich kann über einer Verknüpfung mit Landnutzungsmodellen die Wirkung von Verkehrsinfrastrukturausbauten auf die Siedlungsentwicklung abgebildet werden (Wegener und Fuerst 2004). Für die Planung auf Bundesebene ist das Bundesamt für Raumentwicklung derzeit daran ein Flächennutzungsmodell zu entwickeln (Bodenmann, Bürki *et al.* 2019), welches mittelfristig mit dem Nationalen Personenverkehrsmodell gekoppelt werden soll, um die Wechselwirkungen zwischen Siedlungs- und Verkehrsinfrastrukturentwicklung abbilden zu können (ARE 2021). Hingegen verfügt keines der in der Schweizer Planungspraxis eingesetzten regionalen Verkehrsmodelle über eine Möglichkeit die Wirkung von Verkehrsinfrastrukturausbauten auf die Siedlungsentwicklung direkt abzubilden.

Die oben dargelegten Forschungsergebnisse zeigen, dass in der Schweiz eine Erhöhung der Erreichbarkeit sich in der Vergangenheit sowohl auf die Anzahl Fahrten (Verkehrserzeugung), die durchschnittliche Fahrtweite (Zielwahl), aber auch die Siedlungsentwicklung ausgewirkt hat. Die meisten in der Schweiz eingesetzten Verkehrsmodelle berücksichtigen aber nur Rückkopplungen bezüglich der Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahl. Je nach Anwendung wird die Wirkung des gesteigerten Wohlstands über sich verändernde Mobilitätswerkzeugbesitzraten und die daran gekoppelten Verkehrserzeugungsraten abgebildet. Zuweilen wird auch die Gesamtnachfrage global mit einem Wachstumsfaktor multipliziert, um Wohlstandseffekte auf die Verkehrsnachfrage abzubilden.

Der Verzicht auf eine Berücksichtigung der Siedlungswirkung äussert sich darin, dass die Zersiedlungswirkung von Strassenausbauten nicht abgebildet wird. Die Erfahrung zeigt, dass Personen in weniger dicht besiedelten Teilen der Agglomerationen mehr Autos besitzen und damit längere Fahrten zurücklegen (Bubenhofer 2018). Demzufolge unterschätzen Verkehrsmodelle, welche die Wirkung von Strasseninfrastrukturausbauten auf den Fahrzeugbesitz und die Siedlungsentwicklung nicht berücksichtigen das damit verbundene Verkehrswachstum (Næss, Nicolaisen *et al.* 2012, Milam, Birnbaum *et al.* 2017, Volker, Lee *et al.* 2020). Die sich aus diesem Verkehrswachstum ergebenden Reisezeitverzögerungen werden daher bei der Bewertung nicht berücksichtigt und somit der Nutzen der Verkehrsinfrastrukturausbauten bezogen auf die bestehende Nachfrage überschätzt. Zudem werden die vom Mehrverkehr ausgehenden Externalitäten nicht berücksichtigt.

5.4 Volkswirtschaftliche Bewertung des Nachfragewachstums

Die in der Schweiz gängigen Normen und Richtlinien beschreiben das angebotsinduzierte Nachfragewachstum über den Begriff Mehrverkehr, welcher folgende Dimensionen umfasst (Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS 2008, Bundesamt für Strassen (Astra) 2017):

- Durch Strasseninfrastrukturprojekte neu generierte Fahrten (Neuverkehr)
- Veränderte Zielwahl (bisher Fahrt an einen anderen Ort)
- Umsteigen von anderen Verkehrsträgern (Verkehrsmittelwahl)

Die Bewertung erfolgt über die sogenannte «*Rule of Half*». Diese Regel basiert auf der Annahme, dass der Nutzen aus dem Mehrverkehr der Hälfte der Reduktion der generalisierten Kosten des Stammverkehrs auf einer bestimmten Nachfragerelation entspricht. Gleichzeitig werden aber die durch den Mehrverkehr entstehenden Externalitäten (z.B. Kosten von Unfällen, sowie Schadstoff- und Lärmemissionen) gleich bewertet wie eine Fahrt im Stammverkehr. Somit wird klar, dass der durch den Mehrverkehr entstehende Nutzen im Vergleich zum Stammverkehr geringer ausfällt. Gleichzeitig führt die Berücksichtigung des Mehrverkehrs auch dazu, dass die Geschwindigkeiten und somit die Zeitkostengewinne im Stammverkehr geringer ausfallen.

Falls die durch Mehrverkehr ausgelösten Externalitäten (inkl. Reisezeitverzögerungen auf den Stammverkehr) höher sind als der dadurch generierte Nutzen, führt eine Nichtberücksichtigung des Mehrverkehrs dazu, dass der Nutzen der Verkehrsinfrastrukturausbaus systematisch überschätzt wird. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Mehrverkehr dazu führt, dass neue und bestehende Verkehrsinfrastrukturen zeitweise überlastet sind.

5.5 Diskussion zur Bewertung des Nachfragewachstums in Kosten-Nutzen-Analysen

Aufgrund der in der Schweiz im Bereich der Verkehrsmodellierung gängigen Praxis wird induzierter Verkehr, der auf durch einen Ausbau der Verkehrsinfrastruktur getriebene Veränderung der Siedlungsentwicklung nicht berücksichtigt. Die meisten in der Schweiz eingesetzten Verkehrsmodelle sehen keine Rückkopplung zwischen Erreichbarkeitsveränderungen und der Anzahl durchgeführter Fahrten vor (Neuverkehr). Ebenso wird in der Regel eine Berücksichtigung von Veränderungen beim Fahrzeug- und Abonnementsbesitz aufgrund von Erreichbarkeitsverbesserungen und gesteigener Wohlfahrt verzichtet. Beide Beobachtungen treffen auch für die Verkehrsmodelle zu, auf denen die Beurteilung des Ausführungsprojekts basiert. Dies führt dazu, dass in zentralen Lagen der zukünftige Fahrzeugbesitz eher überschätzt und in der Agglomeration eher unterschätzt wird.

Die in der Schweiz eingesetzten Verkehrsmodelle erlauben infrastrukturinduzierten Mehrverkehr abzubilden, der auf Ziel- und Verkehrsmittelwahleffekte zurückzuführen ist. Eine solche Berücksichtigung setzt aber voraus, dass bei der Berechnung der Verkehrsnachfrage die Wirkung von Reisezeitgewinnen auf die Ziel- und Verkehrsmittelwahl über Rückkopplungen berücksichtigt werden. Um den Bearbeitungsaufwand bei der Anwendung eines Verkehrsmodells zu reduzieren, wird zuweilen darauf verzichtet die Wirkung von Infrastrukturausbauten auf die Zielwahl (längere Wege) zu modellieren. Dies wurde auch bei der Abschätzung der Verkehrsnachfrage für den Bypass so gehandhabt. Dementsprechend kann keine Aussage über die volkswirtschaftliche Wirkung des Mehrverkehrs gemacht werden, der aufgrund von Zielwahleffekten erwartet wird.

Wie in Kapitel 3 dargestellt, wurde bei der Abschätzung der Verkehrsnachfrage für das Ausführungsprojekt die Wirkung von Verkehrsmittelwahleffekten vereinfacht über Elastizitäten (monomodal) statt einem multimodalen Verkehrsmodell abgebildet. Bei einer solchen Vereinfachung können gleichzeitige Veränderung des ÖV-Angebots nicht oder nur beschränkt berücksichtigt werden. Der Mehrverkehr aufgrund

von Verkehrsmittelwahleffekten kann aber trotzdem aufgrund von Abschätzungen der Reisezeitverkürzungen im Stammverkehr über Elastizitäten quantifiziert werden. Aufgrund der fehlenden Berücksichtigung möglicher Reisezeitveränderungen im ÖV und der vereinfachten Abbildung über Punktlastizitäten erfolgt die Abschätzung der Verkehrsmittelwahleffekte vereinfacht und mit Fehlern behaftet.

5.6 Zwischenfazit

Die zur Bewertung von Verkehrsprojekten genutzten Verkehrsmodelle decken in der Regel nicht alle Effekte des induzierten Wachstums ab, die Ausbauten der Verkehrsinfrastruktur nach sich ziehen. Die für das Ausführungsprojekt Bypass Luzern erwarteten Verkehrsmittelwahleffekte wurden bei der Verkehrsmodellierung vereinfacht über Elastizitäten abgebildet. Zielwahleffekte, aufgrund derer sich längere Fahrten und somit eine höhere Verkehrsleistung des MIV ergeben, wurden nicht abgebildet. Solche Effekte könnten aber mit den in der Schweiz gängigen Verkehrsmodellen und dem für die Region Luzern sich in Entwicklung befindlichen, neuen Verkehrsmodell korrekt abgebildet werden. Die Wirkung, welche Ausbauten der Verkehrsinfrastruktur nachweislich auf die Verkehrserzeugung sowie die Siedlungsentwicklung haben, wurden in der Schweiz bisher im Rahmen von Kosten-Nutzenanalysen nicht berücksichtigt, da die eingesetzten Verkehrsmodelle solche Effekte nicht abbilden.

Für die meisten Verkehrsinfrastrukturprojekte kann davon ausgegangen werden, dass der Nutzen aufgrund von damit erzielbaren Reisezeitgewinnen den Nutzen, den der induzierte Verkehr bietet, deutlich übersteigt. Mittel- bis langfristig verlängern sich aber aufgrund des induzierten Verkehrs die Reisezeiten wieder, was wiederum den aus den Reisezeitgewinnen erzielten Nutzen reduziert. Das heisst, dass der langfristige Nutzen immer dann geringer ausfällt, als dieser gemäss der geltenden Normen und Richtlinien berechnet wird, wenn der Nutzen des induzierten Verkehrs geringer ausfällt, als die Kosten, welche aufgrund von Reisezeitverlängerung für den Stammverkehr entstehen, die auf den induzierten Verkehr zurückzuführen sind. Aufgrund der vorhanden Unterlagen kann aber keine Aussage gemacht werden, wie stark sich die Vernachlässigung des induzierten Verkehrs auf die Bewertung des Ausführungsprojekts auswirkt.

Die Erhöhung der Erreichbarkeit, welche Verbesserungen der Verkehrsinfrastruktur ermöglichen führen in der Vergangenheit auch zu einer gesteigerten Produktivität (Graham 2007, Graham und Dender 2011, Graham, Melo *et al.* 2012). Solche Effekte sind aber schwierig zu quantifizieren und werden bisher im Normenwerk zur Beurteilung von Verkehrsinfrastrukturausbauten nicht berücksichtigt.

6 Beurteilung zukünftiger Externalitäten im Rahmen der Kosten-Nutzen-Analyse

6.1 Lärm- und Schadstoffemissionen

Das vom Bundesamt für Strassen für die Bewertung von Strasseninfrastrukturprojekte vorgesehene Bewertungsverfahren NISTRA sieht als Externalitäten des Verkehrs neben Unfallkosten auch Indikatoren im Bereich der Luft- und Lärmbelastung, der Bodenversiegelung und Klimabelastung vor, die bei einer Kosten-Nutzen-Analyse monetarisiert werden (Bundesamt für Strassen (Astra) 2017). Gleich wie weitere Kosten- und Nutzelemente werden diese pro Jahr anfallenden Kostenelemente in Bezug auf einen Vergleichszeitpunkt abgezinst. Mit Ausnahme der Klimakosten wird von einer über die Bewertungsdauer konstanten Bewertung dieser Externalitäten ausgegangen. Die Quantifizierung der Unfall- und Emissionskosten erfolgte über Gesundheitskosten hedonische Preise. Daher ist davon auszugehen, dass sich eine steigende Wohlfahrt in höheren Kosten respektive Zahlungsbereitschaften zur Vermeidung solcher Externalitäten

widerspiegelt. Anders als bei der Bewertung der Reisezeitgewinne wird aber nicht von einer Steigerung der Zahlungsbereitschaften ausgegangen. Das heisst, dass die derzeit verwendete Bewertungsmethode zukünftige Externalitäten weniger stark gewichtet als die durch Reisezeitgewinne erzielten Nutzen.

6.2 Klimakosten

Bei den Klimakosten wird von einem Betrag von 105 CHF / t CO₂-Äquivalent für das Jahr 2010 und einer jährlichen Erhöhung um 3% ausgegangen. Dies bedeutet, dass zwischen 2020 und 2030 von einer Erhöhung der CO₂ Kosten um +34% ausgegangen wird. Prognosen zur Entwicklung der CO₂-Preise im europäischen Emissionshandel gehen von Preissteigerungen im Bereich von +200% bis +250% im gleichen Zeitraum (2020 bis 2030) voraus, wenngleich auch hier die Preisbasis mit rund 50 Euro/t CO₂-Äquivalent deutlich tiefer liegt (Edenhofer, Flachsland *et al.* 2019). Gleichzeitig gehen verschiedene Studien davon aus, dass die tatsächlichen Folgekosten der Klimaveränderung deutliche höher und im Bereich von umgerechnet CHF 195 bis 238 Euro/t CO₂-Äquivalent liegen (Bünger und Matthey 2018, Bressler 2021). Das heisst, dass die in der Schweiz gängigen Normen zur Bewertung der Klimafolgekosten eher unterschätzen.

Gemäss der vom ASTRA vorgegebenen Nachhaltigkeitsindikatoren für Strasseninfrastrukturprojekte (NISTRA) erfolgt die Quantifizierung der CO₂-Emissionen gemäss der im Handbuch Emissionsfaktoren (HBEFA) dargelegten Emissionswerte (Bundesamt für Strassen 2019). Die dort angegebenen CO₂-Äquivalente beziehen sich auf Emissionen, welche während der Fahrt entstehen. Seit der HBEFA Version 4.1 sind auch Well-to-Tank-Emissionsfaktoren verfügbar, welche die Emissionen aus der Kraftstoffherstellung/-bereitstellung und Stromerzeugung/-bereitstellung umfassen (Umweltbundesamt 2019). In der aktuell gültigen Version von Nistra werden aber weder vorgelagerte noch nachgelagerte Prozesse berücksichtigt (Bundesamt für Strassen 2019). Eine Integration ist aber für die nächste Überarbeitung von NISTRA vorgesehen.

Die während der Bauphase entstehenden CO₂-Emissionen werden gemäss der heute gültigen Version von NISTRA nicht direkt berücksichtigt. NISTRA sieht zwar im Rahmen der Nutzwertanalyse einen Indikator «Umweltbelastung während der Bauphase» vor. Mit diesem Indikator wird die Luft- und Lärmbelastung während der Bauphase sowie der Ressourcenverbrauch bewertet werden. Die Luft- und Lärmbelastung wird aufgrund der Umfahrungswirkung während Bauphase beschrieben. Der Ressourcenverbrauch fliesst dabei über die Streckenlänge (Betroffenheit) in die Bewertung ein. Die effektive Ressourcenmenge (z.B. Kiesmenge) wird nicht explizit berücksichtigt. Ebenso ist nicht vorgesehen, dass bei der Abschätzung der Ressourcenmenge die Art der geplanten Infrastruktur (z.B. Tunnel oder Brücke) berücksichtigt wird.

Studien zur Quantifizierung von Well-to-Wheel CO₂-Emissionen zeigen, dass der auf den Bau und Betrieb von Strasseninfrastruktur zurückzuführende Anteil rund 10g CO₂-Äquivalent pro PKW-Kilometer beträgt (Mottschall und Bergmann 2013, EnergieSchweiz 2020), also je nach Antriebs. Im Fall des über den Bypass abgewickelten Verkehr davon auszugehen, dass die infrastrukturbedingten CO₂- Äquivalente pro Fahrzeugkilometer höher liegen als im gesamtschweizerischen Schnitt, da Bau und Unterhalt eines Tunnels höhere CO₂-Emissionen nach sich ziehen als andere Streckenabschnitte. Solche Sondereffekte würden aber auch bei einer zusätzlicher Berücksichtigung vorgelagerter Prozesse nicht berücksichtigt.

6.3 Zwischenfazit

Bei der Bewertung von Externalitäten wie zum Beispiel Lärm- und Schadstoffemissionen wird nicht berücksichtigt, dass diese bei einer Erhöhung des Wohlstands zukünftig grösseren Geldwerten entsprechen. Ebenso wird nicht berücksichtigt, dass bei einer verdichteten Siedlungsentwicklung tendenziell mehr Personen von solchen Externalitäten betroffen sind. Somit werden die extern entstehenden Kosten von Strasseninfrastrukturprojekten eher unterschätzt.

Aufgrund des heutigen Wissensstands liegen die effektiven Klimafolgekosten höher als die in den derzeit geltenden Normen und Richtlinien dafür vorgesehenen Kostenfaktoren.

Für die Beurteilung des Ausführungsprojekts sind diese Effekte aber von untergeordneter Relevanz. Gemäss der Berechnung von EBP führt die Überdeckung im Bereich Grosshof dazu, dass die Immissionsgrenzwerte bei 54 Personen wieder eingehalten werden können, was einem Nutzen von rund 72'000 HCF pro Jahr entspricht. Die Kosten der Luftbelastung machen mit rund 2.7 Mio CHF pro Jahr gegenüber dem Nutzen aus Reisezeitgewinnen nur 5% aus. Die Klimafolgekosten, die aufgrund von einem Betrag von 105 CHF / t CO₂-Äquivalent für das Jahr 2010 und einer jährlichen Erhöhung um 3% berechneten wurden, betragen für das Ausführungsprojekt 270'000 CHF pro Jahr. Somit fallen die Klimafolgekosten auch bei einer zweimal höheren Bewertung, welche gemäss dem heutigen Stand des Wissens den tatsächlich zu erwartenden Klimafolgekosten eher entsprechen, in der Gesamtsicht nicht ins Gewicht. Dabei werden aber die beim Bau entstehenden CO₂-Emissionen nicht berücksichtigt. Aufgrund des grossen Betonbedarfs bei Tunnelbauten sind diese jedoch wohl beträchtlich.

Die langfristige Klimastrategie der Schweiz sieht vor, dass bis 2050 die CO₂-Emissionen im Verkehr aufgrund einer veränderten Flottenzusammensetzung, einer umfassende Elektrifizierung, den Einsatz treibhausgasneutraler Treibstoffe und steigende Effizienz auf Null zurück gehen. Bei dieser Betrachtung werden aber CO₂-Emissionen ausgeschlossen, die bei der Herstellung und Transport von Treibstoffen (primär Elektrizität und Biotreibstoffe) sowie in vorgelagerten Prozessen bei der Herstellung von Fahrzeugen sowie Bau und Betrieb der Verkehrsinfrastruktur entstehen. Inwiefern eine steigende Verkehrsnachfrage im MIV bei einer Well-to-Wheel Betrachtung mit den Klimazielen vereinbar ist, wurde bisher noch nicht aufgezeigt. Es scheint aber klar, dass in vor- und nachgelagerten Prozessen anfallende CO₂-Emissionen im Verkehr als unvermeidbare Emissionen klassifiziert und somit über Negativemissionstechnologien ausgeglichen werden müssten. Diese Verfahren sind derzeit aber ausnahmslos entweder in der Praxis noch nicht erprobt oder nicht einsatzbereit in dem Umfang, der benötigt wird, um klimawirksam zu sein.

7 Fazit

Aufgrund der dem AP zugrunde liegenden Verkehrsmodellierung wurde die Aussage abgeleitet, dass die Nationalstrasse N2 und N14 ohne das Projekt Bypass Luzern mit der prognostizierten Entwicklung teilweise überlastet sein werden und mit umfangreichem Ausweichverkehr über das untergeordnete Strassennetz zu rechnen sei.

Für die Beurteilung der verkehrlichen Wirkung des Bypasses wurde ein monomodales Verkehrsmodell eingesetzt. Die für das Jahr 2040 erwartete MIV-Nachfrage wurde aufgrund der zwischen 2017 und 2040 angenommenen Bevölkerungsentwicklung prognostiziert. Veränderungen bei der Angebotsqualität im ÖV- und Velonetz werden dabei nicht berücksichtigt. Die gesteigerte MIV-Nachfrage führt zu Reisezeitverlängerungen. Um die nachfragesenkende Wirkung dieser Reisezeitverlängerungen im monomodalen Verkehrsmodell abzubilden, wurde auf Basis von Nachfrageelastizitäten die Nachfrage einzelner Fahrbeziehungen je nach erwarteter Veränderung der Reisezeit reduziert. Da die Reisezeitverlängerung mit Bypass geringer ausfallen, als im Ausgangszustand ohne Bypass, wird mit einer gegenüber des Ausgangszustands leicht höheren Nachfrage gerechnet. Aus dem technischen Bericht zum Ausführungsprojekt wird jedoch nicht klar, ob im Projektzustand mit Bypass auf einzelnen Fahrbeziehungen auch mit verringerten Reisezeiten zu rechnen ist und ob die nachfragesteigernde Wirkung solcher Reisezeitreduktionen berücksichtigt worden sind.

Grundsätzlich muss bei grossen Strasseninfrastrukturverbesserungen und gleichzeitigen Angebotsverbesserungen im ÖV- und Velonetz ein multimodales Verkehrsmodell eingesetzt werden, welches Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahleffekte und deren Wechselwirkung über ein iteratives Berechnungsverfahren abbilden kann. Dies sieht die Norm SN 641 820 «Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr» auch so vor.

Die Wirkung von Infrastrukturausbauten auf die Siedlungsentwicklung sowie den Autobesitz werden aber auch von multimodalen Verkehrsmodellen nicht abgebildet. Dazu müssten die Verkehrsmodelle mit Siedlungsentwicklungsmodellen gekoppelt werden. Da somit mit bestehenden Verkehrsmodellen nicht alle nachfragesteigernden Wirkungen abgebildet werden, ist zu erwarten, dass die damit erstellten Nachfrageprognosen die tatsächlich zu erwartenden Strassenbelastungen eher unterschätzen.

Da die derzeit gültigen Richtlinien zur Bewertung von Strasseninfrastrukturprojekten die Bau und Unterhalt anfallenden CO₂-Emissionen nicht berücksichtigen, wird die mögliche Klimawirkung unvollständig quantifiziert. Im Normalfall ist der Anteil der bei Bau und Unterhalt anfallenden CO₂-Emissionen im Vergleich zu den am Fahrzeug entstehenden sowie den Well-to-Tank-Emissionen klein. Im Fall des Ausführungsprojekts Bypass dürfte der Bau des Tunnels aber zu beträchtlichen CO₂-Emissionen führen.

8 Empfehlungen

Aufgrund der oben dargelegten Erwägungen werden folgende Empfehlungen gemacht:

1. Verwendung eines geeigneteren Verkehrsmodells, welches folgende Entwicklungen und Sensitivitäten abbilden vermag.
 - Berücksichtigung der Wirkung der verdichteten Siedlungsentwicklung auf den Mobilitätswerkzeugbesitz
 - Prognose der Verkehrsnachfrage mit besserer Berücksichtigung der demographischen Entwicklungen
 - Berücksichtigung der Wirkung von ÖV-Angebotsverbesserungen wie z.B. der Durchgangsbahnhof Luzern
 - Personengruppen-spezifisches Verkehrsverhalten differenziert nach Mobilitätswerkzeugbesitz und Altersgruppe gemäss aktueller Verhaltensdaten
2. Berechnung der verkehrlichen Wirkung des Bypasses mit einem multimodalen Verkehrsmodell unter Berücksichtigung der Ziel-, Verkehrsmittel- und Routenwahleffekte.
3. Neuerstellung einer Kosten-Nutzen-Analyse für das Ausführungsprojekt, da das kantonale Projekt Spange Nord nicht oder anderes umgesetzt wird als beim Generellen Projekts angenommen wurde.
4. Qualitative Berücksichtigung der auch mit dem neuen Verkehrsmodell nicht abgedeckten Nachfragewirkung des Bypasses bezüglich der Siedlungsentwicklung und der Verkehrserzeugung.
5. Überprüfung der Bewertungsmethoden bezüglich des Einbezugs von Wohlstandseffekten bei der Monetarisierung von zukünftigen Externalitäten.
6. Besteuerung des motorisierten Individualverkehrs zur Internalisierung der Klimafolgekosten sowie weiterer, bisher nicht abgegoltener Externalitäten (Lärm- und Schadstoffemissionen sowie Unfallfolgekosten).

Das neue, kantonale Personenverkehrsmodell erfüllt die unter Punkt 1 dargelegten Eigenschaften und wäre daher dazu geeignet für die in Punkt 2 und 3 ausgeführte Neuerstellung einer Kosten-Nutzen-Analyse und Überprüfung der Anschlüsse für das Ausführungsprojekt eingesetzt zu werden. Zusätzlich kann im Sinne einer Gesamtperspektive überprüft werden, wie mit den Überkapazitäten auf der Stadtautobahn

umzugehen ist. Dabei kann beispielsweise das Potenzial einer Anpassung der Spurtopologie im Bereich Bypass und Stadttunnel in Bezug einer Stärkung von flächeneffizienten Verkehrsmitteln erwogen werden.

Die Punkte 4 und 5 beziehen sich auf gesamtschweizerische Fragestellungen und können nicht im Rahmen einer Neubeurteilung des Bypasses beantwortet werden.

9 Literatur

Aliesch, B.; Sauter, J. und Juster, J. (2006) Räumliche Auswirkung des Verainatunnels: Eine ex-post Analyse. Bern: Bundesamt für Raumentwicklung.

ARE, Bundesamt für Raumentwicklung (2021) Flächennutzungsmodellierung. Verfügbar über: <https://www.are.admin.ch/are/de/home/verkehr-und-infrastruktur/grundlagen-und-daten/flnm.html> (Letzter Zugriff: 13.08.2021).

Beige, Sigrun (2008) Long-term and mid-term mobility decisions during the life course. ETH Zurich, Zurich.

Bodenmann, Balz; Bürki, P.; Philipp, C.; Bernhard, N. und Müller, Kirill (2019) Synthetische Population 2017 - Modellierung mit dem Flächennutzungsmodell FaLC. Bern: Im Auftrag des Bundesamt für Raumentwicklung (ARE) und der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB).

Bressler, R. Daniel (2021) The mortality cost of carbon. In: Nature Communications: Jg. 12 (1) S. 4467.

Bubenhofer, Jonas (2018) Dichte und Mobilitätsverhalten: Auswertungen des Mikrozensus Mobilität und Verkehr. Bern: Bundesamt fuer Raumentwicklung.

Bundesamt für Statistik (2016) Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Kantone der Schweiz 2015-2045. Neuchâtel.

Bundesamt für Statistik (2020) Bilanz der ständigen Wohnbevölkerung, 1861-2019 - 1861-2019 | Tabelle *Bundesamt für Statistik*. Verfügbar über: <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/kataloge-datenbanken/tabellen.assetdetail.13707405.html> (Letzter Zugriff: 11.08.2021).

Bundesamt für Statistik BFS und Bundesamt für Raumentwicklung ARE (2017) Verkehrsverhalten der Bevölkerung - Ergebnisse des Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2015. Neuchâtel, No. 840–1500.

Bundesamt für Strassen (2019) Handbuch NISTRA 2017. Bern: Bundesamt für Strassen Astra.

Bundesamt für Strassen (2020) Gesamtsystem Bypass Luzern – Ausführungsprojekt: Technischer Bericht einschliesslich flankierender Massnahmen. Bern: Bundesamt für Strassen (Astra).

Bundesamt für Strassen (Astra) (2017) Handbuch eNISTRA. Bern: Bundesamt für Strassen (Astra).

Bünger, Björn und Matthey, Astrid (2018) Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten – Methodische Grundlagen. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Duranton, Gilles und Turner, Matthew A. (2011) The Fundamental Law of Road Congestion: Evidence from US Cities. In: American Economic Review: Jg. 101 (6) S. 2616–2652.

Edenhofer, Ottmar; Flachsland, Christian; Kalkuhl, Matthias; Knopf, Brigitte und Pahle, Michael (2019) Optionen für eine CO2-Preisreform: MCC-PIK-Expertise für den Sachverständigenrat zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung. Berlin: Mercator Research Institute of the Global Commons and Climate Change.

EnergieSchweiz (2020) Umweltauswirkungen von Personenwagen - Heute und Morgen. Bern: Bundesamt für Energie, Faktenblatt.

- Erath, Alexander (2020) Gutachten zum Ausführungsprojekt „Gesamtsystem Bypass Luzern“. Muttenz: FHNW, Gutachten für das Tiefbauamt der Stadt Luzern.
- Erath, Alexander und Axhausen, Kay W. (2020) Gutachten zum Synthesebericht: Projekt Spange Nord und Massnahmen für den ÖV. Muttenz: FHNW, Gutachten.
- Fröhlich, Philipp; Weis, Claude; Erath, Alexander; Vrtic, Milenko und Axhausen, Kay Werner (2013) SP-Befragung 2010 zum Verkehrsverhalten im Personenverkehr. Zurich: IVT, ETH Zurich, Travel Survey Metadata Series No. 48.
- Fröhlich, Philipp; Weis, Claude; Vrtic, Milenko; Widmer, Paul und Aemisegger, Philippe (2014) Einfluss der Verlässlichkeit der Verkehrssysteme auf das Verkehrsverhalten. Bern: Bundesamt für Strassen, No. SVI 2010/003.
- Garcia-López, Miquel-Àngel; Pasidis, Ilias und Viladecans-Marsal, Elisabet (2021) Congestion in highways when tolls and railroads matter: evidence from European cities. In: *Journal of Economic Geography*: (Ibab025).
- Giacomazzi, F.; Clerici, P.; Marti, P.; Rudel, R.; Brugnoti, L.; Passardi-Gianola, L. und Gianola, F. (2004) Räumliche Auswirkung der Verkehrsinfrastrukturen in der Magadinoebene: Eine ex-post Analyse. Bern: Bundesamt für Raumentwicklung.
- Goodwin, P. B. (1992) A Review of New Demand Elasticities with Special Reference to Short and Long Run Effects of Price Changes. In: *Journal of Transport Economics and Policy*: Jg. 26 (2) S. 155–169.
- Goodwin, Phil B. (1996) Empirical evidence on induced traffic. In: *Transportation*: Jg. 23 (1) S. 35–54.
- Goodwin, Phil; Dargay, Joyce und Hanly, Mark (2004) Elasticities of Road Traffic and Fuel Consumption with Respect to Price and Income: A Review. In: *Transport Reviews*: Jg. 24 (3) S. 275–292.
- Graham, Daniel J. (2007) Agglomeration, Productivity and Transport Investment. In: *Journal of Transport Economics and Policy*: Jg. 41 (3) S. 317–343.
- Graham, Daniel J. und Dender, Kurt Van (2011) Estimating the agglomeration benefits of transport investments: some tests for stability. In: *Transportation*: Jg. 38 (3) S. 409–426.
- Graham, Daniel J. und Glaister, Stephen (2004) Road Traffic Demand Elasticity Estimates: A Review. In: *Transport Reviews*: Jg. 24 (3) S. 261–274.
- Graham, Daniel; Melo, Patricia und Levinson, David (2012) Agglomeration, Accessibility, and Productivity: Evidence for Urbanized Areas in the US. University of Minnesota: Nexus Research Group, No. 000104.
- Güller, P.; Schenkel, W.; de Tommasi, R. und Oetterli, D. (2004) Räumliche Auswirkung der Zürcher S-Bahn: Eine ex-post Analyse. Bern: Bundesamt für Raumentwicklung.
- Hsu, Wen-Tai und Zhang, Hongliang (2014) The fundamental law of highway congestion revisited: Evidence from national expressways in Japan. In: *Journal of Urban Economics*: Jg. 81 S. 65–76.
- Jenni + Gottardi AG (2007a) Verkehrsmodell der Kantone Luzern, Obwalden, und Nidwalden. Luzern: Verkehr und Infrastruktur Kanton Luzern.
- Jenni + Gottardi AG (2007b) Herleitung von Gesetzmässigkeiten des individuellen Verkehrsverhaltens. Kilchberg: Kantone Aargau, Zürich, Luzern, Zug.
- Jenni + Gottardi AG (2014) Verkehrsmodell Kanton Luzern: Verkehrsgrundlagen für GP Bypass und Agglomerationsprogramm Luzern. Zofingen: ASTRA Filiale Zofingen, vif Kanton Luzern.
- Iustat (2020) Ständige Wohnbevölkerung nach Zivilstand, Geschlecht und Alter.
- Marchetti, Cesare (1994) Anthropological invariants in travel behavior. In: *Technological forecasting and*

social change: Jg. 47 (1) S. 75–88.

Metron AG (2015) ÖV-Konzept AggloMobil tre. Luzern: Verkehrsverbund Luzern.

Milam, Ronald T.; Birnbaum, Marc; Ganson, Chris; Handy, Susan und Walters, Jerry (2017) Closing the Induced Vehicle Travel Gap Between Research and Practice. In: Transportation Research Record: Jg. 2653 (1) S. 10–16.

Mottschall, Moritz und Bergmann, Thomas (2013) Treibhausgas-Emissionen durch Infrastruktur und Fahrzeuge des Strassen-, Schienen- und Luftverkehrs sowie der Binnenschifffahrt in Deutschland. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Næss, Petter; Nicolaisen, Morten Skou und Strand, Arvid (2012) Traffic Forecasts Ignoring Induced Demand: a Shaky Fundament for Cost-Benefit Analyses. In: European Journal of Transport and Infrastructure Research: Jg. 12 (3).

Planteam (2017) KVM-LU: Siedlungsdaten 2015, 2030, 2040. Luzern: Kanton Luzern, Dienststelle Verkehr und Infrastruktur.

Planteam S (2011) Siedlungsdaten 2010 – 2030, Stand Juni 2011. Luzern.

Rudolf Keller AG (2017) Arbeitsdokumentation Verkehrsmodell Kanton Luzern zum AP Gesamtsystem Bypass Luzern. Zofingen: Bundesamt für Strassen.

S-ce consulting (2019) Projekt Spange Nord und Massnahmen öV. Luzern, Synthesebericht.

Schafer, A. (2000) Regularities in travel demand: an international perspective. In: Journal of Transportation and Statistics: Jg. 3 (3).

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute VSS (2008) SN 641 820 - SN 641 828: Schweizer Normen des VSS zu Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr. Zurich.

SNZ Ingenieure und Planer (2018) Spange Nord Luzern: Verkehrsmodell 2017/2040. Luzern: Kanton Luzern.

Sommer, H.; Walter, F.; Widmer, P. und Buhl, T. (2004) Wirkungsketten Verkehr - Wirtschaft. Bern: Bundesamt für Strassen.

Umweltbundesamt (2019) Hintergrundinformationen zur Version 4.1 des Handbuchs für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.

Verkehrsverbund Luzern (2015) ÖV-Konzept AggloMobil tre: Beilage Verkehrsmodellrechnungen. Luzern: Verkehrsverbund Luzern.

Volker, Jamey M. B.; Lee, Amy E. und Handy, Susan (2020) Induced Vehicle Travel in the Environmental Review Process. In: Transportation Research Record: Jg. 2674 (7) S. 468–479.

VSS (2006) Kosten-Nutzen-Analysen im Strassenverkehr; Grundnorm. Zurich: Swiss Association of Road and Transport Professionals (VSS), Norm No. SN 641 820.

Wegener, Michael und Fuerst, Franz (2004) Land-Use Transport Interaction: State of the Art. Rochester, NY: Social Science Research Network, SSRN Scholarly Paper No. ID 1434678.

Weis, Claude und Axhausen, Kay Werner (2009) Induced Travel Demand: Evidence from a Pseudo Panel Data Based Structural Equations Model. In: Research in Transport Economics: Jg. 25 S. 8–18.

Zahavi, Yacov und Talvitie, Antti (1974) Travel Time Budgets and Mobility in Urban Areas. Washington D.C.: Federal Highway Administration, No. FHWA PL 8183.