

Tempo 30 als Ersatz für Tempo 50 an Hauptstraßen

Eine Analyse von Knotenpunkten und Straßenzügen anhand von Verkehrssimulationen

Masterarbeit

im Masterstudiengang

Urbane Mobilität

vorgelegt von

Jonas Walch

Matr.-Nr.: 2769679

am 26.01.2018

an der Technischen Hochschule Nürnberg

Georg Simon Ohm

Fakultät Bauingenieurwesen

Fachbereich Verkehrs- und Stadtplanung

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Harald Kipke

Zweitprüfer: Prof. Dipl.-Ing. Berthold Best

Kurzfassung

Die vorliegende Masterarbeit hat das Ziel, weitere Grundlagen zur Beantwortung der Frage zu liefern, welche Auswirkungen die Anordnung von Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit an Hauptstraßen mit sich bringt.

Die Reduzierung von Tempo 50 auf Tempo 30 innerhalb von Ortschaften und Innenstädten ist ein aktuelles Thema. Aber es ist zugleich ein kontrovers diskutiertes unter Experten, Politikern und betroffenen Bürgern.

Manche Forschungsergebnisse decken sich mit den Vorstellungen der Tempo-30-Befürworter und dem Wunsch von Anwohnern nach Reduzierung von Lärm und Luftverschmutzung und der Verbesserung von Lebensqualität und Verkehrssicherheit.

Mit dieser Arbeit soll nun ein weiterer wichtiger Teilaspekt dieses Themas abgehandelt werden: Die Frage nach den Auswirkungen auf den Verkehr bei einer Reduzierung der Geschwindigkeit von Tempo 50 auf Tempo 30 an Hauptstraßen.

Um ein möglichst genaues Abbild realistischer Verkehrssituationen darzustellen, wurden mithilfe des mikroskopischen Simulationsprogramms PTV VISSIM Simulationen angefertigt. Es wurde zunächst eine Grundlagenuntersuchung unternommen. Hierbei wurden Strecken von 1 km Länge auf ihre Leistungsfähigkeit geprüft. Danach wurden Kreuzungen auf ihre Leistungsfähigkeit mit Tempo 30 und Tempo 50 untersucht. Anschließend wurden Straßenzüge simuliert und verglichen.

Diese Arbeit richtet sich an Professoren und Studenten im Bereich Verkehrswesen und andere Personengruppen, wie beispielsweise Verantwortliche für die Verkehrsplanung in Städten und Gemeinden und interessierte Bürger, die sich mit dem Thema Tempo 30 beschäftigen.

Abstract

The aim of the present Master thesis is to supply further basic information on the effects of a 30 kph speed limit on main roads.

The reduction of the maximum speed limit from 50 kph to 30 kph is a very relevant question in many local towns and villages. However, it is also very controversial in discussions between experts and in political and public circles.

Some previous research results support the ideas of those in favour of 30-kph limits and the demands of affected residents, who wish to reduce noise and air pollution, to increase traffic safety and ensure a better quality of life.

The present scientific work deals with a subsidiary aspect of this question: its effect on traffic behaviour, when speed is reduced from 50 kph to 30 kph on main roads.

In order to reproduce highly accurate and realistic traffic situations, simulations were performed with PTV VISSIM, the leading microscopic simulation program. At first, some basic principles had to be dealt with. We therefore tested the capacities of road sections over a distance of 1 km. Then the capacities of intersections with traffic speeds of 30 kph and 50 kph were examined. After that whole streets were simulated and compared.

This work is intended for professors and students in the field of Traffic Engineering and for other people with an interest in the effects of reductions in speed, in particular 30-kph limits on main roads, such as those in charge of transport planning in their municipalities or concerned citizens, proponents or opponents of these measures.

Inhaltsverzeichnis

Inhalt

1. Einleitung	1
1.1 Ziel der Arbeit	2
1.2 Gliederung	2
2. Aktueller Stand der Politik und der Untersuchungen.....	4
2.1 Politische Diskussion und Gesetzeslage	4
2.2 Bisherige Untersuchungen zu Tempo 30.....	9
2.2.1 Sicherheit	9
2.2.2 Verkehrslärm	13
2.2.3 Luftschadstoffe	19
2.2.4 Fahrzeiten, Fahrgeschwindigkeiten, Reisezeitverlust und Verkehrsfluss	29
3. Berechnungsgrundlagen und Methodik.....	36
3.1 Ablauf der Berechnung und Annahmen.....	37
3.2 Grundlagen von PTV VISSIM	40
4. Untersuchung zur Belastbarkeit von Strecken mit VISSIM	43
5. Simulation der Knotenpunkte	53
5.1 Kleine Kreuzung mit Lichtsignalanlage	53
5.2 Große Kreuzung mit Lichtsignalanlage.....	65
5.3 Kreuzung ohne Lichtsignalanlage.....	76
6. Simulation des Straßenzugs	84
6.1 Straßenzug HVZ.....	87
6.2 Straßenzug Schwerverkehr	88
6.3 Straßenzug Belastung bei Nacht.....	89
6.4 Straßenzug lang	91
6.5 Straßenzug gesamt	92

7.	Vergleich und Auswertung der Knotenpunkte und der Straßenzüge	93
7.1	Vergleich der Knotenpunkte	93
7.1.1	Reisezeit	94
7.1.2	Staulängen	97
7.1.3	Verlustzeiten	100
7.2	Vergleich der Straßenzüge	103
7.2.1	Mittlere Geschwindigkeit	103
7.2.2	Mittlere Reisezeiten	104
7.2.3	Mittlere Anzahl von Halten	105
7.2.4	Mittlere Verlustzeiten/Mittlere Verlustzeiten stehend	106
7.2.5	Fazit Straßenzüge	107
7.3	Diskussion und Vergleich mit bestehenden Studien	108
8.	Fazit	112
9.	Schlusswort	114

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Todeswahrscheinlichkeit für Fußgänger (Quelle: Zukunft Mobilität)	10
Abbildung 2: Anhalteweg 30 km/h und 50 km/h (Quelle: tempo30.vdc)...	11
Abbildung 3: Belastung der Bevölkerung durch Verkehrslärm (Quelle: Umweltbundesamt - Nationale und internationale Umweltberichterstattung, 2017 S.78)	14
Abbildung 4: Lärmemissionen innerorts (Quelle: ADAC, 2015 S.14).....	16
Abbildung 5: "Mit Tempo 30 ist es leiser" (Quelle: Umweltbundesamt) ...	17
Abbildung 6: Die größten NOX-Sünder (Quelle: swr)	21
Abbildung 7: Differenz der lokalen Verkehrsbeiträge an Berliner Hauptverkehrsstraßen (Quelle: Rauterberg-Wulff, A., Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016 (unveröffentlicht)).....	25
Abbildung 8: Fahrzeiten bei Tempo 30 und Tempo 50 (Quelle: ADAC) ..	32
Abbildung 9: Weg-Geschwindigkeit-Diagramm Sonnenallee in Berlin, tagsüber 7-17 Uhr (Quelle: TUNE URL)	34
Abbildung 10: Prinzip der Sättigungsverkehrsstärke (Quelle: Tune URL)	35
Abbildung 11: Phasenbilder (Quelle: HBS 2001)	38
Abbildung 12: Belastungsdiagramm - freie Strecke (Quelle: eigene Darstellung)	44
Abbildung 13: Belastungsdiagramm - zweispurig - freie Strecke (Quelle: eigene Darstellung).....	46
Abbildung 14: Belastungsdiagramm - LSA 45 s (Quelle: eigene Darstellung)	47
Abbildung 15: Belastungsdiagramm - zweispurig - LSA 45 s (Quelle: eigene Darstellung).....	48
Abbildung 16: Belastungsdiagramm - LSA 30 s (Quelle: eigene Darstellung)	49
Abbildung 17: Belastungsdiagramm - zweispurig - LSA 30s (Quelle: eigene Darstellung).....	50
Abbildung 18: Belastungsdiagramm - LSA 15s (Quelle: eigene Darstellung)	51

Abbildung 19: Belastungsdiagramm - zweispurig - LSA 15s (Quelle:
eigene Darstellung)..... 52

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: LSA-Berechnung kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	55
Tabelle 2: Freigabezeiten kleine Kreuzung 50 km/h (40 km/h) (Quelle: eigene Darstellung)	56
Tabelle 3: Freigabezeiten kleine Kreuzung 30 km/h (Quelle: eigene Darstellung)	56
Tabelle 4: Mittlere Fahrzeugreisezeit kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	58
Tabelle 5: Staulänge kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	60
Tabelle 6: Verlustzeiten kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	63
Tabelle 7: Schadstoffausstöße kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	64
Tabelle 8: LSA-Berechnung große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	67
Tabelle 9: Freigabezeitberechnung große Kreuzung 50km/h (Quelle: eigene Darstellung)	68
Tabelle 10: Freigabezeitberechnung große Kreuzung 30 km/h (Quelle: eigene Darstellung)	69
Tabelle 11: Mittlere Fahrzeugreisezeit große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	70
Tabelle 12: Staulänge große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	72
Tabelle 13: Verlustzeiten große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	74
Tabelle 14: Schadstoffausstöße große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	75
Tabelle 15: Mittlere Fahrzeugreisezeit Kreuzung ohne LSA (Quelle: eigene Darstellung)	77
Tabelle 16: Staulänge Kreuzung ohne LSA (Quelle: eigene Darstellung)	80
Tabelle 17: Verlustzeiten Kreuzung ohne LSA (Quelle: eigene Darstellung)	82
Tabelle 18: Schadstoffausstöße (Quelle: eigene Darstellung)	84
Tabelle 19: Belastung Straßenzug HVZ (Quelle: eigene Darstellung)	88

Tabelle 20: Belastung Straßenzug Schwerverkehr (Quelle: eigene Darstellung)	89
Tabelle 21: Belastung Straßenzug Nacht (Quelle: eigene Darstellung)...	91
Tabelle 22: Belastung Straßenzug lang (Quelle: eigene Darstellung)	92
Tabelle 23: Mittlere Fahrzeugreisezeiten - kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	95
Tabelle 24: Mittlere Fahrzeugreisezeiten - große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	96
Tabelle 25: Mittlere Fahrzeugreisezeiten - Kreuzung ohne LSA (Quelle: eigene Darstellung).....	96
Tabelle 26: Staulänge - kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)....	98
Tabelle 27: Staulänge - große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)....	98
Tabelle 28: Staulänge - Kreuzung ohne LSA (Quelle: eigene Darstellung)	99
Tabelle 29: Verlustzeiten - kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	101
Tabelle 30: Verlustzeiten - große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)	101
Tabelle 31: Verlustzeiten - Kreuzung ohne LSA (Quelle: eigene Darstellung)	102
Tabelle 32: Mittlere Geschwindigkeit - Straßenzüge (Quelle: eigene Darstellung)	104
Tabelle 33: Mittlere Reisezeiten - Straßenzüge (Quelle: eigene Darstellung)	105
Tabelle 34: Mittlere Anzahl der Halte - Straßenzüge (Quelle: eigene Darstellung)	106
Tabelle 35: Mittlere Verlustzeiten - Straßenzüge (Quelle: eigene Darstellung)	107
Tabelle 36: Mittlere Verlustzeiten stehend - Straßenzüge (Quelle: eigene Darstellung)	107

Abkürzungsverzeichnis

BASt	Bundesanstalt für Straßenwesen
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BUND	Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland
dB(A)	Dezibel mit A-Bewertung von Lautstärkepegeln (20-40 phon)
EEA	oder EUA Europäische Umweltagentur
EPA	Environmental Protection Agency (amerikanische Umweltbehörde)
GR	Gegenrichtung
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
HR	Haupttrichtung
HVZ	Hauptverkehrszeit
ICCT	International Council on Clean Transportation
IHK	Industrie- und Handelskammer
LZA	Lichtzeichenanlage
LSA	Lichtsignalanlage
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
RDE	Real Driving Emissions – Emissionen im realen Fahrbetrieb
RiLSA	Richtlinien für Lichtsignalanlagen
SCR-Katalysator	selective catalytic reduction - Katalysator mit selektiver chemischer Reaktion, die bevorzugt Stickoxide reduziert
StVO	Straßenverkehrsordnung
SV	Schwerverkehr
VISSIM	Verkehr In Städten - SimulationsModell
VOC	volatile organic compounds - flüchtige organische Verbindungen
WLTP	World Harmonised Light Vehicle Test Procedure – weltweit einheitliches Testverfahren zur Bestimmung von Abgasemissionen

1. Einleitung

Schon seit einigen Jahren findet eine heftig geführte Diskussion zwischen Bürgern und Politikern über eine Reduzierung der Geschwindigkeit an innerstädtischen Hauptstraßen auf 30 km/h statt. Nachdem die Innenstadt von Buxtehude im Jahre 1983 zur ersten Tempo-30-Zone in Deutschland erklärt wurde, haben in den folgenden Jahren immer mehr deutsche Städte diese Langsamfahrzonen adoptiert. Heutzutage sind solche Zonen in ganz Deutschland in Innenstädten und Ortschaften zu finden. Laut ADAC (vgl. ADAC, 2015 S.7) existieren beispielsweise in München derzeit über 300 Tempo-30-Zonen. Das sind etwa 80-85 % des gesamten Straßennetzes. Lediglich an Hauptstraßen wurden Tempo-30-Zonen in der Regel nicht eingerichtet. Ausnahmen sind abschnittsweise Reduzierungen bei einer besonderen Gefahrenlage oder vor Bildungseinrichtungen.

Dies wollen Tempo-30-Befürworter ändern. Das Umweltbundesamt formulierte in seiner Broschüre „Die Stadt für Morgen“ (vgl. Umweltbundesamt S.19) die Vision, bis zum Jahr 2020 30 km/h als Regelgeschwindigkeit in deutschen Städten einzuführen.

Die Diskussion hat sich in den letzten Jahren immer weiter verschärft, und mit der Absenkung der Hürde für innerörtliche Geschwindigkeitsbegrenzungen durch die Änderung der Straßenverkehrs-Ordnung (StVO) im Dezember 2016 wurde ein erster Schritt in Richtung Tempo 30 auch auf Hauptstraßen unternommen.

In der Argumentation wurde viel Wert auf Forschungsergebnisse zu Umweltaspekten, wie Lärmschutz und Emissionsausstoß, und zu Sicherheitsaspekten, wie Unfallhäufigkeit und Unfallschwere, gelegt.

1.1 Ziel der Arbeit

Es wurden bisher allerdings kaum Nachforschungen im Bereich Reisezeitverlängerung infolge von Geschwindigkeitsreduzierungen angestellt. Im Hinblick auf diesen Aspekt behaupten die Tempo-30-Befürworter, dass es bei einer Reduzierung der Geschwindigkeit kaum zu Zeitverlusten käme, während die Gegner auf dem Standpunkt stehen, dass der Verkehrsfluss massiv beeinträchtigt würde und sich dadurch auch die Reisezeit deutlich verlängern würde.

In dieser Arbeit soll untersucht werden, ob eine generelle Reduzierung, beziehungsweise eine bundesweite Reduzierung, der Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h auf 30 km/h an Hauptstraßen im Hinblick auf die Leistungsfähigkeit und der Verkehrsqualität von Knotenpunkten und Straßenzügen sinnvoll wäre. Es sollen mithilfe des mikroskopischen Simulationsprogramms PTV VISSIM verschiedene Situationen dargestellt werden. Im Rahmen der Möglichkeiten des Simulationsprogramms soll dann überprüft werden, wie sich die betrachteten Abschnitte mit Tempo 30 und Tempo 50 verhalten. Damit behandelt diese Arbeit einen wichtigen und eher vernachlässigten Teilaspekt der Auswirkungen von Temporeduzierungen an Hauptstraßen. Die Untersuchungen können neue Erkenntnisse für die Diskussion liefern und ermöglichen es Politikern und Bürgern, sich ein besseres Bild über die Faktenlage zu verschaffen. Durch die Darstellung klarer Daten in diesem Teilbereich können Entscheidungsprozesse erleichtert werden.

1.2 Gliederung

In dieser Arbeit soll ein möglichst genaues Abbild realistischer Verkehrssituationen dargestellt werden. Um dies zu erreichen, werden verschiedene Verkehrssimulationen durchgeführt. Mit der Simulation von Knotenpunkten und Straßenzügen soll das Hauptaugenmerk dieser Arbeit auf zwei wichtigen Situationen liegen, die im Straßenverkehr

auftreten und auf die eine Geschwindigkeitsreduzierung Auswirkungen haben könnte.

Im Anschluss an die Einleitung werden in Kapitel 2 die politische Diskussion und die Gesetzeslage beschrieben. Ferner werden in diesem Kapitel die bisherigen Untersuchungen zu Tempo 30 aufgezeigt. Dabei werden bisherige Studien zu diesem Thema betrachtet und verglichen und die Ergebnisse zur Sicherheit, zu Emissionen, Lärmbelastungen und Reisezeiten dargestellt.

Das dritte Kapitel beschäftigt sich mit dem Ablauf der Berechnung der Lichtsignalanlagen und der Vorgehensweise bei den Simulationen. Es werden dort zunächst die Formeln, die zur Berechnung herangezogen wurden, aufgezeigt. Als nächstes werden die wichtigsten Aspekte der Untersuchung und die Tools, die bei der Erstellung der Simulationen verwendet wurden, vorgestellt.

Nach der Erläuterung der Vorgehensweise, werden im vierten Kapitel die Simulationen zu der Belastbarkeit von Strecken durchgeführt. Dabei werden Strecken ohne Widerstände und Strecken mit Widerständen in Form von Lichtsignalanlagen auf ihre maximal mögliche Sättigung untersucht.

Im fünften Kapitel werden dann Simulationen zu Knotenpunkten durchgeführt. Die erste Simulationsreihe wird sich mit Straßenkreuzungen beschäftigen. Dort wird anhand von Beispielkreuzungen überprüft, wie sich die verschiedenen Geschwindigkeiten auf die Kreuzungen niederschlagen. Es werden dabei Parameter wie die mittlere Reisezeit, die mittlere Geschwindigkeit, die Verlustzeiten und die Staulängen der einzelnen Fahrzeugströme betrachtet und ausgewertet. Zunächst werden in diesem Kapitel die signalisierten Knotenpunkte untersucht. Dabei wird zuerst eine kleine Kreuzung simuliert. Dieser Knotenpunkt wird mit einem Zwei-Phasen-System ausgestattet. Der nächste Knotenpunkt ist eine große Kreuzung mit einem Vier-Phasen-System. Darauf folgend wird eine Kreuzung ohne Lichtsignalanlage betrachtet. Die Regelung erfolgt dabei durch Vorfahrtsregelung eines Verkehrsstroms.

Im nächsten Kapitel (Kapitel 6) wird ein Straßenzug betrachtet. Der Schwerpunkt der Untersuchung wird dort, im Unterschied zu den Knotenpunktbehandlungen, nicht auf die einzelnen Ströme gelegt, sondern auf die Betrachtung des Netzes im Ganzen. Die Straßenzüge werden verschiedenen Belastungen ausgesetzt.

Zuletzt findet im Kapitel 7 eine Auswertung der durchgeführten Versuche statt. Dort werden die Ergebnisse der Simulationen evaluiert und untersucht, ob sich ein Trend infolge der Geschwindigkeitsreduzierungen abzeichnet. Abschließend werden die Simulationsergebnisse mit den Ergebnissen bisheriger Studien verglichen.

2. Aktueller Stand der Politik und der Untersuchungen

2.1 Politische Diskussion und Gesetzeslage

Die Debatte über eine Geschwindigkeitsreduzierung läuft nun seit einigen Jahren. In diesem Kapitel sollen zunächst der jetzige Stand der Politik und die Argumente der Befürworter und Gegner aufgezeigt werden. Es wird in diesem ersten Teil des Kapitels dabei weniger Wert auf die verkehrlichen Aspekte gelegt. Vielmehr liegt das Hauptaugenmerk auf den Entwicklungen der letzten Jahre und den Argumenten, die die Politik, die Gemeinden und die Bürger für und gegen die Reduzierung auf Tempo 30 vorgebracht haben.

Bürger und Gemeinden für und gegen die Reduzierung auf Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen, eine exemplarische Diskussion

Ein aktuelles Beispiel für die Mobilisierung von Befürwortern und Gegnern von Tempo 30, das die Presse aufgegriffen hat, auch weil das Thema eine ganze Stadt polarisierte, lässt sich in Ulm-Wiblingen (Baden-Württemberg) finden. Dort gibt es schon seit Ende der 1970er Jahre eine Bürgerinitiative

zur Verkehrsberuhigung, auf deren Betreiben in den letzten beiden Jahren mehrere Ortsdurchfahrten auf Tempo 30 reduziert wurden. Diese Entwicklung rief die Tempo 30 Gegner auf den Plan, die ihrerseits eine Bürgerinitiative „Pro Tempo 50 – Gegen Tempo 30“ gründeten (vgl. Bürgerinitiative pro 50). Ihrer Webseite lässt sich die Argumentationsweise entnehmen, die sicherlich stellvertretend für viele dieser Initiativen angenommen werden kann:

Den durch Studien belegten Argumenten der Tempo 30 Befürworter, dass eine Reduzierung der Geschwindigkeit an Hauptverkehrsstraßen Lärm und schädliche Emissionen mindert, mehr Sicherheit für die Verkehrsteilnehmer und mehr Aufenthaltsqualität der Anwohner ermöglicht, ohne dass sich die Reisezeit wesentlich erhöht, wird in allen Punkten widersprochen oder die Aussagen werden relativiert. Interessant ist dabei, dass sich aus denselben Studien zu den Auswirkungen von Geschwindigkeitsreduzierungen, je nach Position des Betrachters, unterschiedliche Schlussfolgerungen ziehen lassen, auf die wir in diesem Kapitel eingehen werden.

Außerdem gibt es Studien, die bei denselben Fragestellungen zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen, wobei die Bedingungen, unter denen die Messungen stattfanden, nicht immer vergleichbar sind.

Und schließlich fällt die Wortwahl auf, wenn, wie in diesem Fall, den Tempo 30 Befürwortern blinder Aktionismus, Pseudo-Erfolge, Placebo Maßnahmen, unrealistische Messungen und Umweltlobbyismus vorgeworfen werden. Dadurch wird ersichtlich, wie aufgeheizt und emotional die Debatte oft vor Ort geführt wird.

Igor Steinle, ein Journalist der Südwest Presse, deutet in seinem Artikel vom 11.01.2016 die nächsten Ebenen an, auf denen diese Diskussionen ebenfalls stattfinden, wenn er zu dem Konflikt in Ulm feststellt, er sei „längst zu einem ideologischen Stellvertreterstreit geworden. Das sieht man an den Akteuren, die sich aneinander reiben: die Grünen mit der CDU, der Bund und die IHK, der ADAC und der VCD“ (vgl. Steinle, 2016).

Tatsächlich ist die Positionierung der erwähnten Parteien, Organisationen und Verkehrsclubs relativ leicht auszumachen: Die Grünen als Öko-Partei

2. Aktueller Stand der Politik und der Untersuchungen

und der BUND als Umwelt-und Naturschutzorganisation stehen eher auf der Seite der Tempo 30 Befürworter, während sich die CDU und die Industrie-und Handelskammer eher für die Beibehaltung der Regelgeschwindigkeit Tempo 50 stark machen. Der ADAC, der 2016 19,6 Mio. Mitglieder zählte, vertritt als Automobil Club vehement die Interessen der Autofahrer und damit Tempo 50. Hingegen wirbt der Verkehrsclub Deutschland, mit 55 000 Mitgliedern, für eine „umwelt-und sozialverträgliche, sichere und gesunde Mobilität.“ Dazu gehört seine Forderung nach einer „Basisgeschwindigkeit von Tempo 30, wo Tempo 50 nicht zwingend notwendig ist“ (vgl. Tempo 30 für mehr Leben, 2017).

Alle diese Gruppierungen und natürlich das Umweltbundesamt lieferten Untersuchungen, Stellungnahmen und Diskussionsbeiträge zum Thema Reduzierung von Geschwindigkeit an Hauptverkehrsstraßen.

Die Rolle der Politik

Nicht nur die Nürnberger ÖDP (Ökologisch-Demokratische Partei), sondern alle demokratischen Parteien, traten bei der letzten Bundestagswahl mit dem Anspruch an, „Politik zum Wohle aller Bürger“ gestalten zu wollen (Ökologisch-Demokratische Partei, 2018). Aber was tun, wenn die betroffenen Bürger keinen Konsens finden, was verkehrspolitisch zu ihrem Wohl dient? Solange die Autofahrer und ihre mächtigen Vertreter Tempolimits als Beschneidung ihrer Freiheit oder als Schikane sehen, ist es nicht verwunderlich, dass die Politik nicht gern ein heißes Eisen, wie die Reduzierung der Geschwindigkeit an Hauptverkehrsstraßen, anfasst.

Von der anderen Interessenseite wird ihr dafür Inaktivität und Verantwortungslosigkeit vorgeworfen: So provoziert z.B. Heinrich Strößenreuther mit dem Slogan seiner Initiative Volksentscheid Fahrrad „Politik tötet Radfahlerin“ und stellt in seinem Gastkommentar bei der taz vom 29.03.2017 die Frage nach der politischen Verantwortung für die gestiegene Anzahl der Radtoten in Berlin im Jahr 2016. Er meint: „Noch lässt die Politik das unbehelligte Weiter-(g)rasen der heiligen Kuh der Deutschen, dem Auto, zu.“ (vgl. taz, 2017)

Wenn man durch eine klare Positionierung, auf der einen oder der anderen Seite, die halbe Nation gegen sich aufbringt, bleibt man als Politiker besser auf der sicheren Seite. So twitterte Sigmar Gabriel (SPD) schon 2012: „Tempo 30 in Innenstädten: solche Fragen sollten Bundespolitiker lieber den Kommunalpolitikern überlassen. Die können das besser beurteilen“ (vgl. Randelhoff, 2017).

Auch auf der Ebene von Landesregierungen können selbst grüne Politiker, wie Hessens Verkehrsminister Tarek Al-Wazir, erstaunlich zurückhaltend sein. Solange der Frankfurter Modellversuch „Tempo 30 bei Nacht“, der vom Sommer 2015 bis Ende 2016 lief, noch nicht ausgewertet war, ließ er verlauten, dass die Landesregierung eine reguläre Anordnung von Tempo 30 nachts zur Entlastung der Anwohner respektieren würde. Es sei allerdings klar, dass die Entscheidung vor Ort getroffen werde.

In Frankfurt gab es derweil heftige Auseinandersetzungen in der schwarz-rot-grünen Koalition. SPD und CDU hatten sich vor dem Gutachten eindeutig gegen Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen in Position gebracht. Die Grünen waren für die Tempoabsenkung. Trotz Gegenwindes von vielen Seiten wurde die nächtliche Geschwindigkeitsreduzierung von Tempo 50 auf Tempo 30 an mehreren Hauptverkehrsstraßen angeordnet (vgl. Manus, 2016).

Entwicklung und neue Gesetzeslage

In Deutschland gilt seit 1957 eine generelle Geschwindigkeitsbegrenzung von 50 km/h innerorts. Für eine Beschränkung auf 30 km/h gibt es zwei Möglichkeiten: begründete Beschränkungen eines Streckenabschnitts auf 30 km/h sowie die Tempo-30- Zone.

Aber die Frage, ob in Innenstädten generell eine Geschwindigkeitsreduzierung eingeführt werden soll, steht schon länger im Raum. Doch, wie oben erwähnt, hat die Bundespolitik einige Jahre einen Bogen um dieses strittige Thema gemacht.

Ausschlaggebend für einen Eingriff in die Straßenverkehrsordnung unter Verkehrsminister Alexander Dobrindt, im Hinblick auf eine Erleichterung von Geschwindigkeitsreduzierungen, war der Sicherheitsaspekt.

So ist seit dem 14. Dezember 2016 die Neue Verordnung zur Änderung der Straßenverkehrsordnung (StVO) in Kraft getreten. Neben anderen Änderungen, wie z.B. das Erlauben der Benutzung des Gehwegs für Radfahrer als Aufsichtspersonen, die Zulassung von E-Bikes auf Radwegen und die Verschärfung der Regeln zur Bildung einer Rettungsgasse, wurden auch Änderungen im Bereich Tempo 30 vorgenommen. Während für eine Geschwindigkeitsreduzierung an Hauptverkehrsstraßen zuvor eine hohe bürokratische Hürde genommen werden musste, soll es nun einfacher werden, an ausgewählten Punkten und Streckenabschnitten eine solche Änderung zu erreichen. Zuvor sah die Regelung vor, dass auf Hauptverkehrsstraßen nur bei einer besonderen Gefahrenlage eine Geschwindigkeitsbeschränkung vorgenommen werden darf. Es musste hier in der Regel ein Nachweis für einen Unfallschwerpunkt vorliegen. Nun soll diese Eingriffsschwelle abgesenkt werden und somit die streckenbezogene Anordnung von Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen erleichtert werden (vgl. BMVI).

Durch diese Änderungen soll es Ländern und Kommunen einfacher gemacht werden, an Hauptverkehrsstraßen vor sensiblen Einrichtungen wie Kindertagesstätten, Schulen, Krankenhäusern und Seniorenheimen eine Geschwindigkeitsreduzierung durchzusetzen.

Verkehrsminister Alexander Dobrindt (CSU) begründete die Maßnahme so: „Schwächere Verkehrsteilnehmer wie Kinder oder Senioren brauchen einen besonderen Schutz.“

Dem Umweltbundesamt geht diese Gesetzesänderung nicht weit genug.

Im März 2017 veröffentlichte das Umweltbundesamt eine Fachbroschüre, mit der Überschrift „Die Stadt für Morgen“. In dieser Broschüre werden die Ziele und Visionen des Bundesamtes in Bezug auf Städte bis zum Jahr 2030 dargestellt. Eines der Ziele ist es, bis zum Jahr 2020 Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit in Städten einzuführen (vgl. Umweltbundesamt – die Stadt für morgen). Dies sorgte bundesweit für einiges Aufsehen und

für Widerspruch, z.B. von der Thüringer Verkehrsministerin Birgit Keller (Die Linke) (vgl. MDR, vom 14.04.2017).

Lediglich die Grünen und der Verkehrsclub Deutschland (VCD) sprachen sich für eine solche Regelung aus.

Vom Bundesverkehrsministerium wurde der Plan abgelehnt, da er die Entscheidungsfreiheit der betroffenen Kommunen einschränken würde und den Verkehrsfluss unverhältnismäßig bremsen (vgl. Doll, 2017).

Mitentscheidend für die weitere Entwicklung und Meinungsbildung auf der Ebene der Politik und der Gesellschaft wird auch der Einfluss des Umweltbundesamtes sein.

2.2 Bisherige Untersuchungen zu Tempo 30

In diesem Kapitel sollen auch bisherige Untersuchungen zum Thema Tempo 30 dargestellt werden. Im Vordergrund stehen hierbei Veröffentlichungen des Umweltbundesamtes (Wirkungen von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen) und des ADAC (Tempo 30 – Pro & Contra). Die beiden Organisationen haben zu einer Geschwindigkeitsreduzierung von Tempo 50 auf Tempo 30 eigene Studien angefertigt. Während der ADAC eine kritische Position gegenüber einer Geschwindigkeitsbegrenzung von 30 km/h auf Hauptverkehrsstraßen einnimmt, befürwortet das Umweltbundesamt eine solche Reduzierung.

2.2.1 Sicherheit

Es gibt eine Vielzahl von Untersuchungen zu den Vorteilen von Tempo 30 für die Verkehrssicherheit in Wohngebieten und Innenstädten. Denn die Tempo-30-Zonen waren ja keine Selbstläufer, und Menschen mussten auf allen Ebenen überzeugt werden. Manche Ergebnisse lassen sich auch auf die Frage nach dem Nutzen von Geschwindigkeitsreduzierungen für die Sicherheit auf Hauptverkehrsstraßen übertragen.

2. Aktueller Stand der Politik und der Untersuchungen

Da Hauptverkehrsstraßen aber den Verkehr bündeln sollen und möglichst flüssig durchschleusen, werden an sie andere Anforderungen gestellt als an Straßen durch reine Wohngebiete. Andererseits hat auch dabei Verkehrssicherheit Priorität.

Tatsache ist, dass die Geschwindigkeit bei nahezu allen Unfällen eine Rolle spielt. Ein allgemein bekannter Aspekt ist dabei, dass bei einem Unfall, je höher die Geschwindigkeit des Autos beim Aufprall ist, umso drastischer die Auswirkungen auf die Gesundheit des Verkehrsteilnehmers sind.

Während ein Verkehrsunfall in der Innenstadt zwischen motorisierten Verkehrsteilnehmern meist ohne große Personenschäden bleibt, werden nichtmotorisierte Verkehrsteilnehmer häufig schwerer verletzt. Da die Aufprallenergie bei Tempo 50 etwa 2,8 mal größer ist als bei Tempo 30, sinkt bei einem Unfall mit einem Pkw die Wahrscheinlichkeit einer tödlichen Verletzung für Fußgänger und Radfahrer deutlich, wenn die Aufprallgeschwindigkeit nur 30 km/h beträgt.

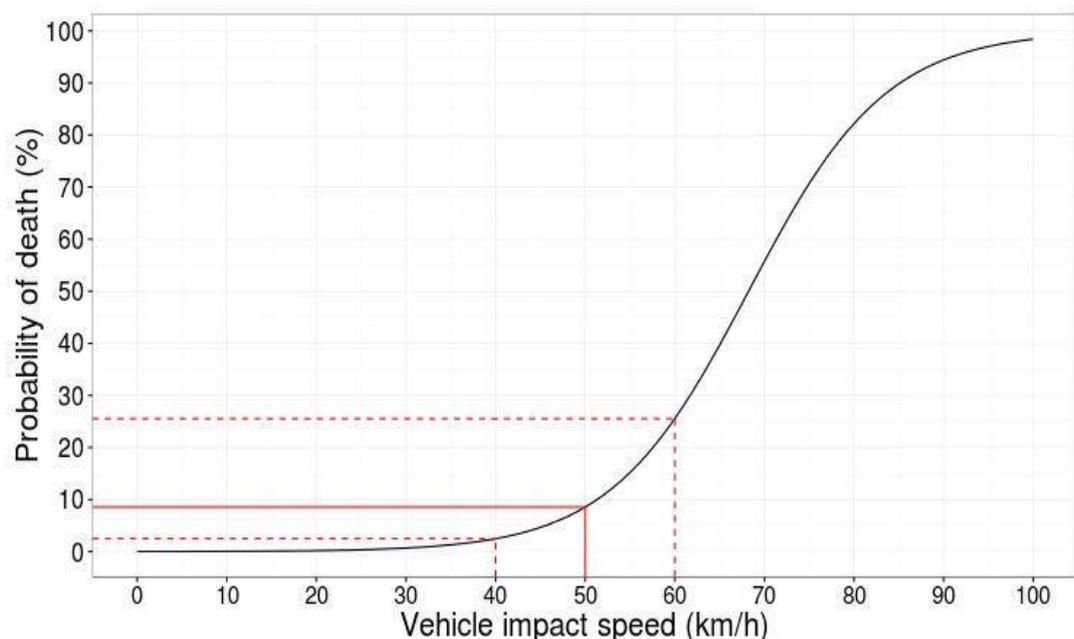


Abbildung 1: Todeswahrscheinlichkeit für Fußgänger (Quelle: Zukunft Mobilität)

Durch Tempo 30 können aber auch viele Unfälle vermieden werden.

Ein auch von Tempo 30 Gegnern akzeptiertes Argument hierfür ist der deutlich geringere Anhalteweg, der sich bekanntermaßen aus

2. Aktueller Stand der Politik und der Untersuchungen

Reaktionsweg und Bremsweg zusammensetzt. Während der durchschnittliche Anhalteweg bei Tempo 50 27,7 m beträgt, sind es für Tempo 30 lediglich 13,3 m. Bei 50 km/h ist allein der Reaktionsweg, der Weg, den der Fahrer benötigt um den Bremsvorgang einzuleiten, länger als der Anhalteweg bei Tempo 30.

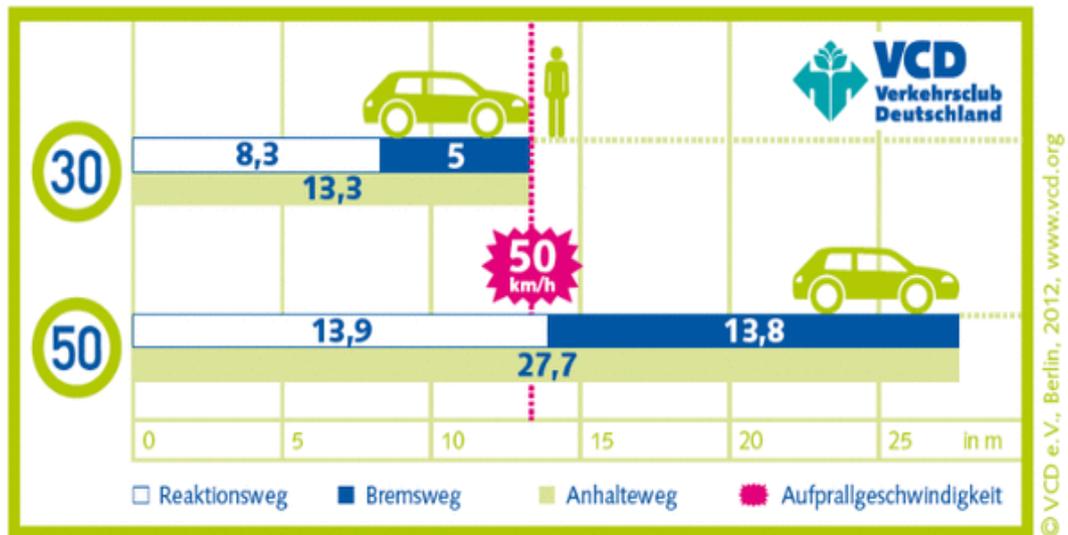


Abbildung 2: Anhalteweg 30 km/h und 50 km/h (Quelle: tempo30.vdc)

Des Weiteren ist es bei niedrigerer Geschwindigkeit deutlich leichter für Verkehrsteilnehmer, die Geschwindigkeit herannahender Fahrzeuge einzuschätzen. Dadurch können gefährliche Situationen entschärft werden.

Dr. Maria Limbourg, Professorin i.R. an der Universität Duisburg/Essen, weist in ihrer Studie zur Verkehrssicherheit darauf hin, dass eine Geschwindigkeitsreduzierung auf Tempo 30 Autofahrern einen weiteren Blickwinkel ermöglicht und dadurch auch eine bessere Wahrnehmung des Geschehens am Straßenrand (Fußgänger, Radfahrer, auch Verkehrsschilder). Die Folge ist eine Unfallrisikominderung, die sich am stärksten bei den nichtmotorisierten Verkehrsarten auswirkt und damit besonders Fußgänger, Radfahrer, ältere Menschen, Behinderte und Kinder schützt. Nach ihren Angaben können sich die Unfallzahlen hier um 60-70 % reduzieren (vgl. Keller, et al., 2017).

2. Aktueller Stand der Politik und der Untersuchungen

Andere Publikationen, z.B. vom VCD verweisen auf Untersuchungen von Tempo-30-Zonen in verschiedenen Städten, wo Unfallzahlen um etwa 40 % zurückgegangen sind.

Exemplarisch für die Argumentation mancher Tempo-30-Befürworter sei die Kampagne „Tempo 30 rettet Leben“ von TRENDSETTER erwähnt, die ein „Mosaik der Fakten“ aus mehreren Städten Europas zu den Vorteilen einer Temporeduzierung, auch auf Hauptverkehrsstraßen, sammelt. Das dafür vorgebrachte Argument, dass das Verhältnis von Kinderunfällen im Straßenverkehr innerorts und außerorts 28:1 sei (Zahlen von 2011), scheint zunächst sehr alarmierend (vgl. 30 km/h - Macht die Straßen lebenswert!).

Dagegen setzen darf man allerdings die aktuellen Zahlen des Statistischen Bundesamts: 2016 verunglückten im Straßenverkehr in Deutschland 28 547 Kinder (+1,1 % gegenüber 2015). Davon starben 66 Kinder, 18 weniger als im Vorjahr. Im Vergleich zu ihrem Bevölkerungsanteil (13,2 %) machen Kinder 7,1 % der Verunglückten im Straßenverkehr aus. Auch die Zahl der getöteten Kinder sinkt konstant (vgl. Statistisches Bundesamt, 2017).

Diese Zahlen entheben weder Experten noch Politiker oder Verkehrsteilnehmer ihrer Verantwortung, denn jeder Unfalltote ist einer zu viel, aber sie relativieren manche Aussagen.

So zeigt sich auch das Umweltbundesamt in seiner Studie eher zurückhaltend, wenn es von nur wenigen empirischen Studien spricht und nur „tendenziell neutrale bis positive Entwicklungen der Verkehrssicherheit nach Anordnung von Tempo 30“ auf Hauptverkehrsstraßen feststellt. Eine abschließende Bewertung sei „wegen der komplexen Wirkungszusammenhänge daraus nicht ableitbar“ (vgl. Heinrichs, et al., 2016, S.16).

Einer ähnlichen Argumentation folgt auch der ADAC, wenn er darauf hinweist, dass bei Unfällen zwar fast immer Geschwindigkeit eine Rolle spiele, die Unfallhäufigkeit aber auch von anderen Faktoren, wie der Verkehrsmenge, der Vorfahrtsregelung, der Zahl der Fahrstreifen etc., abhängen. Wie erwartet, finden sich (vgl. ADAC, 2015 S.9) Evaluationen

von Untersuchungen über Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen, die keine signifikante Verbesserung der Verkehrssicherheit bestätigen konnten.

Das subjektive Empfinden der einzelnen Verkehrsteilnehmer kann dennoch gegenläufig sein: In der Studie des Umweltbundesamts, in der die Anwohnerzufriedenheit hinsichtlich der Lärmbelastung nach der Tempoabsenkung an Hauptverkehrsstraßen erfragt wurde, stimmten auch 66 % der These zu, dass Tempo 30 den Verkehr sicherer macht.

Aufgrund der anfangs erläuterten Tatsache, dass bei Tempo 30 der Anhalteweg bei einer Gefahrensituation deutlich geringer ist als bei Tempo 50 und dadurch Unfälle vermieden werden oder weniger schwere Folgen haben, was vor allem für Fußgänger, Radfahrer, ältere Menschen und Kinder entscheidend ist, ließ sich ein Konsens in der Politik und der Gesellschaft darüber finden, dass es angebracht sein kann, auch Streckenabschnitte von Hauptverkehrsstraßen auf Tempo 30 zu reduzieren. Deshalb konnte auch die Bundesregierung mit Zustimmung rechnen, als sie die Straßenverkehrsordnung änderte und damit den Kommunen die Anordnung einer Geschwindigkeitsreduzierung an Hauptverkehrsstraßen erleichterte, an denen Schulen, Kindertagesstätten oder Seniorenheime liegen. Die Notwendigkeit des Schutzes von schwächeren Verkehrsteilnehmern lässt sich den Autofahrern durchaus vermitteln.

2.2.2 Verkehrslärm

Lärmbelastung ist ein großes Umweltthema und auch für die Fragestellung dieser Arbeit relevant. Denn seit Jahrzehnten gilt der Straßenverkehr als der wichtigste Auslöser für Lärmbelästigung.

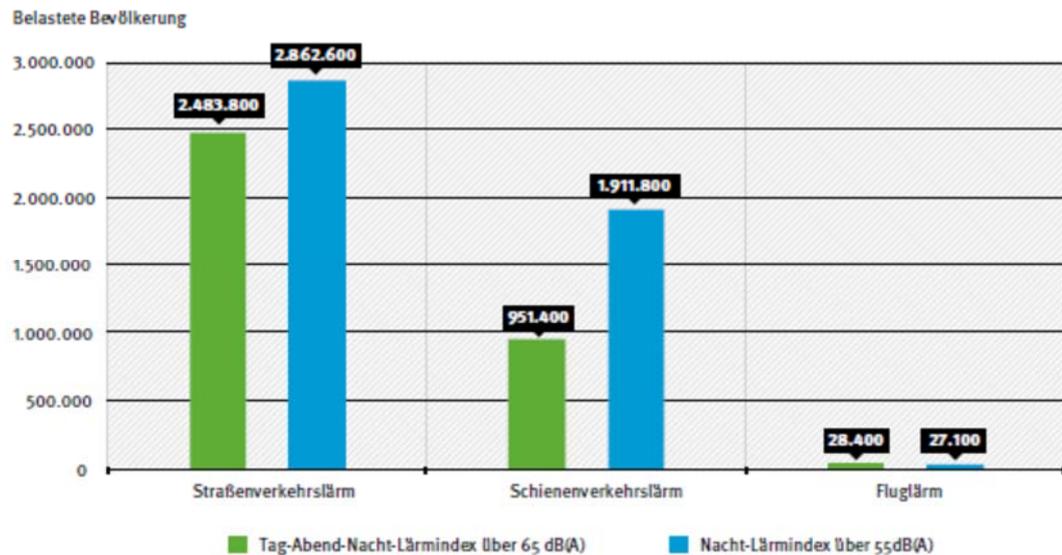
Als Lärm werden nach dem Duden „störend und unangenehm empfundene laute, durchdringende Geräusche“ bezeichnet (vgl. Duden).

Nach Untersuchungen des Umweltbundesamtes fühlen sich 54 % der Bürgerinnen und Bürger vor allem durch Straßenlärm belästigt, 20 % dadurch sogar stark beeinträchtigt (vgl. BMUB, 2017). Die folgende Grafik

2. Aktueller Stand der Politik und der Untersuchungen

bestätigt den Hauptanteil des Straßenverkehrs bei der Lärmbelastung und nennt absolute Zahlen:

Belastung der Bevölkerung durch Verkehrslärm in der Umgebung von Hauptverkehrsstraßen, Haupteisenbahnstrecken, Großflughäfen und in Ballungsräumen (nach Umgebungslärmrichtlinie)*



* Die Angaben beziehen sich auf das Jahr der Datenerhebung 2011.

Abbildung 3: Belastung der Bevölkerung durch Verkehrslärm (Quelle: Umweltbundesamt - Nationale und internationale Umweltberichterstattung, 2017 S.78)

Es kann an dieser Stelle auch angemerkt werden, dass inzwischen die Immissionsgrenzwerte schon um 3 dB(A) gesenkt wurden (von 65 dB(A) für Tag-Abend-Nacht und 55 dB(A) Nacht (siehe Abbildung), und Ermessensspielraum für Lärmschutzmaßnahmen in reinen und allgemeinen Wohngebieten bei Überschreiten von 59 dB(A) (Tag-Abend-Nacht) und 49 dB(A) (Nacht) gegeben ist.

Die mit dem Verkehrslärm einhergehenden wesentlichen Belastungen für die Lebens- und Wohnqualität der Menschen in Städten, aber auch in Dörfern mit starkem Durchgangsverkehr, und die Tatsache, dass das Verkehrsaufkommen in den letzten Jahrzehnten immer weiter anstieg, zwang die Politik zum Handeln. Seit dem 18.07.2002 gibt es mit der EU Umgebungslärmrichtlinie einen gemeinsamen europäischen Ansatz zur Minderung der Lärmbelastung der Bevölkerung. In vergleichbaren Verfahren werden seither Lärmschwerpunkte durch Lärmkartierung

ermittelt, die dann, unter aktiver Beteiligung der Öffentlichkeit, zu Lärmaktionsplänen führen können.

Diese Richtlinie, durch die die Gewichtung des Lärmproblems an Straßen gestiegen ist, ging mit einer Änderung im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) in deutsches Recht über. Die Regelungen finden sich in §§ 47 Abs.6, 47d Abs.6 BImSchG, aber die Verfahrenskoordination ist nicht abschließend geklärt (vgl. Heinrichs, et al., 2015). In der Regel werden Lärmaktionspläne zwischen Kommune, Bürgern und den Straßenbau- und Straßenverkehrsbehörden ausgehandelt.

Wichtig ist festzuhalten, dass es zwar Immissionsgrenzwerte für den Neu- und Ausbau von Straßen gibt, aber für bestehende Verkehrswege keinen Rechtsanspruch auf Lärmschutz. Der Grund wird darin liegen, dass Lärmschutzmaßnahmen, wie Lärmschutzwände oder lärmindernde Fahrbahnbeläge, sehr teuer sind. Und so stimmt es, was Baubürgermeister Tim von Winning bei der eingangs erwähnten Auseinandersetzung über ein Tempolimit auf Hauptverkehrsstraßen in Ulm-Wiblingen feststellte: „Lärmschutz hat das Feld für Tempo-30 eröffnet.“ (vgl. Steinle, 2016)

Tatsächlich ist die Geschwindigkeitsreduzierung eine deutlich kostengünstigere Maßnahme zum Schutz vor Lärmbelästigung, da es ja vordergründig nur ein paar Schilder braucht. Allerdings weisen alle Studien darauf hin, dass Dialogdisplays, Radarkontrollen und Begründungen (Lärmschutz) notwendig sind, um den Befolgungsgrad und die Akzeptanz zu erhöhen. Wegen des geringen Kostenfaktors, sind also Tempolimits der Weg, den Kommunen am ehesten beschreiten, um über Lärmbelastung klagende Bürger zufrieden zu stellen.

Aber wie viel Lärmreduktion ist möglich durch die Absenkung der Geschwindigkeit von Tempo 50 auf Tempo 30?

Der ADAC veröffentlichte folgende Grafik aus einer Studie, die für das niederländische Umweltministerium gemacht wurde, und stellt keine substanzielle Lärmreduktion bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50 fest.

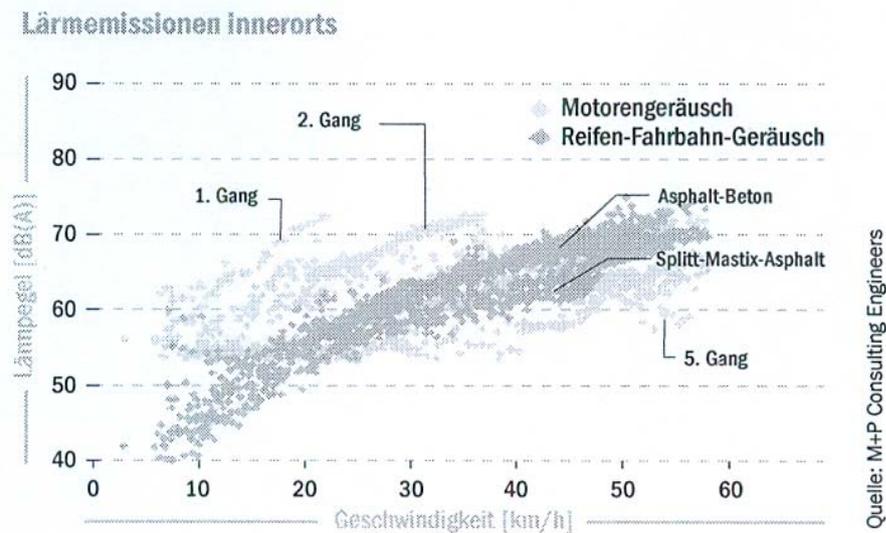


Abbildung 4: Lärmmissionen innerorts (Quelle: ADAC, 2015 S.14)

Im Zusammenhang mit dieser Abbildung kann noch ein wichtiger Punkt eingeschoben werden: Die Lärmbelastung wird im Wesentlichen bestimmt durch die Verkehrsstärke und die Lärmmissionen der Fahrzeuge. Letztere wiederum setzen sich aus dem Fahrverhalten der Fahrzeugführer, den Antriebsgeräuschen (Motor, Getriebe) und den Reifen- und Fahrbahngeräuschen zusammen. Das Reifen-Fahrbahngeräusch wird ab etwa 30 km/h dominant und der Reifeneinfluss beträgt allein 3-4 dB(A). Noch bedeutendere Lärminderungen lassen sich durch spezielle Fahrbahnbeläge erzielen.

Bei dem Berliner Projekt IQ mobility (2007) ergab sich bei Vergleichsmessungen eine Lärmreduktion bis zu 2 dB(A) bei Tempo 30 gegenüber Tempo 50.

Etwas höher sind die Zahlen, die das Umweltbundesamt veröffentlichte: So ergaben Immissionsberechnungen nach RLS-90 für Tempo-30-Anordnungen je nach Rahmenbedingungen Differenzen des Mittelpegels von 2 bis 3 dB(A). Weiteren Messungen zufolge (Mainz mit Radarüberwachung) sank der Mittelungspegel um 3,3 dB(A) und um 3,1 dB(A) in Freiburg i.Br.

Große Uneinigkeit besteht in den Studien und in der Öffentlichkeit darüber, ob diese messbaren Absenkungen des Lärmpegels zwischen 2 und 3 dB(A) für das menschliche Ohr überhaupt wahrnehmbar sind:

2. Aktueller Stand der Politik und der Untersuchungen

ADAC: Lärmreduktionen von 2 dB(A) werden vom menschlichen Gehör nicht wahrgenommen.

Deutsche Bahn: Sie stuft 3 dB(A) als gerade wahrnehmbar ein (vgl. Deutsche Bahn, 2017).

Verkehrsforscher Prof. Dr. Peter Vortisch vom KIT, Karlsruhe: Lärmreduzierung ist kaum wahrnehmbar.

Studie (2004) von Jens Ortscheid und Heidemarie Wende, auf die sich das Umweltbundesamt beruft: Unter günstigen Bedingungen sind Pegelunterschiede von 1 dB(A) wahrnehmbar, 2 dB(A) werden sicher erkannt (vgl. Ortscheid & Wende, 2004).

Wie sich allerdings aus der folgenden Abbildung (siehe Abbildung 5) entnehmen lässt, steigt die Anwohnerzufriedenheit deutlich, wenn ein Tempolimit angeordnet wird. Ob dafür physikalische Gründe verantwortlich sind oder psychische Faktoren, weil z.B. ihr Problem ernst genommen wurde, muss nach dem jetzigen Stand der Forschung offen gelassen werden.

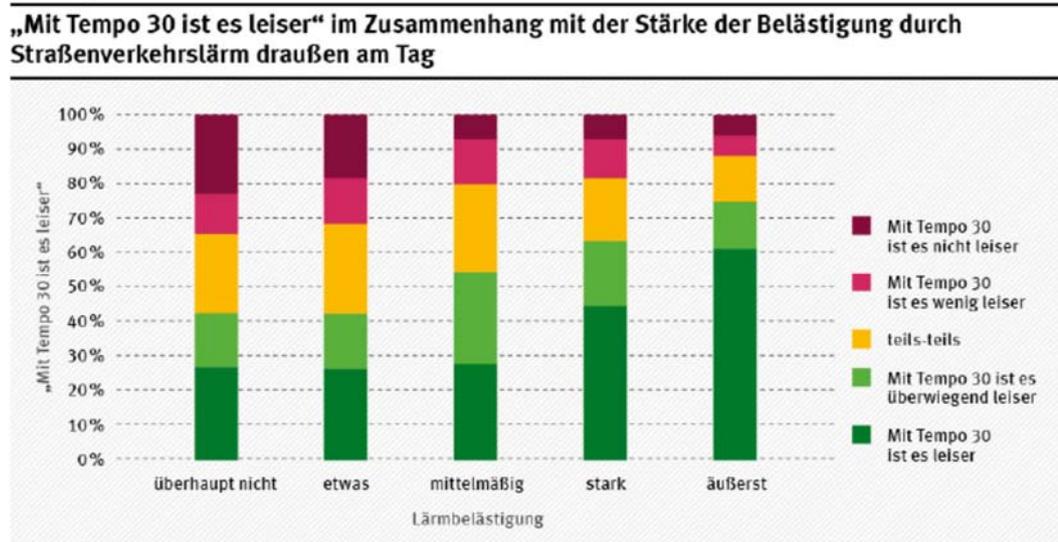


Abbildung 5: "Mit Tempo 30 ist es leiser" (Quelle: Umweltbundesamt)

Da im Hinblick auf die Lärmbelastung sehr oft mit gesundheitlichen Folgeschäden argumentiert wird, soll dieser Punkt hier noch zur Sprache kommen.

Aufschluss über die Auswirkungen von Lärmbelastungen auf die Gesundheit wurden von der bisher umfassendsten, 2015 veröffentlichten,

NORAH-Studie (Noise Related Annoyance, Cognition and Health) erwartet, die als Schwerpunkt der Forschungen das Rhein-Main-Gebiet hatte. Sie wurde von der Gemeinnützigen Umwelthaus GmbH in Auftrag gegeben und 2016 vom Bundesumweltamt ausgewertet (vgl. Bunz & Wothge, 2016). Ein für unsere Fragestellung (nächtliche Tempoabsenkung von 50 km/h auf 30 km/h) interessantes Ergebnis ist, dass sich, bei gleichen Dauerschallpegeln, die Menschen heute in ihrer subjektiv empfundenen Schlafqualität stärker beeinträchtigt und dadurch gestresster fühlen als vor 10 oder 15 Jahren.

Anders als bisher angenommen, konnte in der Studie kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Höhe der Lärmbelastung und einem Anstieg des Blutdrucks (Hypertonie) nachgewiesen werden. Das Umweltbundesamt stellte dieses Ergebnis als nicht eindeutig in Frage und auch Ärzte, wie der Mainzer Medizinprofessor Thomas Münzel, widersprachen, weil vorherige Studien zu anderen Ergebnissen gekommen wären (vgl. Brendler, 2017).

Auf der anderen Seite sehen sich die Tempo-50-Befürworter darin bestätigt, dass die gesundheitlichen Auswirkungen von Verkehrslärm, z.B. durch die WHO, bisher stark übertrieben wurden.

Und wenn das Umweltbundesamt „vor allem die Erkenntnisse zu den möglichen krankheitsrelevanten Wirkungen nächtlicher Maximalpegel und den Einfluss des Verkehrslärms auf die psychische Gesundheit“ hervorhebt und damit die 4,1 % Risikoanstieg einer unipolaren Depression durch Straßenverkehrslärm meint, lassen nicht nur die Formulierungen, sondern auch die Fakten gegenteilige Schlussfolgerungen zu (vgl. Bürgerinitiative pro 50 - gegen Tempo 30, 2018).

Der vom Umweltbundesamt festgestellte weitere Forschungsbedarf wird sicher Gehör finden.

2.2.3 Luftschadstoffe

In den letzten Jahren ist das Thema „Belastung der Umwelt durch verkehrsbedingte Luftschadstoffe“ ein Dauerthema in den Medien. Dazu beigetragen haben die jährlich stattfindenden Klimakonferenzen, die sich mit der Umsetzung des Pariser Klimaschutzabkommens vom Dezember 2015 in Paris beschäftigen, das inzwischen von 170 Ländern der Erde ratifiziert wurde. Die größte Aufmerksamkeit brachte allerdings der Abgasskandal, als am 18.09.2015 eine illegale Abschaltvorrichtung aufgedeckt wurde, ausgerechnet in dem Fahrzeug, das als sauberster Diesel aller Zeiten beworben worden war. Damit hatte die Volkswagen-AG versucht, die US-amerikanischen Abgasnormen zu umgehen.

Nach diesen Vorgängen gab es eine Vielzahl von Untersuchungen, die Manipulationen bei anderen Autoherstellern herausfanden. Auch das vom Umweltbundesamt herausgegebene und von sechs europäischen Ländern finanzierte „Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ (HBEFA), dessen Datenbank europaweit Emissionsfaktoren liefert, aber auch von Ländern und Kommunen zur Erstellung von Luftreinhalteplänen genutzt wird, brauchte ein schnelles Update (HBEFA 3.3). So hatten sich bei realen Fahrten, u.a. mit Hilfe von PEMS (Portable Emissions Measurement System), beim Euro 6 Diesel ein Anstieg um 90 % von NO_x bei 0° Außentemperatur ergeben (vgl. Keller, et al., 2017)

In diesen Zusammenhang passt die am 6.11.2017 vom ICCT (International Council on Clean Transportation) veröffentlichte Zahl, dass der reale Kraftstoffverbrauch von Neuwagen im Schnitt um 42 % höher liegt als im Testbetrieb.

Luftschadstoffe und ihre Auswirkungen

Wenn wir von Luftschadstoffen und ihren Auswirkungen sprechen, geht es einmal um CO₂ (Kohlenstoffdioxid), das keine unmittelbar gesundheitsgefährdenden Auswirkungen hat, aber als Treibhausgas für die Erderwärmung verantwortlich ist mit langfristigen, schädlichen, globalen Folgen für die Umwelt.

Feinstaubemissionen (englisch: particulate matter) werden in drei Fraktionen unterteilt: Partikel bis 10 Mikrometer(μm) PM_{10} , $\text{PM}_{2,5}$ und ultrafeine Partikel $\text{PM}_{0,1}$. Je kleiner die Partikel sind, desto weiter dringen sie in die Atemwege ein und werden beim Ausatmen nicht wieder ausgeschieden. Die ultrafeinen Partikel gelangen über die Lungenbläschen in die Blutbahn und erreichen alle Organe, wie das Herz (Infarktgefahr) und das Gehirn (Schlaganfall, Demenzrisiko). Zum Feinstaub zählt auch Ruß, von dem trotz Rußpartikelfilter noch zu viel ausgestoßen wird, und der manchmal separat gemessen wird. Laut einer Meldung der europäischen Umweltagentur EEA vom 12. Oktober 2017 sterben jährlich 400 000 Menschen vorzeitig wegen Feinstaubbelastungen, 66 000 davon in Deutschland. Stickoxide sind für rund 45 000 vorzeitige Todesfälle verantwortlich.

Während Stickoxide oder Stickstoffoxide, abgekürzt NO_x , in den meisten Studien als Sammelbezeichnung für die gasförmigen Oxide des Stickstoffs (N) verwendet werden, wird in anderen speziell das Stickstoffdioxid (NO_2) untersucht. Als Auspuffgase, vor allem der Dieselfahrzeuge, konzentrieren sie sich in Gebieten mit hohem Verkehrsaufkommen und entwickeln sich laut Umweltbundesamt derzeit zum Schadstoff Nummer eins. Die Umweltbehörde EPA sammelte 2016 umfangreiche Studien, nach denen NO_2 als Reizgas nicht nur den Atemwegen und der Lunge schadet, sondern bei hohen Konzentrationen auch Entzündungen von Gefäßwänden, Herzattacken und Diabetes auslösen kann. In seinem Artikel in der Frankfurter Allgemeine vom 19.08.2017 weist Michael Brendler auch darauf hin, dass NO_2 überdies mit Ammoniak aus der Luft reagiert und Partikel bildet. So entstünde ein Drittel des Feinstaubs aus solchen, sekundär gebildeten, Teilchen (vgl. Brendler, 2017).

Als Schadstoffe gemessen werden manchmal auch flüchtige organische Verbindungen, abgekürzt VOC oder VOCs nach der englischen Bezeichnung volatile organic compounds, eine Sammelbezeichnung für kohlenstoffhaltige Stoffe, die leicht verdampfen. In Studien findet man zum Teil die Abkürzung NMVOC, die das Gas Methan explizit ausklammert. Zwar werden VOCs von allen Lebewesen emittiert, aber bei der von

2. Aktueller Stand der Politik und der Untersuchungen

Menschen verursachten Freisetzung von VOCs dominierte lange Zeit der Straßenverkehr. Das Umweltbundesamt weist auf die Rolle der VOC als Vorläufer sekundärer Luftverunreinigungen hin. Zusammen mit Stickstoffoxiden führen sie zur Bildung von bodennahem Ozon, z.B. Sommersmog. Im Unterschied zu anderen Luftschadstoffen ließen sich die Emissionen im Straßenverkehr, verursacht durch unvollständige Verbrennung und Verdunstung, z.B. durch Katalysatoren, von 38,8 % im Jahr 1990 auf 9 % im Jahr 2015 doch relativ deutlich senken (vgl. Umweltbundesamt - Emission flüchtiger organischer Verbindungen ohne Methan (NMVOC), 2017).

Luftschadstoffe stammen aus unterschiedlichen Quellen, werden aber vom Verkehr mit verursacht. Laut Umweltbundesamt (Zahlen von 2015, veröffentlicht am 10.01.2016) ist der Straßenverkehr in Deutschland für 18 % des CO₂ Ausstoßes und für 20 % des Feinstaubes verantwortlich. Die Stickoxidbelastung muss differenziert gesehen werden: So kommen in Deutschland inzwischen 40 % des gesamten NO_x Ausstoßes aus dem Verkehr, aber in Innenstädten mit hohem Verkehrsaufkommen sind es bis zu 80 %. Davon stammen, laut Deutscher Umwelthilfe, wiederum 80 % aus Dieselmotoren.

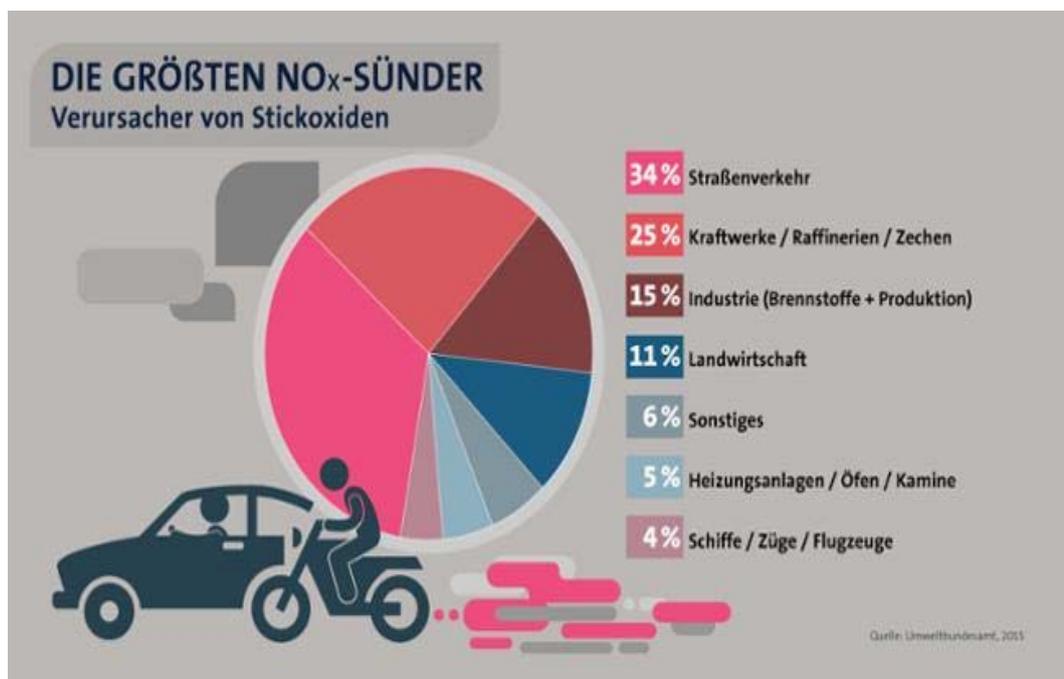


Abbildung 6: Die größten NO_x-Sünder (Quelle: swr)

2. Aktueller Stand der Politik und der Untersuchungen

Hier die Verursacher von Stickoxiden für ganz Deutschland. Schaut man nur auf die Innenstädte, hat der Straßenverkehr allerdings einen wesentlich höheren Anteil.

Beim CO₂ Ausstoß schneidet das Dieselfahrzeug durch den geringeren Kraftstoffverbrauch etwas besser ab als der Benziner.

Was den Feinstaub angeht, so stammen 15 % aus Auspuffen, 85 % der PM₁₀ allerdings entstehen durch Bremsen-Reifen- und Straßenabrieb und durch Aufwirbelung. Unabhängig vom Autotyp, auch das Elektroauto ist betroffen, gelangen durch Abbremsen und Beschleunigen je nach Fahrverhalten, Verkehrsfluss und Wetterlage mehr oder weniger Staubpartikel in die Atmosphäre und werden eingeatmet.

Maßnahmen gegen die Umweltbelastung von Luftschadstoffen

Handlungsbedarf besteht auf allen Ebenen:

- Auf internationaler Ebene muss endlich, wie bei der Klimakonferenz 2018 in Polen vorgesehen, festgelegt werden, wie der CO₂ Ausstoß gemessen und angegeben werden muss, um geschönte Emissionsdaten zu verhindern.
- Auch die Autoindustrie ist gefordert, außer den Software Updates, alternative Antriebssysteme zu entwickeln, auch wenn diese teurer sind, und verstärkt in die Elektromobilität zu investieren. Außerdem könnten Dieselfahrzeuge auch mit den wirksamen SCR-Katalysatoren (selective catalytic reduction) nachgerüstet werden, was eine deutliche Reduzierung der Stickoxide bringen würde.
- Auf EU-Ebene sind die Vorschriften für Emissionen im Straßenverkehr inzwischen einheitlich geregelt (EU-Richtlinie 2008/50/EG). Was notwendig ist, sind verbesserte Abgastests, wie RDE (Real Driving Emissions) oder WLTP (World Harmonised Light Vehicle Test Procedure), seit 01.09.2017 Vorschrift bei neuen Fahrzeugtypen, und funktionierende Kontrollsysteme. Derzeit laufen Vertragsverletzungsverfahren gegen 16 Mitgliedsstaaten, die NO₂-Grenzwerte nicht einhalten. Strafen drohen auch den Autoherstellern, wenn EU-Vorgaben nicht erreicht werden, wie z.B. der maximale CO₂

Ausstoß von 95 g pro km im Schnitt für die Fahrzeugflotte bis 2021 (vgl. Europäische Kommission, 2017).

- Auf Bundesebene können gesetzliche Grundlagen für restriktive Maßnahmen getroffen werden, wie die City Maut, die z.B. in London den Innenstadtverkehr um 20-30 % senkte, oder die Blaue Plakette. Beim Dieseltreffen am 08.08.2017 setzte die Bundesregierung mit dem eine Milliarde schweren Dieselfonds auf Anreize zum Ausbau von nachhaltiger Mobilität.
- Als Beispiel für Maßnahmen, die auf Länderebene geboten sind, dient Baden-Württemberg, dessen Landeshauptstadt Stuttgart, durch die Kessellage benachteiligt, mit dem 6-spurigen Neckartor als der „schmutzigsten“ Straße Deutschlands, herausgefordert ist. 2016 gab es dort an 63 Tagen Überschreitungen der 50 µg/m³ Schwelle bei Feinstaub und einen NO₂ Mittelwert von 82 anstatt der erlaubten 40 µg/m³. Stuttgart, sowie 15 weiteren Städten in 10 Bundesländern, droht ein Fahrverbot für „schmutzige“ Dieselfahrzeuge, wenn der Klage von Jürgen Resch, Geschäftsführer der Deutschen Umwelthilfe, im Februar 2018, wie erwartet, vom obersten Verwaltungsgericht Leipzig stattgegeben wird. Diese drohenden Fahrverbote, die außer den Umweltverbänden nur 14 % der Bevölkerung befürworten, werden Länder und Kommunen zwingen, Maßnahmen anzupacken, über die weitgehend Konsens besteht, die aber teilweise viel Geld kosten, um den Verkehr in den Städten bzw. die Luftschadstoffe zu reduzieren.

Solche Maßnahmen sind:

- o Attraktivität des ÖPNVs steigern (engere Taktung, Ausbau von Strecken)
- o Umstellung des städtischen Fuhrparks auf emissionsarme, bzw.-freie Autos und Busse
- o Ausbau der Ladeinfrastruktur für Elektroautos
- o Ausbau des Radverkehrs (Radwege, Leihräder, Elektroräder, Fahrradparkhäuser)
- o Mobilitätsapps

- o Temporeduzierungen auf bestimmten Straßen, auch Hauptverkehrsstraßen
- o verbesserte Koordinierung von Lichtsignalanlagen
- o Ausweitung von Umweltzonen
- o Stuttgarter Versuche zur Reduzierung von Feinstaub sind Begrünungen (Mooswand am Neckartor) und Reinigung von Straßen durch Wasserdruck und Absaugen.

Temporeduzierung an Hauptverkehrsstraßen – ein Beitrag zur Reduzierung von Luftschadstoffen?

Für die Fragestellung dieser Arbeit ist nun relevant, welchen Beitrag eine, von Umweltverbänden geforderte, Geschwindigkeitsreduzierung an Hauptverkehrsstraßen leisten könnte. Das Umweltbundesamt verweist auf die komplexen Zusammenhänge der Schadstoffbelastung und darauf, dass nur wenige Untersuchungen außer Berechnungen und Messfahrten unter Laborbedingungen vorlägen. Die nachfolgende Tabelle lässt auf eine Verbesserung der untersuchten Werte nach einer Reduzierung von Tempo 50 auf Tempo 30 schließen.

2. Aktueller Stand der Politik und der Untersuchungen

**Differenz der lokalen Verkehrsbeiträge an Berliner Hauptverkehrsstraßen
(Mittelwerte über jeweils 3 Jahre vor und nach der Tempo-30-Anordnung)**

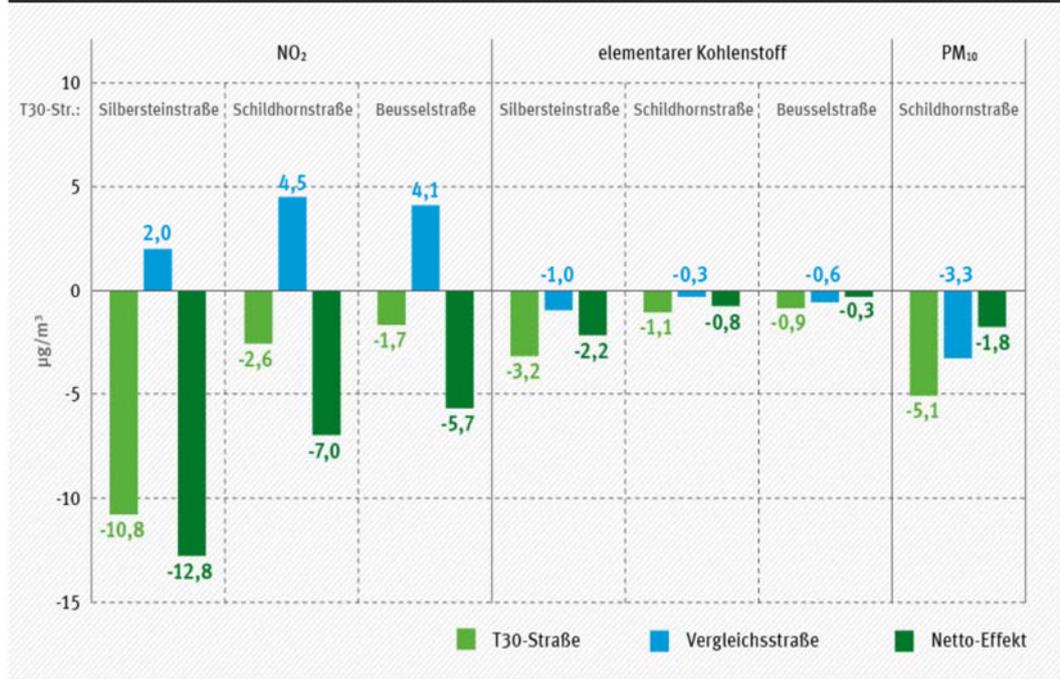


Abbildung 7: Differenz der lokalen Verkehrsbeiträge an Berliner Hauptverkehrsstraßen (Quelle: Rauterberg-Wulff, A., Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin, 2016 (unveröffentlicht))

Als wichtigsten Faktor für eine deutliche Reduzierung der Luftschadstoffe nennt das Umweltbundesamt Maßnahmen, die zur Verstärkung des Verkehrs beitragen. Zu diesem Fazit kommt auch die Studie des ADAC, erkennt dafür aber nicht die Notwendigkeit einer Geschwindigkeitsreduzierung, außer auf Straßen mit häufigen Bremsvorgängen. Optimal für Verbrauch und Emissionen ist der Betrieb der Fahrzeuge bei hohem Gang und niedriger Drehzahl, deshalb sieht der ADAC Handlungsbedarf bei der Koordinierung von Lichtsignalanlagen. Dadurch könnte der Kraftstoffverbrauch um 15 % gesenkt werden, die Emissionen von NO_x um bis zu 33 %, die der Partikel um bis zu 27 %, utopische Zahlen ohne Quellenangabe.

Medienberichte heizen, mit teilweise eindeutigen Überschriften wie „Umweltsünde Tempo 30“, teilweise zweideutigen wie „Dicke Luft durch Tempo 30“, die öffentliche Diskussion an. Im letzteren Beitrag der Frankfurter Neue Presse vom 02.09.2016 ging es um den Streit der schwarz-rot-grünen Koalition über den Nutzen des nächtlichen

Tempolimits auf Frankfurter Hauptverkehrsstraßen (vgl. Bürgerinitiative pro 50 - gegen Tempo 30, 2018) (vgl. Murr, 2016).

Die Uneinigkeit zu diesem Thema unterstreicht ein Artikel der Stuttgarter Zeitung vom 01.08.2016: „Die Tempobremse ist heftig umstritten“. Der Autor Marc Schieferecke behauptet, dass eventuelle Emissionsverbesserungen bei Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen sowohl von der Strecke als auch vom Fahrverhalten jedes einzelnen abhängen und zudem vom Gutachter, der befragt wird (vgl. stuttgarterzeitung.de). So habe der grüne Oberbürgermeister von Stuttgart, Fritz Kuhn, aufgrund von Studien die Geschwindigkeitsbremse Tempo 40 nur für Steigungen von mindestens 5 % angeordnet. Zum Fahrverhalten, auf das auch andere Studien aufmerksam machen, zitiert Schieferecke das Ökoinstitut Energie Schweiz, nach dem ein moderner 1,4 Liter-Motor bei Stadtgeschwindigkeit im dritten Gang fast doppelt so viel Kraftstoff verbrennt wie im sechsten. Rund drei Viertel der Autofahrer wählen bei Tempo 30 sogar den zweiten Gang.

Auf die ausführliche Studie, aus der Laien und Experte unterschiedliche Schlüsse ziehen, je nachdem, welche Position sie vertreten, muss nun hingewiesen werden:

Im Auftrag verschiedener Regierungspräsidien und mit dem Ziel, verallgemeinernde Aussagen zur Wirkung von Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen für verschiedene Straßensituationen abzuleiten, wurden von der AVISO GmbH für 13 Städte in Baden-Württemberg 1000 Messfahrten mit 225.000 sekundlichen Messpunkten durchgeführt. Die Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) veröffentlichte die Studie im August 2012 unter dem Titel „Ersteinschätzung der Wirkung von Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen auf die NO_x-und PM₁₀-Emissionen“. Ergänzend zu den Messfahrten von AVISO wurden Ergebnisse eines LUBW-Projekts zur Messung realer Emissionen herangezogen, die vom TÜV Nord durchgeführt worden waren. Anhand der Ergebnisse wurde versucht, ein Ersteinschätzungsschema zu entwickeln, das vor dem Durchführen von Messfahrten eine Einschätzung der Wirkung von Tempo 30 auf die

Emissionen ermöglicht. Tatsächlich stimmten die Ergebnisse dieses Schemas in 15 von 17 Fällen mit den Ergebnissen aus den Fahrprofilauswertungen für die einzelnen Kommunen überein. Ein eindeutigeres Ergebnis hätte man sich für die Emissionswerte erhofft. So kommt die Studie zu dem Schluss, dass Tempo 30 in Abhängigkeit von der Längsneigung der Strecke (sie muss vergleichsweise hoch sein), dem Konstantfahrtanteil bei Tempo 50 (er muss vergleichsweise niedrig sein) und dem Schwerverkehrsanteil (er muss hoch sein) positive Effekte auf die verkehrsbedingten NO_x-Emissionen haben kann. Hinsichtlich der abgasbedingten PM₁₀-Emissionen und des Kraftstoffverbrauchs führt Tempo 30 dagegen in vielen Situationen zu Zunahmen. Was die Feinstaubemissionen betrifft, so kommt auch hier der Hinweis, dass sie nur zum Teil abgasbedingt sind, und deshalb, laut einer Studie im Auftrag der BAST/BAST 2009/, durch eine Geschwindigkeitsbeschränkung je nach Beeinflussung durch Lichtsignalanlagen um 10 % reduziert werden (vgl. LUBW, 2012). Auf einem Seminar der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie in Jena am 14.05.2013 zum Thema „Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen – Wirkung auf die Luftstoffemissionen des Straßenverkehrs“ fasste Dr.-Ing. Christiane Schneider von der AVISO GmbH die gegenläufigen Effekte bei der Einführung von Tempo 30 so zusammen:

Effekt 1: Wenn man die Emissionsfaktoren für Konstantfahrt, Beschleunigung und Verzögerung separat betrachtet, so ergeben sich für Tempo 30 überwiegend höhere Emissionen als für Tempo 50. Als Ursache nennt sie die höhere Drehzahl bei Tempo 30, weil oft im niedrigeren Gang gefahren wird, und die längere Zeit, die für die gleiche Strecke benötigt wird.

Effekt 2: Für Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50 ergeben sich, bei gleicher Art und Anzahl von Störungen, auf einer realen Strecke, verkürzte Beschleunigungsphasen und erhöhte Konstantfahrtphasen. Dies reduziert die Gesamtemissionen. Die Ursache dafür sind die deutlich höheren Emissionen in den Beschleunigungs- und Verzögerungsphasen im Vergleich zu den Konstantfahrtphasen.

Dr. Schneider folgert daraus, dass es je nach Dominanz von Effekt 1 oder Effekt 2, abhängig von den lokalen Randbedingungen, zu einer Erhöhung oder einer Minderung der Gesamtemissionen für eine reale Strecke komme (vgl. Schneider, 2013).

Diese Erfahrung machte auch die Stadt Tübingen. Sie hatte aufgrund der oben beschriebenen Studie des LUBW für einige Straßen mit starker Luftschadstoffbelastung, z.B. auf dem Innenstadtring, eine Reduzierung von Tempo 50 auf Tempo 30 angeordnet. Der daraufhin einsetzende Bürgerprotest veranlasste die Stadtverwaltung weitere Untersuchungen durchzuführen mit dem Ergebnis, dass auf einigen Straßen Minderungen des Schadstoffausstoßes von 3,5-3,7 % bei NO_x und 1,2-1,7 % bei PM₁₀ zu erzielen waren, wenn anstatt Tempo 30 auf Tempo 40 erhöht wurde. Diese Maßnahme wurde im Zuge des Luftreinhalteplans 2014 beschlossen mit dem Hinweis, dass vorliegende Verkehrssituationen jeweils im Detail überprüft werden müssten (vgl. Regierungspräsidium Tübingen - Teilplan Stadt Tübingen 2. Fortschreibung, 2014).

Abschließend kann festgehalten werden, dass nur durch umfassende Maßnahmenpakete eine Verringerung der Abgasemissionen erreicht werden kann. So wird sich die Verkehrsmenge nur reduzieren, wenn die oben erwähnten Alternativen (ÖPNV, Radverkehr, etc.) attraktiver werden oder restriktive Maßnahmen (Fahrverbote, City Maut, etc.) ergriffen werden. Damit der angestrebte Erfolg eintritt, das gesundheitliche Risiko für die Bevölkerung zu senken, müssen große Anstrengungen auf allen Ebenen stattfinden. Denn gleichzeitig gilt es, die Mobilitätsbedürfnisse der Menschen und der Wirtschaft zu befriedigen.

Geschwindigkeitsreduzierungen auf Hauptverkehrsstraßen werden nach den vorliegenden Studien nur unter bestimmten Bedingungen, wie bei Steigungen, häufigem Stop-and-Go oder zur Verstetigung des Verkehrs, einen kleinen Beitrag zur Verbesserung der Luftqualität leisten können. Vom Widerstand der Autofahrer einmal abgesehen, eignet sich eine Reduzierung der Geschwindigkeit auf Tempo 30 wohl nur auf ausgewählten Straßenabschnitten. Dafür müssen die verkehrsbedingten Charakteristika im Einzelfall und im Detail geprüft werden, damit

sichergestellt wird, dass eine Temporeduzierung angemessen und verhältnismäßig ist.

2.2.4 Fahrzeiten, Fahrgeschwindigkeiten, Reisezeitverlust und Verkehrsfluss

Die Frage nach den Fahrzeiten, dem Verkehrsfluss und den eventuellen Reisezeitverlusten spielt sowohl in der Debatte um Tempo 30 eine entscheidende Rolle, als auch bei den in dieser Thesis angefertigten Simulationen. Eine Geschwindigkeitsreduzierung scheint zunächst einmal den Sinn der Hauptverkehrsstraßen, den Verkehr gebündelt und zügig abzuwickeln, und den Wunsch der Kfz-Nutzer, seien sie privat oder beruflich unterwegs, möglichst schnell ihren Zielort zu erreichen, zu konterkarieren. Aber so eindeutig ist weder die Sachlage noch die Stimmungslage in der Bevölkerung. Wenn, wie der Tagesspiegel am 14.04.2017 berichtet, Dr. Maria Krautzberger, Präsidentin des Umweltbundesamtes, fordert: „Tempo 30 sollte auf allen Straßen der Stadt gelten. Tempo 30 bringt bessere Luft, flüssigeren Verkehr und weniger Unfälle – und man ist in der Regel genauso schnell unterwegs“, so findet sie, wie oben ausgeführt, die Zustimmung aller Personen und Verbände, die eine Tempo 30 Regelgeschwindigkeit auf Hauptverkehrsstraßen befürworten (vgl. Tagesspiegel, 2017). Denn sie sind von den Vorteilen von Tempo 30 für die Lebensqualität überzeugt und sind deshalb auch bereit, eventuell längere Reisezeiten in Kauf zu nehmen. So wurden von Kommunen quer durch die Bundesrepublik aufgrund von Klagen Betroffener und Petitionen zur Lärm- und Luftschadstoffminderung oder an Gefahrenstellen kürzere oder längere Tempo-30-Abschnitte eingerichtet. In den begleitenden Untersuchungen wurden teilweise auch Hinweise auf Reisezeitverluste gegeben. So schreibt LK Argus im Blick auf die Wirkungen der nächtlichen Tempo 30 Maßnahme an Frankfurter Hauptverkehrsstraßen, es gäbe kaum Verluste bei den Reisezeiten (vgl. LK Argus, 2018).

Modellversuche, wie sie der Deutsche Städtetag fordert, der Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit kritisch sieht, laufen zur Zeit u.a. in Niedersachsen, wo an innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen Tempo 30 über drei Jahre getestet werden soll und unabhängige Gutachter die Auswirkungen auf Lärm, Sicherheit, Luftqualität und Verkehrsfluss beobachten werden. Der FDP Landtagsabgeordnete Jörg Bode ist sich allerdings jetzt schon sicher: „Tempo 50 und die grüne Welle sind das beste Mittel gegen hohe Abgas- und Lärmbelastungen. Fließender Verkehr statt Stop-and-Go muss die Devise lauten“ (vgl. Wieschemeyer, 2017). Bei vielen Tempo 30 Anordnungen meldet sich Widerstand, der sich in Petitionen und Kampagnen Luft macht. Die Pro-Tempo-50 Bewegung verweist auf ihrer Webseite auf einige dieser Proteste, z.B. im Bodenseekreis, wo es nach Tempo 30 Maßnahmen an etlichen Ortsdurchfahrten zu häufigen Staubildungen kommt. Für die Tempo 30 Gegner ist klar, dass die Leistungsfähigkeit der Straße bei Tempo 30 sinkt, sich schnell Kolonnen bilden, das Staurisiko steigt und unnötige Reisezeitverluste entstehen, die sich bei Pendlern schnell summieren. Wie wichtig stetiger Verkehr auch für die Wirtschaft ist, zeigt eine Meldung des schweizerischen Tagesanzeiger vom 12.10.2017, in der Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen mitverantwortlich gemacht wird für die Menge der Staustunden mit wirtschaftlichen Folgekosten von 1,6 Mrd Franken für 2017 (vgl. Häne, 2017). In den oben erwähnten Ulmer Stadtteilen, in denen Tempo 30 auf Durchgangsstraßen eingeführt und eine Menge Petitionen für und gegen diese Maßnahme eingereicht worden waren, musste der Petitionsausschuss des baden-württembergischen Landtags schließlich wieder für einige Orte die Aufhebung dieser Tempo 30 Beschränkung durchsetzen. Frank König schreibt über die Begründung am 16.07.2016 in der Südwestpresse, dass die Geschwindigkeitsbeschränkungen im Widerspruch zur Funktion innerörtlicher Durchgangsstraßen gestanden hätten, es zu Fahrzeitverlusten und vor allem in den Hauptverkehrszeiten zu stockendem Verkehr bis hin zu Staus gekommen wäre. Tempo 50 sei besser für Pendler, Nahverkehr und Wirtschaft (vgl. Steinle, 2016). Dieses Beispiel aus der Praxis verdeutlicht noch einmal die Problematik und die

Notwendigkeit, die Leistungsfähigkeit der Straßen bei höherem Verkehrsaufkommen zu untersuchen, bevor eine Geschwindigkeitsbeschränkung auferlegt wird.

Die folgenden Studien und Stellungnahmen untersuchen einige der Faktoren, ohne allerdings immer zum gleichen Ergebnis zu kommen.

Dr. Hartmut Topp definiert in seinem Artikel „Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen mit Wohnnutzung“ die Reisezeiten des Kfz-Verkehrs. Sie „setzen sich zusammen aus Fahrzeiten und Verlustzeiten durch Störungen auf der Strecke (Ein-und Ausparken, ÖPNV-Halte, querende Fußgänger und Radfahrer) und an Knotenpunkten (Wartepflicht, Ampelrot).“ Wie auch andere Autoren fordert er, dass Lichtsignalanlagen auf die jeweilige zulässige Höchstgeschwindigkeit auszurichten seien, was wohl nicht immer der Fall ist. Topp geht bei Tempo 30 von einem Reisezeitverlust von 3 s pro 100 m aus, ohne diese Annahme näher zu begründen. Da bei einem realen Fahrverlauf mit Störungen die Differenz kleiner sei, seien Befürchtungen, bei Tempo 30 viel Zeit zu verlieren, oft überzogen (vgl. Topp, 2014).

Bei einer Versuchsreihe des ADAC wurde auf einer 3,5 km langen Teststrecke mit eingebauten verkehrsbedingten Störungen die Fahrzeiten bei Tempo 30 und 50 gemessen. Die Ergebnisse der Befahrungen wurden in einem Zeit-Geschwindigkeits-Diagramm dargestellt (siehe Abbildung 8). Aus diesem Diagramm lässt sich entnehmen, dass die Fahrt mit Tempo 50 etwas mehr als 8 min gedauert hat, und die Fahrt mit Tempo 30 über 10 min. Somit war bei diesem Versuch die Fahrt mit 30 km/h ungefähr 2 min länger. Da in der Broschüre mit einer 25 % längeren Reisezeit bei Tempo 30 argumentiert wird und für Strecken ohne Halte oder Störungen sogar mit 67 % Mehraufwand, ist es sinnvoll, die zwei Minuten längere Reisezeit auf die Messgröße s/100m umzurechnen. Dann ergeben sich 13,7s/100m bei Tempo 50 und 17,1s/100m bei Tempo 30, also ein Reisezeitverlust von 3,4s/100m bei einer Geschwindigkeitsreduzierung um 20km/h. Somit sind wir in einem Bereich, der auch von anderen Studien bestätigt wird.

Fahrzeiten bei Tempo 30 und Tempo 50

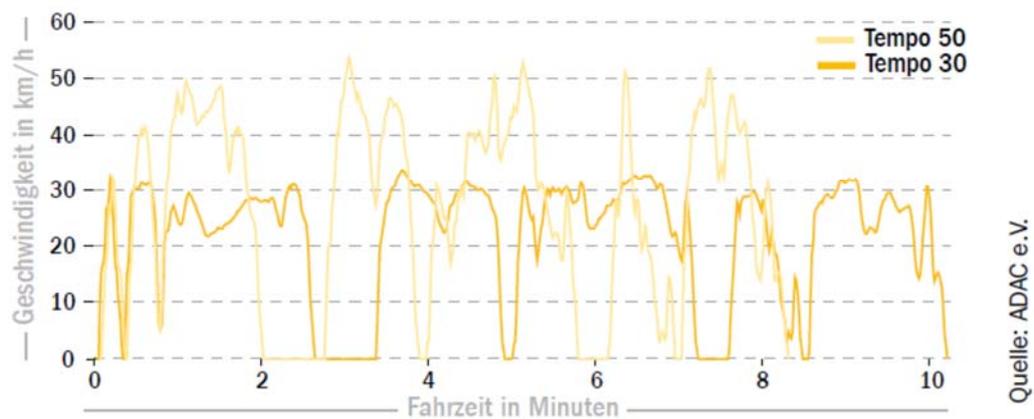


Abbildung 8: Fahrzeiten bei Tempo 30 und Tempo 50 (Quelle: ADAC)

Weiter weist der ADAC darauf hin, dass die Leistungsfähigkeit einer innerstädtischen Strecke von der guten Koordinierung der Lichtsignalanlagen, bzw. der Durchlassfähigkeit der Kreuzungen abhängt, was in den meisten Studien Konsens ist. Umstritten hingegen ist die Behauptung, dass es bei längeren Reisezeiten auf Hauptverkehrsstraßen z.B. durch regelmäßige Staus zu unerwünschten Verlagerungseffekten ins nachgeordnete Straßennetz käme und speziell Wohngebiete betroffen wären.

In anderen Stellungnahmen des ADAC ist von massiven Reisezeitverlusten die Rede, vor allem zu verkehrsarmen Zeiten, wie nachts und am Wochenende, was zu massiven Akzeptanzproblemen der Autofahrenden führe.

Das Umweltbundesamt ließ zu den Auswirkungen von Geschwindigkeitsreduzierungen die schon erwähnten TUNE URL Texte 33/2015 (vgl. Umweltbundesamt, 2015) anfertigen. Da Berlin Vorreiter auf dem Gebiet der Geschwindigkeitsreduzierungen an Hauptverkehrsstraßen ist, wurden dort an zwei typischen Tempo-30-Abschnitten und daran angrenzenden Abschnitten mit 50 km/h zulässiger Höchstgeschwindigkeit mehrere Hundert GPS-basierte Messfahrten durchgeführt. Dabei wurden die Fahrgeschwindigkeit, die Homogenität des Verkehrsflusses, die Halte, und die Reisegeschwindigkeit mit den Reisezeitverlusten untersucht. Obwohl man auf Vergleichbarkeit geachtet hatte, zeichneten sich

unterschiedliche Ergebnisse ab, die teilweise durch Störungen im Verkehrsfluss an den Lichtsignalanlagen bedingt waren. Gut vergleichbare Abschnitte für Tempo 30 und Tempo 50 ergaben sich an der Sonnenallee Richtung Nordwesten, die im Weg-Geschwindigkeit-Diagramm (Abbildung 9) dargestellt sind und die nun kurz beschrieben werden:

Bei der Betrachtung der mittleren Fahrgeschwindigkeiten wurde festgestellt, dass Tempo 30 zwar eine Reduzierung der Geschwindigkeiten bewirkt, ihre Differenz in den verglichenen Abschnitten jedoch deutlich niedriger ist als angenommen. Tagsüber kam es bei Tempo 30 zu einer mittleren Fahrgeschwindigkeit von 33 km/h und bei Tempo 50 zu 39 bis 40 km/h. Die Geschwindigkeitsdifferenzen betragen also lediglich 6 bis 7 km/h. Im Vergleich dazu treten nachts Werte von 39 bis 43 km/h für Tempo 30 und 50 bis 53 km/h auf. Es lässt sich hier also eine Differenz von 10 bis 11 km/h feststellen. Die Ursachen für die geringe Senkung der gemessenen Geschwindigkeiten sind zum einen, dass die zulässige Höchstgeschwindigkeit bei 50 km/h nicht immer ausgeschöpft werden konnte. Zum anderen treten Geschwindigkeitsübertretungen bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h deutlich häufiger auf als bei 50 km/h.

Die Streuung der Geschwindigkeiten fiel in Tempo-30-Abschnitten geringer aus, was auch ein Hinweis auf eine größere Homogenität des Verkehrsflusses ist, die in dieser Studie bei einer Temporeduzierung festgestellt wurde.

2. Aktueller Stand der Politik und der Untersuchungen

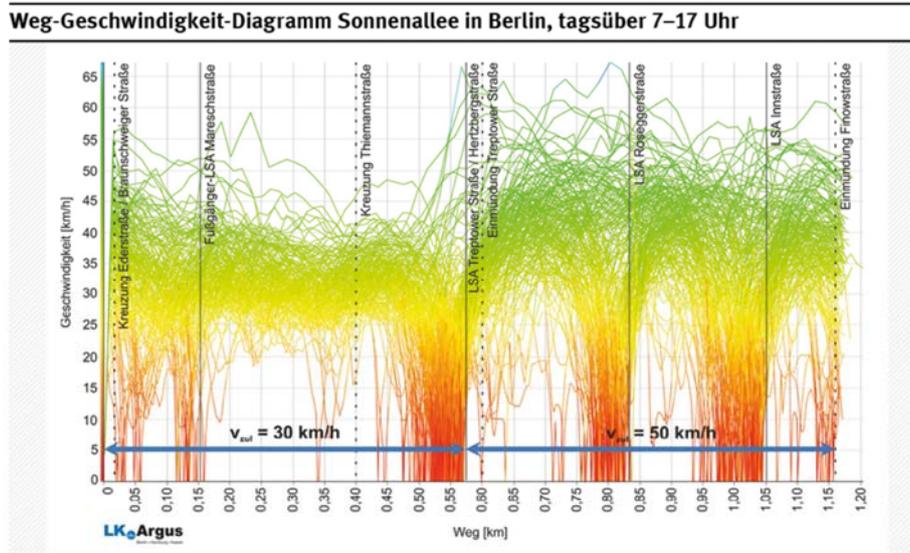


Abbildung 9: Weg-Geschwindigkeit-Diagramm Sonnenallee in Berlin, tagsüber 7-17 Uhr (Quelle: TUNE URL)

Die bei den Messungen aufgezeichneten mittleren Reisegeschwindigkeiten lagen bei Tempo 30 tagsüber ungefähr 7 km/h und nachts bis zu 6 km/h niedriger als bei Tempo 50. Hierbei beinhaltete die mittlere Reisegeschwindigkeit den gesamten Streckenabschnitt inklusive Stauungen und Halte.

Die Reisezeitverluste, die sich bei den Messungen ergaben, beliefen sich bei Tempo 30 auf 2 s/100 m sowohl tagsüber als auch nachts. Auf anderen verglichenen Streckenabschnitten hatten sich keine Unterschiede in der mittleren Reisezeit ergeben.

Als Ergebnis der Untersuchungen wurde festgehalten, dass nicht die Geschwindigkeitsreduzierung, sondern andere Faktoren einen erheblicheren Einfluss auf reale Reisezeitverluste hätten. Angeführt wurde, dass die Ampelregelung auch in den Tempo-30-Bereichen auf 50 km/h ausgelegt war und der Verkehr teilweise durch Halten in der zweiten Reihe behindert worden war.

Auch in seiner Broschüre stellt das Umweltbundesamt die Frage nach der Qualität des Verkehrsflusses und der Reisezeiten und lässt die Ergebnisse der ausführlicheren Studie einfließen. Als rein rechnerische Daten werden hier 4,8 s/100 m Reisezeitverluste bei Konstantfahrten

2. Aktueller Stand der Politik und der Untersuchungen

angenommen, während in der Praxis bis zu 4 s pro 100 m vorkämen. Weitere Argumente für eine Tempo 30 Regelung wären eine bessere Fahrzeugpulkbildung und deshalb eine effektivere Nutzung einer Grünen Welle. Für die subjektive Wahrnehmung der Autofahrer seien gleichmäßige, langsamere Verkehrsströme besser als zu große Geschwindigkeitsdifferenzen.

Wie auch Professor Topp bringt die Broschüre eventuelle Auswirkungen von Tempo-30-Abschnitten auf den straßenbezogenen ÖPNV zur Sprache. Dort könnten sich, je nach Menge und Länge der Abschnitte, Reisezeiten addieren. Wenn dadurch womöglich noch die Anschlussicherheit in Gefahr wäre, würde die Attraktivität des ÖPNV sinken, was in niemandes Interesse sein kann.

Leistungsfähigkeit im Verkehr

Um eine gewisse Anzahl von Verkehrsvorgängen in einer bestimmten Qualität abwickeln zu können, spielt auch das Prinzip der Sättigungsverkehrsstärke eine Rolle, wie sie von LK Argus, einem bundesweit tätigen Stadt- und Verkehrsplanungsbüro, in der folgenden Abbildung dargestellt wird.

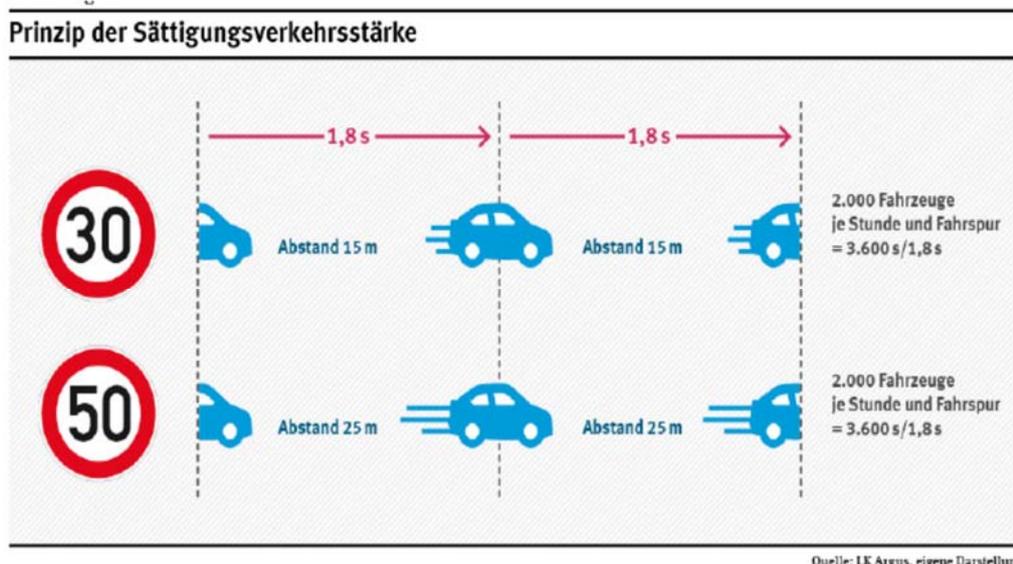


Abbildung 10: Prinzip der Sättigungsverkehrsstärke (Quelle: Tune URL)

Es wird hierbei angenommen, dass durch die geringeren Geschwindigkeiten sich die Sicherheitsabstände zwischen den Fahrzeugen verringern. Dadurch soll es möglich sein, die

Sättigungsverkehrsstärke der Straße beizubehalten und die gleiche Anzahl von Fahrzeugen pro Stunde zu bewältigen. Das Prinzip bzw. die Idee dieser Abbildung wird später in dieser Thesis bei den Berechnungsgrundlagen in Kapitel 3 und bei den Untersuchungen zu den Belastbarkeiten in Kapitel 4 wieder aufgegriffen.

Wie auch bei den Untersuchungen zu Lärm- und Schadstoffbelastungen durch den Straßenverkehr scheint die Verstetigung des Verkehrsflusses die Lösung zur Reduzierung der Reisezeitverluste zu sein. Ob dieser eher durch Beibehaltung von Tempo 50 auf Hauptverkehrsstraßen oder durch eine abschnittsweise Reduzierung der Geschwindigkeit auf Tempo 30 zu erreichen ist, wird im Einzelfall unter Berücksichtigung der verschiedenen Faktoren zu prüfen sein, auf die in der Thesis nun näher eingegangen wird. Als Regelgeschwindigkeit ist Tempo 30 vom derzeitigen Bundesverkehrsministerium nicht zu erwarten, denn von dort kam die Aussage, dass dadurch der Verkehrsfluss auf den Hauptverkehrsstraßen unverhältnismäßig gebremst würde.

Ein zukunftsweisender Weg, der die Reisezeitverluste aufgrund von schwankendem Verkehrsaufkommen minimieren könnte, wird in dem 2017 veröffentlichten Arbeitspapier „Intelligente Mobilität der Zukunft: Digitalisierung in der Schlüsselrolle“ vom Verkehrsministerium Baden-Württemberg vorgestellt. Danach sollten verstärkt Echtzeitdaten zum Verkehrsgeschehen auf den Straßen erhoben werden, auf die Einrichtungen zur Verkehrssteuerung schnell reagieren könnten. So ließe sich besonders bei wechselndem Verkehrsaufkommen der Verkehrsfluss optimieren (vgl. Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2018).

3. Berechnungsgrundlagen und Methodik

In diesem Kapitel werden die bei der Arbeit angewandten Berechnungsgrundlagen, die Art der Messungen und die Tools, die bei der Erstellung der Simulationen verwendet wurden, aufgezeigt. Des Weiteren werden hier die Annahmen für die Berechnung erläutert und festgelegt.

3.1 Ablauf der Berechnung und Annahmen

Bevor mit der Simulation begonnen werden konnte, mussten Annahmen zu den zu untersuchenden Knotenpunkten festgelegt werden und Berechnungen der Lichtsignalanlagen angefertigt werden, da diese nicht von VISSIM selbst erstellt werden können.

Zuerst galt es, die Art der Knotenpunkte, die für die Simulationen verwendet werden sollten, festzulegen. Dabei mussten die Anzahl und die Zuordnung der Fahrstreifen für die Verkehrsströme bestimmt werden.

Als nächstes war die Höhe der Verkehrsstärke des Kraftfahrzeugverkehrs zu wählen. Dabei wurden für die Knotenpunkte jeweils drei Verkehrsstärken angenommen: eine geringe Belastung, eine mittlere Belastung und eine hohe Belastung. Für die kleine Kreuzung wurden die Belastungen hierbei von der mittleren Belastung einmal um 50 % reduziert für die geringe Belastung und auf 200-prozentigen erhöht für die hohe Belastung. Auf ähnliche Weise wurde bei der großen Kreuzung die Belastung einmal auf 50 % der mittleren Belastung gesetzt und einmal auf 150 %, da der Knotenpunkt mit einer 200 prozentigen Belastung nicht mehr in der Lage war, die Verkehrsströme abzufertigen. Bei dem dritten Knotenpunkt wurden nur die Belastungen der übergeordneten Verkehrsströme erhöht, um zu sehen, wie sich die Nebenströme daraufhin verhalten. Die Belastungen dort wurden um 33 % des Mittelwerts verringert und um 33 % erhöht. Da die Simulationen an fiktiven Knotenpunkten stattfinden, mussten dort Annahmen der Verkehrsstärken und des SV-Anteils getroffen werden. Wenn nicht anders erwähnt, wurden für den SV-Anteil 3 % veranschlagt. Bei der Erstellung der Untersuchungsknotenpunkte wurde bei der Wahl der Phasenbilder und Phasenanzahl auf die im HBS 2001 (vgl. HBS 2001, 2001) veranschaulichten Phasenbilder zurückgegriffen (siehe Abbildung 11).

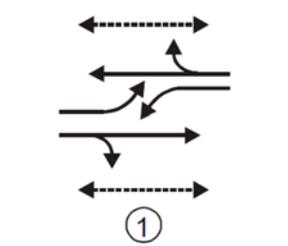
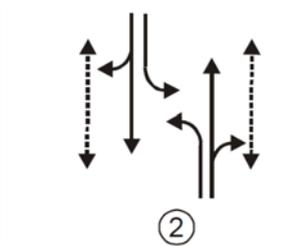
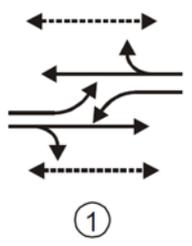
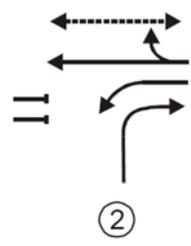
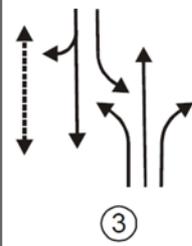
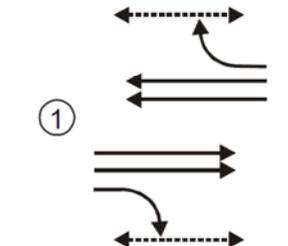
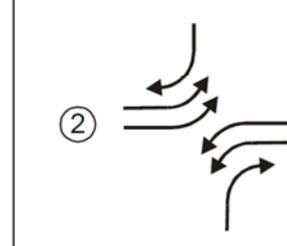
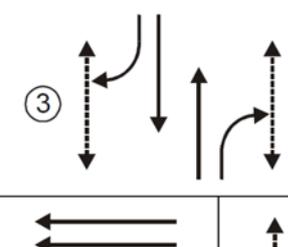
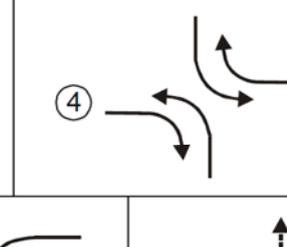
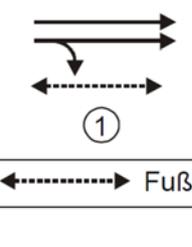
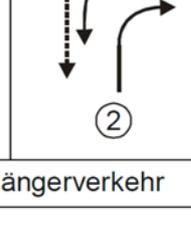
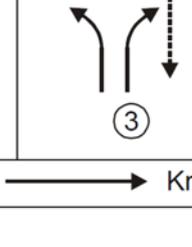
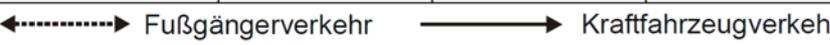
	Phasenbilder		Erläuterung	
a			Zweiphasensystem Maximale Anzahl von Verkehrsströmen wird abgefertigt, Linksabbieger durchsetzen sich mit dem Gegengeradeausverkehr, vorwiegend bei kleinen Knotenpunkten und geringem Linksabbiegeverkehr anwendbar	
b				Zugabezeit für Linksabbieger am Ende der Phase aus Richtung Osten, Anzeige der freien Fahrmöglichkeit durch Diagonalgrün
c			Vierphasensystem Linksabbieger werden gesondert signalisiert, konfliktfreies Fahren durch Richtungspfeile angezeigt, Anwendung bei großen Kreuzungen	
				
d				Dreiphasensystem an einer Einmündung Bei schwachem Linksabbiegeverkehr aus der durchgehenden Richtung, auch nur mit Durchsetzen oder mit Zugabezeit für Linksabbieger möglich
				

Abbildung 11: Phasenbilder (Quelle: HBS 2001)

Da Lichtsignalanlagen mit Tempo 30 (noch) nicht in die Regelwerke (HBS, RiLSA) aufgenommen wurden, mussten für einige Werte Annahmen getroffen werden.

Eines der sich ergebenden Probleme, für das Annahmen getroffen werden mussten, sind Zwischenzeiten. Die Zwischenzeiten setzen sich zusammen aus:

$$t_z = t_{\ddot{u}} + t_r - t_e \text{ [s]}$$

Zur Ermittlung der Zwischenzeiten (t_z) wurden für die Überfahrzeit ($t_{\ddot{u}}$) bei allen Geschwindigkeiten die Werte für 50 km/h angesetzt. Die Räumgeschwindigkeiten (t_r) mussten geringfügig angepasst werden. Für den Fall „geradeausfahrendes Fahrzeug räumt“ wurde für Tempo 30 anstatt 10 m/s Räumgeschwindigkeit 8,3 m/s angenommen, da 10 m/s Räumgeschwindigkeit die zugelassene Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h überschreiten würde. Daher wurde 8,3 m/s gewählt, weil dies exakt 30 km/h entspricht.

Bei der Berechnung von 50 km/h und 40 km/h wurde von einer Einfahrtgeschwindigkeit (t_e) von 40 km/h für den fliegenden Start ausgegangen. Für 30 km/h wurde aus Ermangelung anderer Werte aus Richtlinien auf 30 km/h für den fliegenden Start ausgegangen.

Die Sättigungsverkehrsstärke unter Standardbedingungen ($q_{s,st}$) wurde in Anlehnung an Abbildung 10 in Kapitel 2.2.4 als gleich groß für die unterschiedlichen Höchstgeschwindigkeiten angenommen.

Daher wurden für die Sättigungsverkehrsstärke unter Standardbedingungen ($q_{s,st}$) die im HBS aufgeführten 2000 Pkw/h für Freigabezeiten größer als 10 s verwendet.

$$q_{s,st} = \frac{3600}{t_B}$$

Betrachtet man die Formel zur Sättigungsverkehrsstärke, so nimmt die gefahrene Geschwindigkeit keinen Einfluss. Die Sättigungsverkehrsstärke wurde mithilfe von Angleichungsfaktoren (f_1 , f_2) an die Verkehrsverhältnisse angepasst.

$$q_s = f_1 * f_2 * q_{s,st}$$

Um einen Orientierungswert zur Wahl der Umlaufzeit zu bekommen, wurde die wartezeitoptimierte Umlaufzeit für den Kraftfahrzeugverkehr (t_u) ermittelt. Anhand dieser Formel konnte dann eine Umlaufzeit ($T_{U,gew}$) gewählt werden.

Da es durch die Verwendung unterschiedlich langer Umlaufzeiten beim Vergleich der Simulationsergebnisse zu Beeinträchtigungen der

Leistungsfähigkeiten und zu Wartezeiten kommen würde, wurden die Umlaufzeiten für Tempo 50 (40) und Tempo 30 als gleich groß festgelegt. Bei einer Verkürzung der Umlaufzeit kommt es in der Regel zu kürzeren Wartezeiten, und bei einer Verlängerung der Umlaufzeit erhöht sich die Leistungsfähigkeit des Knotenpunktes.

$$t_U = \frac{1,5 * T_Z + 5}{1 - \sum_{i=1}^p \frac{q_{maßg,i}}{q_{Si}}}$$

Mithilfe der folgenden Formel ließ sich die erforderliche Freigabezeit ($t_{Fi,erf}$) durch Multiplikation der mittleren Eintreffzahl pro Phase (m_i) mit dem Zeitbedarfswert (t_B) für die jeweilige Phase i berechnen.

$$t_{Fi,erf} = m_i * \frac{3600}{q_s} = m_i * t_B$$

Für das Erlangen der vorhandenen Freigabezeit wird die verfügbare Freigabezeit (t_{Fv}) mit dem Verhältnis der erforderlichen Freigabezeit ($erf t_{Fi}$) und der Summe der erforderlichen Freigabezeiten multipliziert. Mit der vorhandenen Freigabezeit lässt sich dann eine gewählte Freigabezeit ($t_{Fi,gew}$) für die Phase bestimmen.

$$t_{Fi} = \frac{erf t_{Fi}}{\sum_i erf t_{Fi}} * t_{Fv}$$

3.2 Grundlagen von PTV VISSIM

Für diese Arbeit wurde das Verkehrssimulationsprogramm PTV VISSIM verwendet. Das Programm erlaubt durch die mikroskopische Simulation des Verkehrs einen genauen Überblick über die Funktionalität der einzelnen Simulation, weil jede Funktionseinheit abgebildet wird.

Da es sich bei VISSIM um ein multi-modales Simulationsprogramm handelt, konnten in der Arbeit auch die Beziehungen zwischen Kraftfahrzeugen und Fußgängern untersucht werden.

Um eine Auswertung der Knotenpunkte und Straßenzüge erstellen zu können, wurden verschiedene Kennwerte verglichen. Im Folgenden werden diese Kennwerte kurz beschrieben:

Mittlere Fahrzeuggeschwindigkeit

Mithilfe der mittleren Fahrzeuggeschwindigkeit konnte bei den Straßenzügen die tatsächliche durchschnittlich gefahrene Geschwindigkeit unter verschiedenen Belastungen für die einzelnen zugelassenen Höchstgeschwindigkeiten bestimmt werden.

Mittlere Fahrzeugreisezeit

Bei der Auswertung der Knotenpunkte wurde großen Wert auf die mittlere Fahrzeugreisezeit gelegt. Die Zeit, die von den Fahrzeugen durchschnittlich benötigt wird, um den Knotenpunkt zu passieren, lässt ohne Frage Rückschlüsse auf die Leistungsfähigkeit eines Knotenpunktes zu. Die Messpunkte für die „Fahrzeugreisezeiten“ bei Knotenpunkten wurden dabei so gewählt, dass sie einen Abstand von 150 m haben. Dies hatte den Vorteil, dass die Messdaten der Simulationen untereinander vergleichbar waren.

Stauzähler

Mithilfe von Stauzählern ließen sich die durchschnittlichen und maximalen Staulängen und die Anzahl der Halte an den Knotenpunktzufahrten messen. Die „Stauzähler“ wurden vor die Knotenpunktzufahrten platziert. Dadurch ließ sich ermitteln, wie groß der Rückstau vor dem Knotenpunkt wurde.

Verlustzeiten

Durch die Ausgabe der Verlustzeiten in Tabellenform war es möglich, die Standzeiten, Halte und Verlustzeiten, die durchschnittlich pro Fahrzeug entstehen, zu bestimmen.

Schadstoffausstöße

Für die Ermittlung der Emissionen wurde die vereinfachte Methode bei der Knotenpunktauswertung angewandt. Dafür werden von VISSIM Standardformeln für die Verbrauchswerte von dem U.S. Department of

Energy verwendet. Die eingehenden Werte für die Berechnung werden hierbei von typischen amerikanischen Fahrzeugflotten ermittelt.

Tools

Die Knotenpunkte wurden mit dem Netzobjekttyp „Verbindungsstrecken“ erstellt. Hierbei wurden die dem Knotenpunkt zufließenden Strecken mit den jeweiligen Abflüssen verbunden.

Um die Geschwindigkeit der sich im Netz befindenden Fahrzeuge festlegen und schnell anpassen zu können, hat sich das Netzobjekt „vWunsch-Entscheidungen“ als sehr hilfreich erwiesen. Mithilfe dieses Tools konnte den Fahrzeugzuflüssen die gewünschte Geschwindigkeit zugewiesen werden.

An Knotenpunkten wurde es durch die Anwendung von „Langsamfahrbereichen“ abbiegender Ströme möglich, eine realitätsnahe Abbildung der Abbiegegeschwindigkeiten darzustellen.

Für die Darstellung untergeordneter Fahrzeugflüsse wie z.B. bei dem Knotenpunkt ohne Lichtsignalanlage oder bei den Linksabbiegern für die kleine Kreuzung, wurden die Netzobjekte „Konfliktflächen“ und „Querschnittsstörungen“ verwendet. Da es mit den „Konfliktflächen“ deutlich einfacher war, die über- bzw. untergeordneten Verkehrsbeziehungen zu implementieren und nicht darauf geachtet werden musste, den nötigen Abstand zwischen den Konfliktflächen und den Signalgebern möglichst klein zu halten, wie dies bei dem Netzobjekt „Querschnittsstörungen“ geboten war, wurden bei der Erstellung der Simulationen die Konfliktflächen bevorzugt.

Um den Signalzeitenplan der Lichtsignalanlage an die richtigen Stellen des Knotenpunkts zu übertragen, wurden „Signalgeber“ verwendet. Bei der Platzierung der „Signalgeber“ war es notwendig, speziell bei Spuren mit Mischverkehr, diese auf die Verbindungsstrecken zu setzen. Ansonsten hätten fehlerhafte Signalisierungen in der Simulation entstehen können.

Für die Simulationen war es erforderlich, die Anzahl der Fahrzeuge ständig anzupassen, um die Leistungsfähigkeit des Knotenpunkts oder

des Straßenzugs zu testen. Diese konnten mithilfe der „Fahrzeugflüsse“ eingestellt werden.

Durch die „Fahrzeugrouten“ war es möglich, die Routen festzulegen, die von den Fahrzeugen im Netz gewählt wurden. Außerdem konnten damit die Verkehrsbelastungen prozentual auf die einzelnen Routen distribuiert werden.

4. Untersuchung zur Belastbarkeit von Strecken mit VISSIM

In diesem Kapitel sollen mithilfe des Simulationsprogramms PTV VISSIM situationsspezifische Untersuchungen zu der Leistungsfähigkeit von Knotenpunktzufahrten gemacht werden. Dazu werden einzelne Streckenabschnitte unterschiedlichen Situationen ausgesetzt. Ziel dieser Simulationen ist es festzustellen, wie VISSIM auf die verschiedenen Fälle reagiert. Für diese Untersuchung wurden acht Simulationen angefertigt, die Aufschluss darüber geben sollen, inwieweit sich unterschiedliche Belastungen auf die Untersuchungsparameter auswirken. Für jede Simulation wurden die Höchstgeschwindigkeiten von 30 km/h, 40 km/h und 50 km/h verwendet. Die X-Achse zeigt die Belastungen an, die in die Simulation eingespeist wurden. Die Y-Achse beschreibt die Fahrzeuge, die die Simulation durchfahren konnten.

Freie Strecke

Zunächst werden Strecken ohne Widerstände steigenden Belastungen ausgesetzt. Es wird hier zuerst eine einspurige Strecke, danach eine zweispurige Strecke untersucht. Ziel ist es festzustellen, wie sich bei steigender Belastung die Geschwindigkeitsklassen untereinander auf freier Strecke ohne Einfluss von Widerständen wie Lichtsignalanlagen verhalten. Bei der Untersuchung für die freie Strecke wurden die Simulationen für 3600 s aufgezeichnet.

Freie Strecke - einspurig

In der ersten Simulation wurde eine einspurige Strecke ohne Widerstand in Form von Lichtsignalanlagen, Langsamfahrbereichen oder anderen möglichen Hindernissen angenommen. Ziel war es herauszufinden, welche Belastungen von VISSIM auf diesem Streckenabschnitt bewältigt werden können, und welche Auswirkungen die Belastungen auf die erlaubten Höchstgeschwindigkeiten haben.

In diesem Schaubild (Abbildung 12) werden die Belastungen auf einer einspurigen Strecke ohne Widerstände dargestellt. Bei jeder Geschwindigkeitsklasse lässt sich hier ein deutlicher Knick feststellen, an dem die Fahrzeugeinspeisung nicht mehr abgedeckt werden konnte. Es ist klar zu erkennen, dass der Knick bei 50 km/h am spätesten stattfindet und bei 30 km/h am frühesten. Das Ende des linearen Verlaufs liegt bei Tempo 50 etwa bei einer Belastung von 2000 Kfz/h, bei Tempo 40 liegt es zwischen 1500 und 2000 Kfz/h und bei Tempo 30 bei etwa 1500 Kfz/h.

Bei der angenommenen maximalen Belastung von 3000 Kfz/h lassen sich bei 50 km/h 2066 Kfz abwickeln, bei 40 km/h 1916 Kfz und bei 30 km/h 1643 Kfz. Somit können bei Tempo 50 im Vergleich zu Tempo 40 7,26 % mehr Fahrzeuge die Strecke durchfahren. Im Vergleich zu Tempo 30 können 20,47 % mehr Fahrzeuge das System passieren.

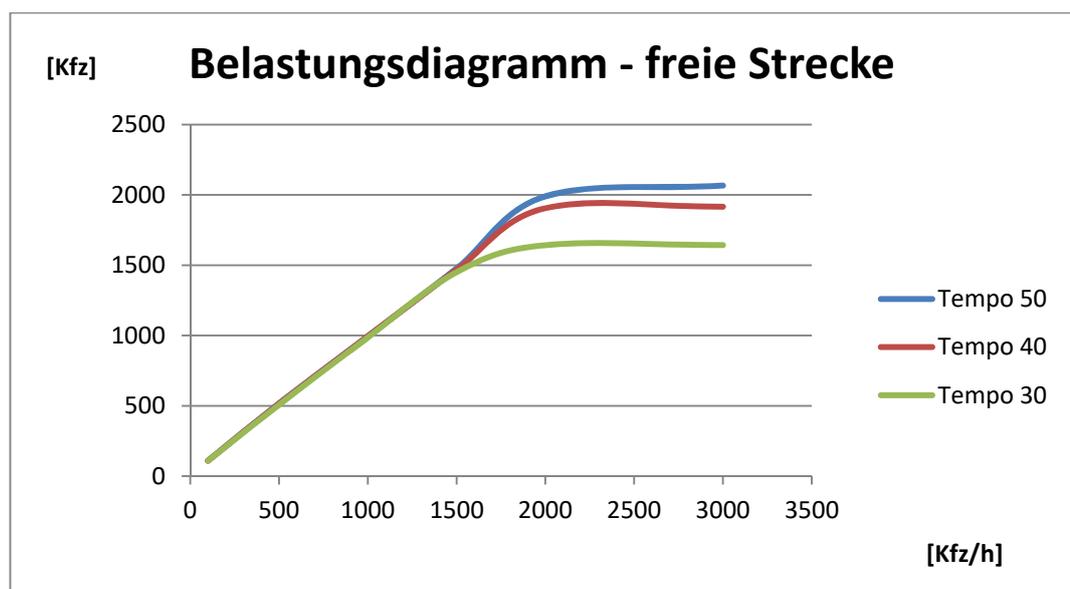


Abbildung 12: Belastungsdiagramm - freie Strecke (Quelle: eigene Darstellung)

4. Untersuchung zur Belastbarkeit von Strecken mit VISSIM

In der zweiten Simulation wurde eine zweispurige Strecke herangenommen. Die Länge liegt auch hier bei einem Kilometer und die Simulationszeit bei 3600 s. Ziel war es festzustellen, wie sich die Anzahl der Fahrzeuge, die das System durchfahren können, bei einer zweispurigen Strecke im Vergleich zu einer einspurigen Strecke verhält.

Auch hier (siehe Abbildung 13) lässt sich bei jeder Geschwindigkeitsklasse ein Knick feststellen, nach dem die eingespeisten Belastungen nicht mehr abgewickelt werden können, und somit die Linie nicht mehr kontinuierlich ansteigt. Bei Tempo 50 tritt dieser Fall bei einer Belastung von 4000 Kfz/h bis 4500 Kfz/h ein. Bei 40 km/h verläuft die Linie des Diagramms bis etwa 3500 Kfz/h linear. Für 30 km/h entsteht der Knick bei 3000 Kfz/h.

Maximal konnten bei Tempo 50 4268 Fahrzeuge bei einer Belastung von 6000 Kfz/h abgewickelt werden. Mit Tempo 40 konnten 3853 Fahrzeuge bei einer Belastung von 5000 Kfz/h die Strecke durchfahren. 3292 Fahrzeuge ergaben sich als Maximum für Tempo 30 bei einer Einspeisung von 6000 Kfz/h.

Prozentual ausgedrückt ist die Anzahl der durchfahrenden Fahrzeuge bei Tempo 50 um 9,72 % höher als bei Tempo 40. Für den Vergleich von Tempo 50 und Tempo 30 ergibt sich ein um 22,86 % größerer Fahrzeugdurchfluss.

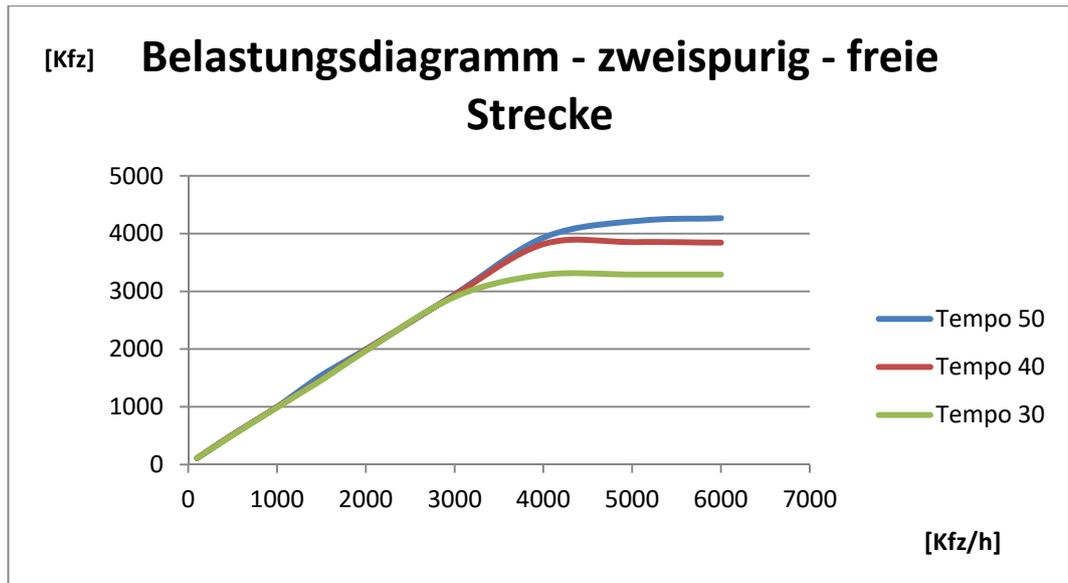


Abbildung 13: Belastungsdiagramm - zweispurig - freie Strecke (Quelle: eigene Darstellung)

Widerstand Lichtsignalanlagen

In den nächsten Fällen werden sechs Simulationen untersucht, die als Widerstand Lichtsignalanlagen haben.

Für diese Untersuchung wurden für die Widerstände Lichtsignalanlagen mit einer Umlaufzeit von 90 s gewählt. Die Simulationen wurden für Freigabezeiten von 45 s, 30 s und 15 s durchgeführt. Um ein genaueres Ergebnis über den Abfluss zu erhalten, wurde bei den Simulationen mit Widerständen eine Warmlaufzeit von 500 s gewählt, in denen die Simulation keine Ergebnisse speichert. Die Simulationen mit Widerständen wurden, wie zuvor bei den freien Strecken, jeweils für einspurige Strecken und zweispurige Strecken durchgeführt. Ziel ist es aufzuzeigen, bei welchen Belastungen die verschiedenen Geschwindigkeitsklassen eine Sättigung erreichen und wie viele Fahrzeuge die Strecke maximal durchfahren können.

In der ersten Simulation (siehe Abbildung 14) mit Widerständen wurde eine Lichtsignalanlage mit einer Grünzeit von 45 s angesetzt. Hierbei ergab sich die Sättigung bei 50 km/h zwischen 1000 und 1100 Kfz/h. Bei 40 km/h wurde die Sättigung bei einer Einspeisung von etwa 1000 Kfz/h erreicht. Bei 30 km/h geschah dies bei 900 Kfz/h.

4. Untersuchung zur Belastbarkeit von Strecken mit VISSIM

Bei Tempo 50 wird die maximale Anzahl von Fahrzeugen, die in der Lage waren, das System zu durchfahren bei einer Einspeisung von 1500 Kfz/h erreicht. Hier nun war es 899 Fahrzeugen möglich, die Strecke zu durchfahren. Bei Tempo 40 durchfahren maximal 864 Fahrzeuge die Strecke zu passieren. Mit Tempo 30 waren es 789 Fahrzeuge.

Somit konnten mit Tempo 50 3,89 % mehr Fahrzeuge das System durchfahren als mit Tempo 40. Vergleicht man Tempo 50 mit Tempo 30 ergibt sich ein Unterschied von 12,24 %.

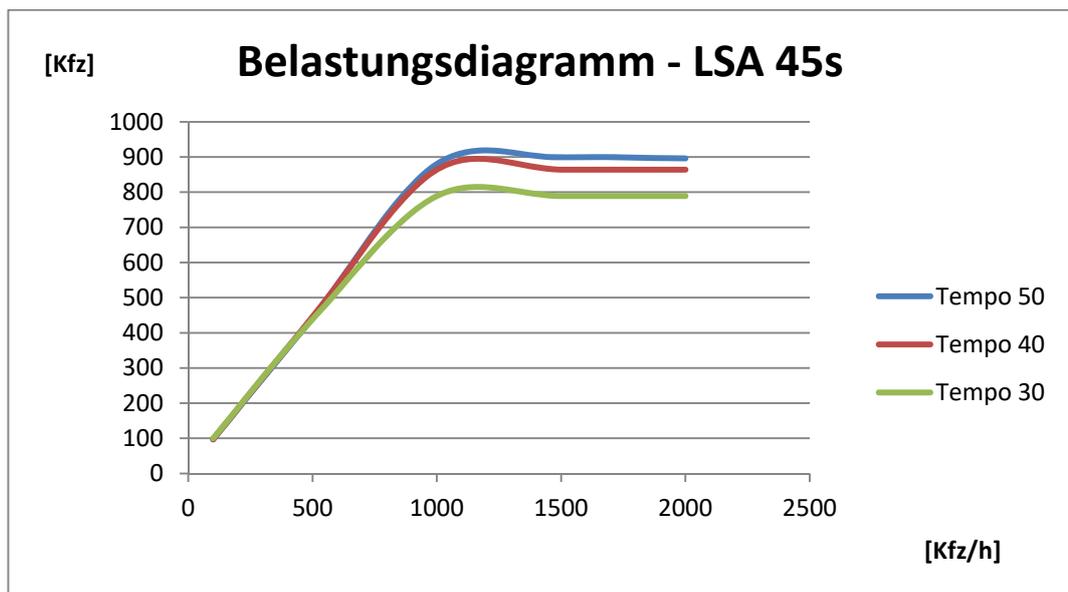


Abbildung 14: Belastungsdiagramm - LSA 45 s (Quelle: eigene Darstellung)

Bei der zweiten Untersuchung der mit Widerständen belegten Simulationen (siehe Abbildung 15) wurde eine zweispurige Strecke mit einer Lichtsignalanlage und 45 s Grünzeit gewählt.

Durch diese Simulation kann ermittelt werden, wie sich die Belastungen in der zweispurigen Strecke im Vergleich zu der einspurigen verhalten.

Es lässt sich feststellen, dass die Sättigung für 50 km/h bei etwa 2000 Kfz/h erreicht wurde. Für 40 km/h entsteht dieser Knick etwas früher bei einer Belastung von etwa 1800 Kfz/h. Bei einer Geschwindigkeit von 30 km/h ergibt sich die Sättigung bei etwa 1600 bis 1700 Kfz/h.

Die maximale Anzahl von Fahrzeugen, die bei dieser Strecke abgefertigt werden konnten, sind bei Tempo 50 1791 Fahrzeuge bei einer Belastung

4. Untersuchung zur Belastbarkeit von Strecken mit VISSIM

von 3000 Kfz/h, bei Tempo 40 1729 Fahrzeuge bei 4000 Kfz/h und bei Tempo 30 1588 Fahrzeuge bei einer Einspeisung von 2000 Kfz/h.

Es ergeben sich somit für Tempo 50 3,46 % mehr durchfahrende Fahrzeuge als bei Tempo 40 und 11,33 % mehr als bei Tempo 30.

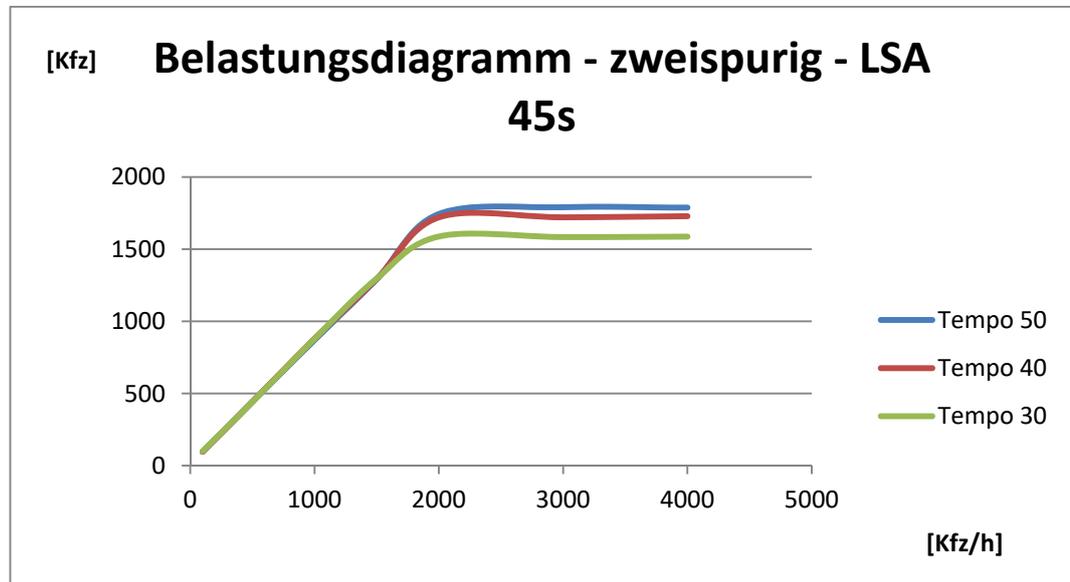


Abbildung 15: Belastungsdiagramm - zweispurig - LSA 45 s (Quelle: eigene Darstellung)

Als nächstes wird eine einspurige Strecke mit einer Lichtsignalanlage und einer Grünzeit von 30 s untersucht (siehe Abbildung 16). Bei diesem Diagramm wird die Sättigung bei Tempo 50 mit etwa 800 Kfz/h erreicht, bei Tempo 40 mit etwa 700 Kfz/h und bei Tempo 30 zwischen 500 und 600 Kfz/h. Maximal konnten bei diesem Versuch 634 Fahrzeuge mit Tempo 50 das System passieren. Mit Tempo 40 waren es 612 Fahrzeuge, die innerhalb der Simulation die Strecke zurücklegten. Bei Tempo 30 passierten 567 Fahrzeuge die Strecke. Somit konnten bei Tempo 50 im Vergleich zu Tempo 40 3,47 % mehr Fahrzeuge abgefertigt werden und im Vergleich von Tempo 50 zu Tempo 30 konnten 10,57 % mehr Fahrzeuge die Strecke durchfahren.

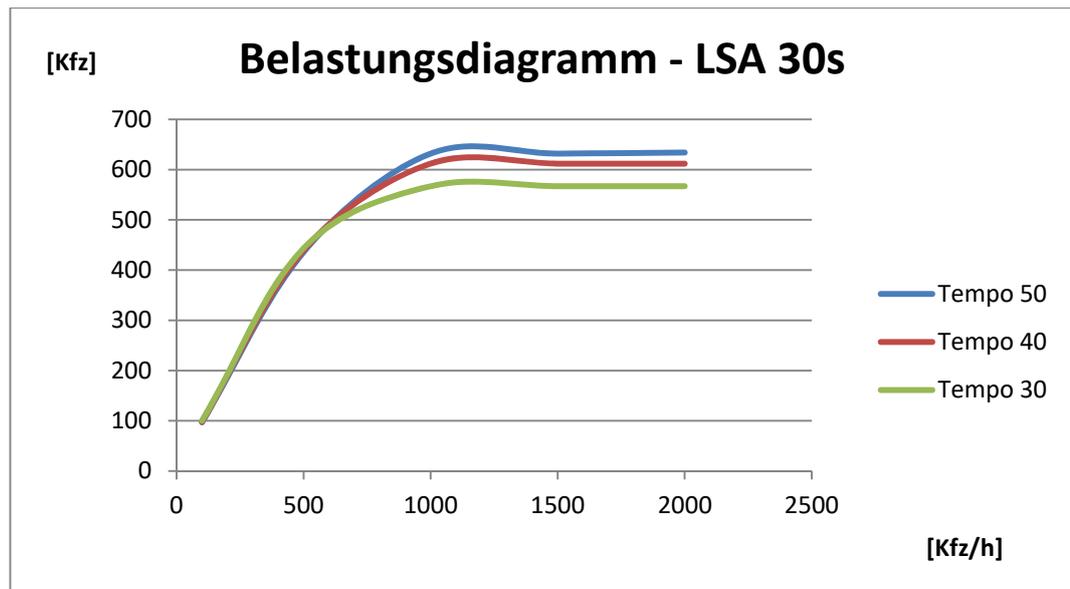


Abbildung 16: Belastungsdiagramm - LSA 30 s (Quelle: eigene Darstellung)

Betrachtet man die zweispurige Strecke mit der Grünzeit von 30 s (siehe Abbildung 17), ist zu sehen, dass die Sättigung für 50 km/h bei einer Belastung von etwa 1500 Kfz/h erreicht wird, für 40 km/h wird diese bei etwa 1400 Kfz/h erreicht und für 30 km/h bei etwa 1200 Kfz/h.

Maximal konnten hier im Untersuchungszeitraum für Tempo 50 1261 Fahrzeuge die Strecke passieren, 1229 Fahrzeuge für Tempo 40 und 1149 Fahrzeuge für Tempo 30.

Somit können bei Tempo 50 2,54 % mehr Fahrzeuge das Netz durchfahren als bei Tempo 40 und 8,88 % mehr als bei Tempo 30.

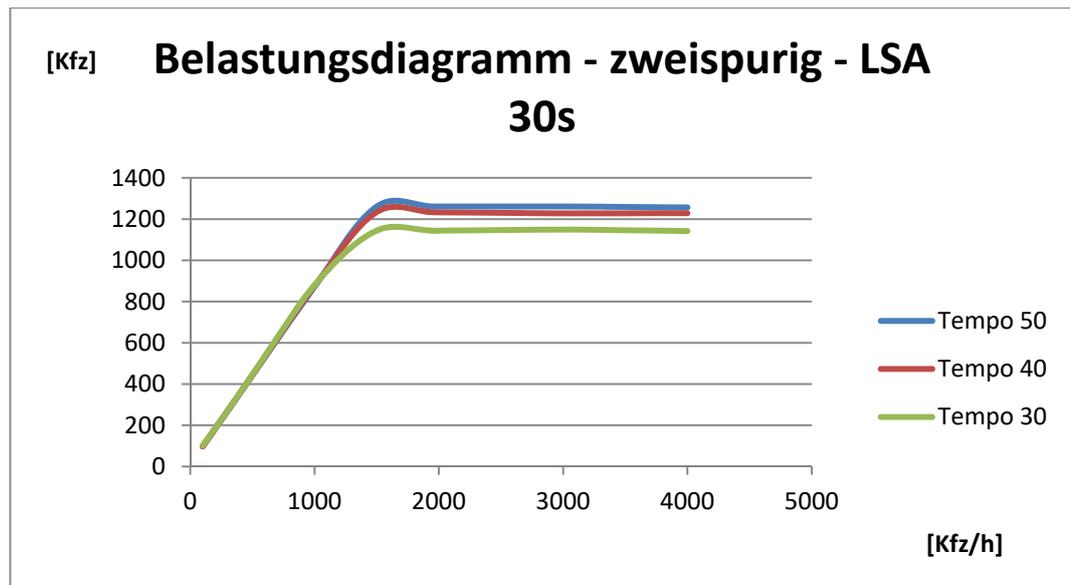


Abbildung 17: Belastungsdiagramm - zweispurig - LSA 30s (Quelle: eigene Darstellung)

Als nächste Untersuchung wurde die Simulation mit einer Grünzeit von 15 s angefertigt (siehe Abbildung 18). Auffällig bei diesem Diagramm ist, dass die sich ergebenden Werte für Tempo 50 und Tempo 40 annähernd gleich sind. Hier wird die Sättigung für 50 km/h und 40 km/h bei zwischen 600 und 700 Kfz/h erreicht. Bei 30 km/h liegt die Sättigung bei etwa 500 Kfz/h. Für Tempo 50 und Tempo 40 ergeben sich hier maximale Fahrzeugdurchfahrten von 326 Fahrzeugen und für Tempo 30 liegt das Maximum bei 307 Fahrzeugen. Somit entsteht zwischen Tempo 50 und Tempo 40 keine Abweichung. Im Vergleich zu Tempo 30 hingegen ergeben sich bei Tempo 50 5,83 % mehr durchfahrende Fahrzeuge.

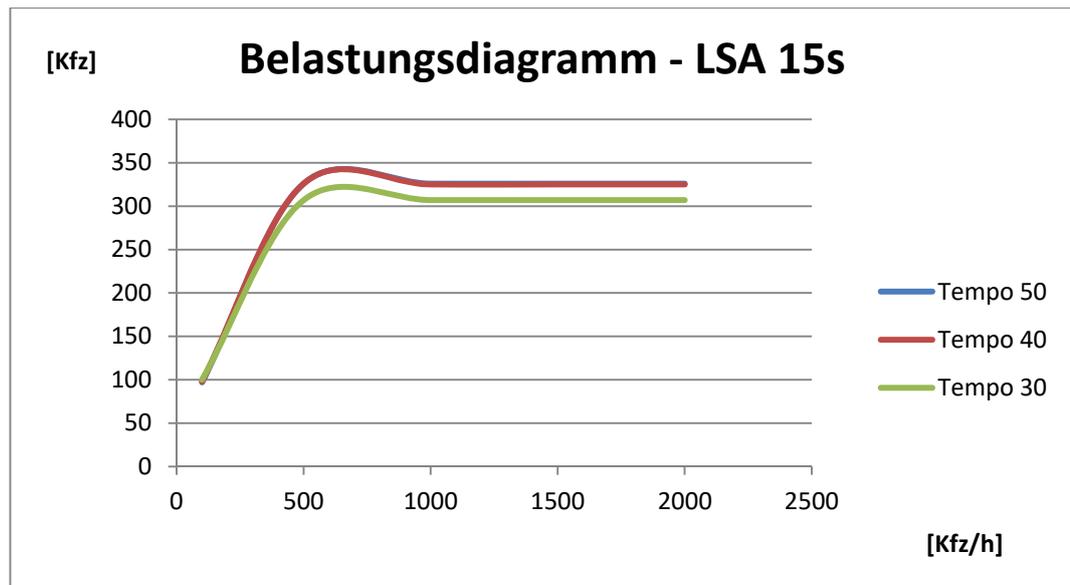


Abbildung 18: Belastungsdiagramm - LSA 15s (Quelle: eigene Darstellung)

Zuletzt wird noch die zweispurige Strecke mit 15 s Grünzeit untersucht. Wie bei der einspurigen Strecke verläuft hier bei der zweispurigen Strecke die Linie für 50 km/h annähernd gleich wie die für 40 km/h. Für 50 km/h und 40 km/h wird die Sättigung bei einer Belastung von ungefähr 1000 Kfz/h erreicht. Bei 30 km/h ergibt sich diese bei etwa 900 Kfz/h. Bei 50 km/h konnten maximal 659 Fahrzeuge die Strecke durchfahren. Bei 40 km/h waren es maximal 658 Fahrzeuge und bei 30 km/h 619 Fahrzeuge. Es entsteht also nur eine minimale prozentuale Abweichung zwischen Tempo 50 und Tempo 40 von 0,15 %. Zwischen Tempo 50 und Tempo 30 liegt ein Unterschied von 6,07 %.

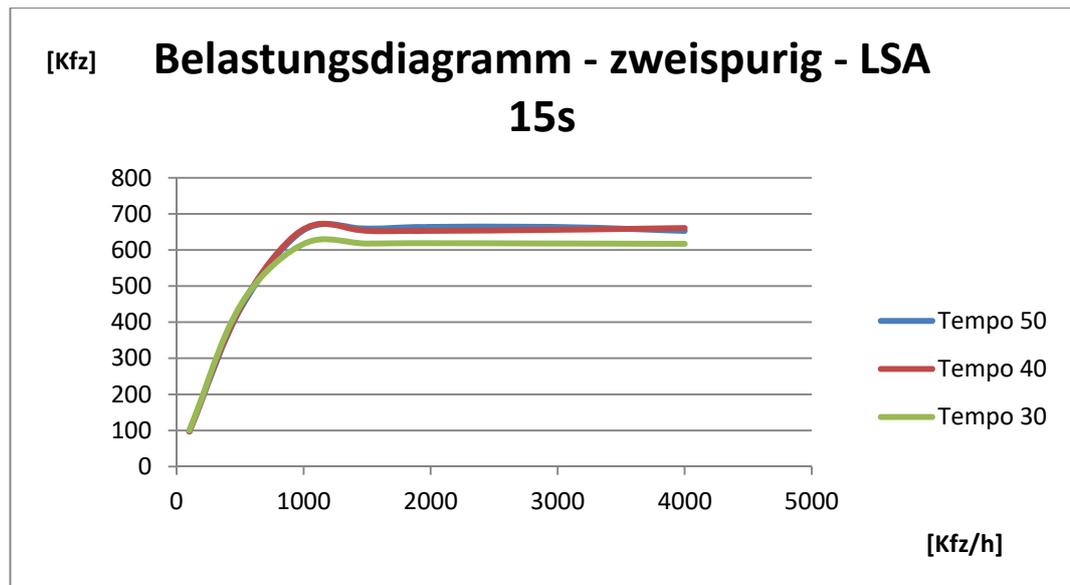


Abbildung 19: Belastungsdiagramm - zweispurig - LSA 15s (Quelle: eigene Darstellung)

Betrachtet man die verschiedenen Simulationen, lässt sich feststellen, dass die Menge der Fahrzeuge, die die Strecke in dem Simulationszeitraum durchfahren konnten, zunächst einmal abhängig von der Anzahl der Fahrstreifen und der Größe des Widerstands ist. Allerdings ist zu erkennen, dass die zulässige Höchstgeschwindigkeit, zumindest in den meisten Fällen, einen direkten Einfluss auf die Höhe der Sättigung hat. Festhalten kann man auch: Je geringer die gefahrene Geschwindigkeit ist, desto früher kann das Simulationsprogramm die gewählte Einspeisung nicht mehr erfüllen. Da nur Fahrzeuge, die in das System einfahren und es wieder verlassen, in die Datenerhebung aufgenommen werden, wäre eine geringfügige Abnahme der Fahrzeuge, die das Netz durchfahren, möglich gewesen.

Jedoch kann beobachtet werden, dass der Einfluss der Höchstgeschwindigkeit durch die Widerstände verringert. So wurden mit Vergrößerung der Widerstände die Unterschiede von Tempo 40 und Tempo 30 zu Tempo 50 immer geringer. Interessant war auch, dass der Unterschied zwischen Tempo 50 und Tempo 40 immer deutlich geringer war als der Abstand zwischen Tempo 40 und Tempo 30 bei voll ausgelasteter Sättigung.

5. Simulation der Knotenpunkte

In diesem Kapitel sollen die simulierten Knotenpunkte untersucht werden und aufgezeigt werden, wie die unterschiedlichen Simulationen aufgebaut sind. Es werden in diesem Kapitel drei Knotenpunkte untersucht, die nach Meinung des Autors von Belang sind. Die Knotenpunkte lauten wie folgt:

- Kleiner Knotenpunkt
- Großer Knotenpunkt
- Knotenpunkt ohne Lichtsignalbeeinflussung

Zu Beginn werden, mithilfe des Simulationsprogramms VISSIM, unterschiedliche Situationen, auf die die Geschwindigkeitsreduzierung Auswirkungen haben könnten, dargestellt und untersucht, welche Wirkung diese auf den Verkehr haben. Im Laufe der Simulationsauswertung werden Ergebnisse für Fahrzeugreisezeiten, Staulängen, Halte, Standzeiten und Verlustzeiten betrachtet.

Für jeden der in diesem Kapitel aufgezeigten Knotenpunkte werden drei Simulationen angefertigt, von denen die Simulation mit den mittleren Belastungen in diesem Kapitel beispielhaft untersucht wird. Die Berechnung der Lichtsignalanlagen und die Ergebnistabellen für die anderen Belastungen finden sich im Anhang (siehe Anhang Teil 2 bis Teil 10).

5.1 Kleine Kreuzung mit Lichtsignalanlage

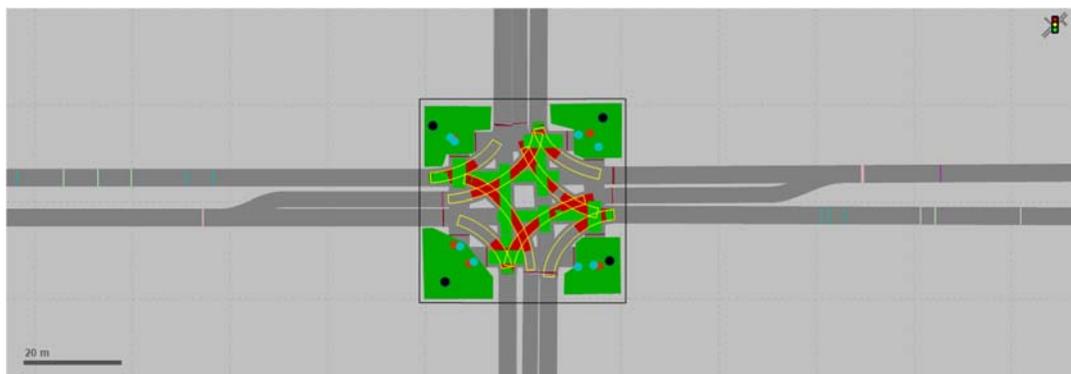


Abbildung 20: Kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

5. Simulation der Knotenpunkte

Die im Folgenden beschriebene Simulation ist ein signalisierter kleiner vierarmiger Knotenpunkt. Knotenpunkte wie dieser lassen sich häufig an weniger stark befahrenen Streckenabschnitten von Hauptverkehrsstraßen finden.

Wie in Abbildung 20 zu sehen ist, hat jede Zufahrt zu dem Knotenpunkt einen Linksabbiegerstreifen und einen Mischfahrstreifen als einen gemeinsam geführten Fahrstreifen für die Geradeausfahrt und das Rechtsabbiegen.

Als Verkehrsstärken wurden von Norden (K1 und K2) und von Süden (K5 und K6) jeweils 300 Kfz/h für die geradeaus fahrenden Fahrzeuge und jeweils 100 Kfz/h für die links und rechts abbiegenden Fahrzeuge angesetzt. Für die Verkehrsströme von Osten (K3 und K4) und von Westen (K7 und K8) wurden 180 Kfz/h für die geradeaus fahrenden Fahrzeuge und 60 Kfz/h für die rechts und links abbiegenden Fahrzeuge angenommen.

Der Anteil des SV-Verkehrs wurde auf 3 % gesetzt. Bei der Signalisierung des Knotenpunkts wurde ein Zwei-Phasen-System verwendet.

Da die Linksabbieger keine eigene Phase zum gesicherten Abbiegen erhalten, handelt es sich hier um ein teilverträgliches System. Für die Vorfahrtsregelung der teilverträglichen Verkehrsströme wurden Konfliktflächen verwendet.

Die in diesem Knotenpunkt entstehenden, maßgebenden Zwischenzeiten (T_z) beliefen sich für die Annahme von Tempo 50 und Tempo 40 auf 12 s und für Tempo 30 auf 11 s.

Anhand der in diesem Knotenpunkt gewählten Ausgangswerte kamen bei der Berechnung der maßgebenden Ströme (siehe Tabelle 1) eine für den Kfz-Verkehr wartezeitoptimale Umlaufzeit $t_{(u)}$ von 34,54 s für Tempo 50 und 40 heraus und für Tempo 30 eine Umlaufzeit von 32,29 s. Da allerdings in der Regel keine Umlaufzeiten unter 60 s bei Signalprogrammen angewandt werden, wurde die gewählte Umlaufzeit ($t_{u, \text{gew}}$) auf 60 s gesetzt.

5. Simulation der Knotenpunkte

Tabelle 1: LSA-Berechnung kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

Nr.	Bez.	$q_{\text{maß}}$	$q_{\text{S,st}}$	SV	f_1	Bez.	f_2	Bez.	q_s	$q_{\text{maßg}}/q_s$	gg	$q_{\text{maßg}}/(g \cdot q_s)$
		[Fz/h]	[Pkw/h]	[%]	[-]		[-]		[Fz/h]			
1	K1	400	2000	3	0,984	SV			1916	0,2088		
2	K2	100	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0535		
3	K3	240	2000	3	0,984	SV			1916	0,1253		
4	K4	60	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0321		
5	K5	400	2000	3	0,984	SV			1969	0,2032		
6	K6	100	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0535		
7	K7	240	2000	3	0,984	SV			1969	0,1219		
8	K8	60	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0321		

$q_{\text{maßg}}/q_{\text{S1}}$	0,3341	T_z	12	T_U	34,54	T_U	gew.	60
		T_z	11	T_U	32,29	T_U	gew.	60

Mittels Tabelle 2 ließen sich die erforderlichen Freigabezeiten ($t_{\text{F erf}}$) bestimmen. Für Phase 1 entstand eine erforderliche Freigabezeit von 12,5 s. Für Phase 2 wurden 7,5 s berechnet.

Für die Berechnung bei 40 und 50 km/h wurde eine Freigabezeit nach dem Verkehrsflussverhältnis (t_{F}) für Phase 1 von 30 s ermittelt. Für Phase 2 ergab sich ein t_{F} von 18 s. Dementsprechend wurde für Phase 1 eine Freigabezeit von 30 s gewählt und für Phase 2 eine Freigabezeit von 18 s.

5. Simulation der Knotenpunkte

Tabelle 2: Freigabezeiten kleine Kreuzung 50 km/h (40 km/h) (Quelle: eigene Darstellung)

Nr.	Bez.	maßg.	$q_{\text{maßg}}$	m	q_s	t_B	$b_{\text{maßg}}$	g_{gew}	$t_{F \text{ erf.}}$	t_F	$t_{F \text{ gew.}}$
			[Fz/h]	[Fz]	[Fz/h]	[s/Fz]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]
1	K1		400	6,7	1916	1,88	0,2088		12,5	30	30
2	K2		100	1,7	1870	1,92	0,0535		3,2		
3	K3		240	4,0	1916	1,88	0,1253		7,5	18	18
4	K4		60	1,0	1870	1,92	0,0321		1,9		
5	K5		400	6,7	1969	1,83	0,2032		12,2		
6	K6		100	1,7	1870	1,92	0,0535		3,2		
7	K7		240	4,0	1969	1,83	0,1219		7,3		
8	K8		60	1,0	1870	1,92	0,0321		1,9		

Bei 30 km/h (siehe Tabelle 3) belief sich die Freigabezeit nach dem Verkehrsflussverhältnis für Phase 1 auf 30,63 s und für Phase 2 auf 18,38 s. Anhand der berechneten Freigabezeit wurde für Phase 1 30 s Freigabezeit gewählt und für Phase 2 19 s.

Tabelle 3: Freigabezeiten kleine Kreuzung 30 km/h (Quelle: eigene Darstellung)

Nr.	Bez.	maßg.	$q_{\text{maßg}}$	m	q_s	t_B	$b_{\text{maßg}}$	g_{gew}	$t_{F \text{ erf.}}$	t_F	$t_{F \text{ gew.}}$
			[Fz/h]	[Fz]	[Fz/h]	[s/Fz]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]
1	K1		400	6,7	1916	1,88	0,2088		12,5	30,625	30
2	K2		100	1,7	1870	1,92	0,0535		3,2		
3	K3		240	4,0	1916	1,88	0,1253		7,5	18,375	19
4	K4		60	1,0	1870	1,92	0,0321		1,9		
5	K5		400	6,7	1969	1,83	0,2032		12,2		
6	K6		100	1,7	1870	1,92	0,0535		3,2		
7	K7		240	4,0	1969	1,83	0,1219		7,3		
8	K8		60	1,0	1870	1,92	0,0321		1,9		

Da für diesen Knotenpunkt ein Zwei-Phasen-System eingesetzt wurde, wird der Geradeaus- und Rechtsabbiegerverkehr zusammen mit dem Linksabbiegerverkehr geführt. Daher werden in Phase 1 der Geradeaus- und Linksabbiegerverkehr von Norden (K1, K2) und von Süden (K5, K6)

zusammen mit den Fußgängerströmen F2 und F4 geführt. In Phase 2 sind die Ströme der Ostrichtung (K3, K4) und der Westrichtung (K7, K8) sowie die Fußgängerströme F1 und F3 vertreten.

Simulationsergebnisse

Die erzielten Ergebnisse für die mittleren Reisezeiten können der folgenden Tabelle 4 entnommen werden. Als Wegstrecke für die Fahrzeugreisezeiten werden wie bei allen Simulationen für Knotenpunkte 150 m angenommen. Dadurch lassen sich eventuelle Rückstaus vor dem Knotenpunkt, sowie die Durchflusszeiten durch den Knotenpunkt genauer ermitteln.

Bei der Betrachtung mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h ergeben sich mittlere Fahrzeugreisezeiten zwischen 20,92 s und 45,77 s. Für 40 km/h ergeben sich Werte zwischen 22,86 s und 47,21 s. Bei der Simulation mit 30 km/h wurden Werte zwischen 26,67 s und 48,61 s ermittelt. Erwartungsgemäß ergaben sich im Durchschnitt bei den Linksabbiegerströmen aufgrund des teilgesicherten Systems längere Fahrzeugreisezeiten.

Mithilfe der Angabe der erfassten Fahrzeuge, die den Knotenpunkt durch die vordefinierten Fahrzeugrouten passiert haben, ließ sich das gewichtete Mittel für die Reisezeiten berechnen. Hierbei beläuft sich die gewichtete Fahrzeugreisezeit für Tempo 50 auf 28,98 s. Für 40 km/h ergibt sich ein Wert von 30,84 s. Bei Tempo 30 verlängert sich die gewichtete Fahrzeugreisezeit auf 34,01 s.

5. Simulation der Knotenpunkte

Tabelle 4: Mittlere Fahrzeugreisezeit kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

		Mittlere Fahrzeugreisezeit			
		Wegstrecke	50 km/h	40 km/h	30 km/h
		[m]	[s]	[s]	[s]
K1	10: Nord_gerade	150	21,15	23,10	26,92
K1	11: Nord_rechtsab	150	29,73	30,35	32,75
K2	12: Nord_linksab	150	38,69	41,33	41,97
K3	4: Ost_gerade	150	28,76	30,44	33,50
K3	5: Ost_rechtsab	150	40,39	40,72	43,08
K4	6: Ost_linksab	150	45,77	47,21	48,61
K5	7: Sued_gerade	150	20,92	22,86	26,67
K5	8: Sued_rechtsab	150	31,31	32,24	34,64
K6	9: Sued_linksab	150	36,11	39,40	45,10
K7	1: West_gerade	150	28,15	30,03	33,06
K7	2: West_rechtsab	150	38,75	40,29	44,61
K8	3: West_linksab	150	42,29	45,61	47,11
Gewichtetes Mittel			28,98	30,84	34,01

Aus der Tabelle geht deutlich hervor, dass sich bei 30 km/h längere mittlere Reisezeiten ergeben als bei 50 km/h. Bei jeder der gemessenen Fahrbeziehungen sind bei Tempo 30 längere Reisezeiten als bei Tempo 50 herausgekommen. Betrachtet man, wie sich die Simulationsergebnisse bei den Untersuchungen mit 40 km/h im Vergleich zu 50 km/h und 30 km/h verhalten, erhält man einen Anstieg der mittleren Reisezeiten in Bezug auf 50 km/h und eine Reduktion im Vergleich zu 30 km/h. Es ist jedoch keine lineare Regression bei den Mittelwerten erkennbar. Nimmt man die Differenz des gewichteten Mittels, so entsteht zwischen den Versuchen mit 50 km/h und 30 km/h ein Unterschied von 5,03 s.

Die Differenzen zwischen Tempo 50 und Tempo 30 beliefen sich auf 2,69 s minimal und maximal auf 8,99 s.

5. Simulation der Knotenpunkte

Bei der Betrachtung der Simulationsergebnisse war tendenziell zu erkennen, dass die geradeausfahrenden Ströme in der Regel größere Differenzen zwischen den Geschwindigkeitsstufen aufwiesen. Dies lässt sich durch die Langsamfahrbereiche erklären, denen die abbiegenden Fahrzeuge ausgesetzt sind. Eine mögliche Folge von Geschwindigkeitsreduktionen bei einem teilverträglichen Knotenpunkt wäre gewesen, dass sich der Abbiegevorgang für linksabbiegende Fahrzeuge leichter gestaltet hätte als bei höheren Geschwindigkeiten. Dies konnte bei dieser Simulation nicht bestätigt werden.

Die Tabelle 5 gibt Auskunft über die Länge der Staus an den Knotenpunkteinfahrten, die bei der Simulation der kleinen Kreuzung entstanden waren.

Für Tempo 50 ergeben sich im Durchschnitt minimal 1,75 m Staulänge bei den Linksabbiegern an der westlichen Zufahrt (K8). Maximal beträgt die durchschnittliche Staulänge 6,57 m bei dem Geradeaus- und Rechtsabbiegerverkehr der östlichen Zufahrt. Die Summe der Staulängen für alle Zufahrten beläuft sich auf 33,13 m.

Für die kleinste der maximalen Staulängen ergeben sich 22,44 m. Diese kommt bei der westlichen Zufahrt (K7) vor.

Die größte maximale Staulänge tritt bei der nördlichen Zufahrt (K1) auf und beträgt 84,38 m.

Die geringste Anzahl an Halten tritt bei der Untersuchung von 50 km/h für die Linksabbieger an der Hauptrichtung mit 37 Halten auf. Die maximale Anzahl an Halten kommt an der südlichen Zufahrt (K5) zustande, nämlich 186 Halte. Insgesamt lassen sich 825 Halte an den Zufahrten feststellen.

Bei 40 km/h beträgt die minimale Staulänge im Durchschnitt 1,88 m für die Linksabbieger an der westlichen Zufahrt (K7), die maximale durchschnittliche Staulänge 6,62 m für die östliche Zufahrt (K3). Die geringste maximale Staulänge tritt für die Linksabbieger an der östlichen Zufahrt auf. Sie beträgt 23,39 m. Die maximale Staulänge ergibt sich an der nördlichen Zufahrt mit 84,41 m.

5. Simulation der Knotenpunkte

Die Strecke mit der größten Menge an Halten ist die Zufahrt von Süden (K5) mit 192 Halten, die Strecke mit der geringsten Anzahl von Halten ist die des Linksabbiegerverkehrs bei der östlichen Zufahrt. Im Durchschnitt ergeben sich 37 Halte. Insgesamt kommt es zu 840 Halten für 40 km/h.

Die minimale durchschnittliche Staulänge bei Tempo 30 beläuft sich auf 1,88 m für die westliche Zufahrt bei Linksabbiegern (K8). Der Maximalwert für die durchschnittlichen Staulängen beträgt 6,61 m. Im Durchschnitt kommt es bei dem Knotenpunkt zu 35,98 m Staulänge.

Die maximalen Staulängen sind bei den Linksabbiegern der westlichen Zufahrt (K8) mit 22,19 m minimal und an der nördlichen Zufahrt mit 86,31 m maximal.

Bei der Untersuchung mit 30 km/h ergaben sich eine minimale Anzahl an Halten an der westlichen Zufahrt für die Richtung Linksabbieger mit 37 Halten und eine maximale Anzahl von Halten für die südliche Zufahrt mit 199 Halten. Insgesamt entstehen hier 854 Halte.

Tabelle 5: Staulänge kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

	Staulänge								
	50 km/h			40 km/h			30 km/h		
	Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte
	[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]
K1	5,57	84,38	151	5,69	84,41	153	6,20	86,31	158
K2	2,73	35,85	61	3,04	35,58	63	2,81	33,52	62
K3	6,57	56,28	144	6,62	56,71	144	6,61	54,83	145
K4	2,17	24,68	38	2,22	26,28	39	2,20	26,83	38
K5	5,74	71,52	186	6,09	74,64	192	6,50	75,66	199
K6	2,36	25,20	61	2,73	26,60	63	3,31	31,18	68
K7	6,25	51,65	147	6,46	52,61	149	6,47	50,21	147
K8	1,74	22,44	37	1,88	23,39	37	1,88	22,19	37
Gesamt	33,13		825	34,72		840	35,98		854

Es lässt sich aus der Tabelle entnehmen, dass bei dieser Simulation mit der kleinen Kreuzung die Ergebnisse für die durchschnittlichen und maximalen Staulängen und die Anzahl der Halte sehr nah beieinander liegen. Insgesamt werden bei Tempo 50 zwar etwas bessere Werte erzielt als bei den anderen Geschwindigkeiten, es lassen sich aber keine signifikanten Unterschiede zwischen den unterschiedlichen erlaubten Höchstgeschwindigkeiten feststellen.

In der folgenden Tabelle (siehe Tabelle 6) sind die Verlustzeiten für den kleinen Knotenpunkt beinhaltet. Es werden hier die Standzeiten, Verlustzeiten und Halte für diesen Knotenpunkt aufgezeigt.

Bei der Betrachtung der Verlustzeiten ergeben sich bei Tempo 50 für die Geradeausfahrer aus südlicher Richtung die minimalen durchschnittlichen Standzeiten mit 5,23 s, die minimalen Halte pro Fahrzeug mit 0,47 Halten und die geringsten Verlustzeiten mit 10,62 s.

Die längsten Standzeiten, Halte und Verlustzeiten treten bei den Linksabbiegern aus der östlichen Zufahrt (K4) auf. Dabei beläuft sich die Standzeit auf 20,24 s, es gab 1,82 Halte und die Verlustzeiten betragen 29,03 s.

Betrachtet man das gewichtete Mittel aus allen Fahrzeugen, die den Streckenabschnitt durchquert haben, ergeben sich bei der Simulation mit 50 km/h durchschnittliche Standzeiten von 9,66 s und durchschnittliche Verlustzeiten von 15,79 s. Das gewichtete Mittel der Halte beträgt hier 0,86.

Für die Untersuchung der Verlustzeiten mit 40 km/h belaufen sich die minimalen durchschnittlichen Standzeiten, Halte und Verlustzeiten beim Geradeausverkehr aus südlicher Richtung auf 5,56 s, 0,49 Halte und 10,05 s.

Die höchsten durchschnittlichen Standzeiten, Halte und Verlustzeiten treten bei den Linksabbiegern von Osten auf. Sie betragen 20,84 s für die Standzeiten, haben im Durchschnitt 1,81 Halte und ergeben 29,64 s für die Verlustzeiten.

5. Simulation der Knotenpunkte

Bei der Betrachtung des gewichteten Mittels findet man durchschnittliche Standzeiten von 10,20 s, 0,88 Halte pro Fahrzeug und durchschnittliche Verlustzeiten von 15,80 s.

Bei Tempo 30 kommt es bei den geradeausfahrenden Fahrzeugen an der südlichen Zufahrt zu den geringsten Standzeiten mit 6,03 s, zu den wenigsten Halten mit 0,52 und zu den kürzesten Verlustzeiten mit 9,91 s.

Die Maximalwerte der Stand- und Verlustzeiten und Halte treten hier bei den Linksabbiegern an der östlichen Zufahrt (K3) auf. Die Werte betragen 20,57 s für die Standzeiten, 1,73 Halte und 28,93 s für die Verlustzeiten.

Für das gewichtete Mittel ergeben sich hier 10,57 s durchschnittliche Standzeiten, 0,89 Halte pro Fahrzeug und 15,80 s durchschnittliche Verlustzeiten.

5. Simulation der Knotenpunkte

Tabelle 6: Verlustzeiten kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

	Verlustzeiten								
	50 km/h			40 km/h			30 km/h		
	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten
	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]
K1	5,41	0,52	10,84	5,74	0,52	10,28	6,29	0,56	10,27
K1	6,72	0,75	11,78	6,55	0,73	11,52	6,80	0,76	11,81
K2	14,05	1,67	22,17	15,66	1,78	23,98	14,51	1,64	22,56
K3	11,93	0,66	18,49	12,19	0,68	17,65	12,09	0,70	16,87
K3	16,64	1,44	22,52	16,16	1,43	21,99	16,39	1,32	22,24
K4	20,24	1,82	29,03	20,84	1,81	29,64	20,57	1,73	28,93
K5	5,23	0,47	10,62	5,56	0,49	10,05	6,03	0,52	9,91
K5	7,43	0,90	12,42	7,49	0,91	12,56	7,54	0,95	12,76
K6	11,66	1,42	18,89	13,76	1,56	21,40	16,70	1,68	24,98
K7	11,26	0,68	17,85	11,66	0,69	17,23	11,60	0,69	16,33
K7	15,41	1,03	21,16	16,09	1,07	21,84	18,03	1,16	23,94
K8	17,80	1,78	25,16	20,19	1,79	27,69	19,69	1,70	27,11
Gewichtetes Mittel	9,66	0,86	15,79	10,20	0,88	15,80	10,57	0,89	15,80

Wie bei den Staulängen entstehen bei diesem Knotenpunkt zwischen den unterschiedlichen Höchstgeschwindigkeiten nur sehr geringe Unterschiede, was die Standzeiten, Halte und Verlustzeiten betrifft. Aber auch hier sind die Werte für Tempo 50 geringfügig besser als für die anderen Geschwindigkeiten. Der Einfluss der Höchstgeschwindigkeiten ist also gering.

Das Thema der folgenden Tabelle (siehe Tabelle 7) ist der Schadstoffverbrauch bei dem ersten untersuchten Knotenpunkt.

5. Simulation der Knotenpunkte

Es werden hier die Daten für drei Emissionen, nämlich Kohlenstoffmonoxide (CO), Stickoxide (NOx) und Volatile Organic Compounds (VOC) und die Daten für den Kraftstoffverbrauch dargestellt.

Aus der Tabelle geht hervor, dass es durch die Geschwindigkeitsreduzierungen zu einer Verringerung der Emissionen kommt.

Für Tempo 30 ergeben sich an diesem Knotenpunkt Einsparungen von 249,75 g Kohlenstoffmonoxid, 48,59 g Stickoxide und 57,88 g VOC im Vergleich zu Tempo 50. Des Weiteren werden hier 13,54 l Kraftstoff weniger verbraucht.

Tabelle 7: Schadstoffausstöße kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

Schadstoffausstöße				
	EmiCO	EmiNOx	EmiVOC	Kraftstoffverbrauch
	[g]	[g]	[g]	[l]
50 km/h	1239,00	241,06	287,15	67,18
40 km/h	1083,90	210,89	251,21	58,77
30 km/h	989,25	192,47	229,27	53,64
Differenz 50-30	249,75	48,59	57,88	13,54

Wie sich bei der Simulation der kleinen Kreuzung gezeigt hat, ergeben sich hier Unterschiede zwischen den verschiedenen zugelassenen Höchstgeschwindigkeiten. Während es bei den Reisezeiten zu immerhin etwa 5 s Unterschied im Mittel kommt, entstehen für die Staulängen und Verlustzeiten nur sehr geringe Differenzen. Bei der Betrachtung der Schadstoffemissionen kommt es in dieser vereinfachten Untersuchung mit VISSIM zu sehr großen Differenzen. Hierbei entsteht eine deutliche Abstufung zwischen den Höchstgeschwindigkeiten. Für die Simulation mit 30 km/h ergeben sich die besten Werte in allen Kategorien, für Tempo 40 die zweitbesten und für Tempo 50 die schlechtesten.

5. Simulation der Knotenpunkte

Insgesamt lässt sich also feststellen, dass die Geschwindigkeitsunterschiede vor allem Auswirkungen auf die Reisezeiten und die Emissionen haben. Bei den Untersuchungen der Staulängen und der Verlustzeiten lassen sich deutlich geringere Unterschiede feststellen.

5.2 Große Kreuzung mit Lichtsignalanlage

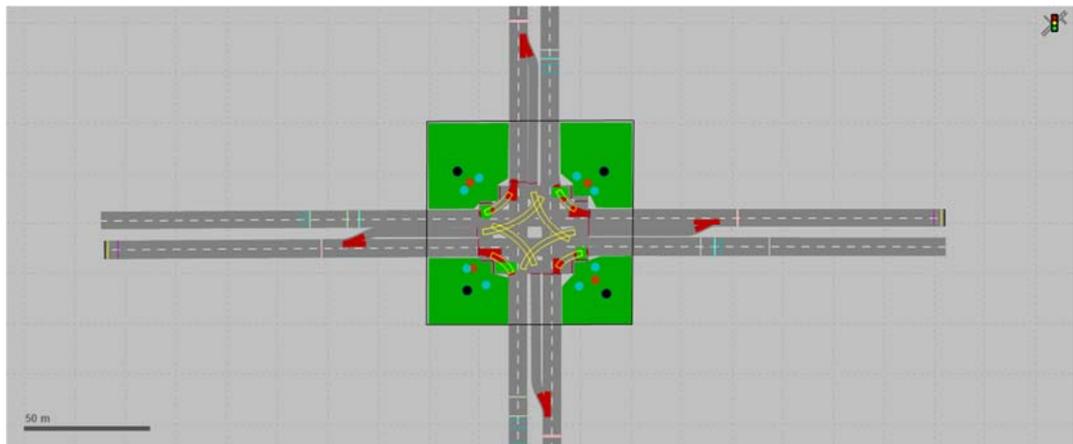


Abbildung 21: Kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

Sollte es zu einer Einführung von Tempo 30 an Hauptverkehrsstraßen kommen, würde dies auch große, mehrspurige Knotenpunkte mit vergleichsweise hohem Verkehrsaufkommen betreffen (siehe Abbildung 21). Daher soll ein solcher Knotenpunkt in diesem Unterpunkt betrachtet werden.

Für die Untersuchung von großen Knotenpunkten wurde hier ein großer vierarmiger Knotenpunkt erstellt. Der Knotenpunkt hat zwei Fahrstreifen für die Geradeausfahrt, wobei ein Fahrstreifen ein Mischfahrstreifen mit Option zum Rechtsabbiegen ist. Außerdem ist ein gesonderter Fahrstreifen zum Linksabbiegen vorhanden. Für diesen Knotenpunkt wurde ein Vier-Phasen-System gewählt. Die Phasenfolge lautet wie folgt:

- 1) Geradeausfahrer und Rechtsabbieger in den Zufahrten Nord und Süd
- 2) Linksabbieger in der Zufahrt Nord und Süd

5. Simulation der Knotenpunkte

- 3) Geradeausfahrer und Rechtsabbieger in den Zufahrten West und Ost
- 4) Linksabbieger in den Zufahrten West und Ost

Die maßgebenden Zwischenzeiten (T_z) bei diesem Knotenpunkt belaufen sich bei Tempo 50 und Tempo 40 auf 21 s. Für Tempo 30 ergibt sich eine T_z von 18 s.

Als Verkehrsstärken für die geradeausfahrenden Fahrzeuge von Norden (K1a und K1b) und von Süden (K5a und K5b) wurden 490 Kfz/h angesetzt und für die rechtsabbiegenden Fahrzeuge 105 Kfz/h. Daraus ergab sich eine Fahrstreifenbelastung für den Mischfahrstreifen und den Geradeausfahrstreifen von jeweils 297,5 Kfz/h. Für die Linksabbiegerstreifen wurde für Norden und Süden eine Belastung von 105 Kfz/h angesetzt.

Für die Verkehrsströme von Osten (K3a und K3b) und von Westen (K7a und K7b) wurden 350 Kfz/h für die geradeausfahrenden Fahrzeuge gewählt und für die Rechtsabbieger 175 Kfz/h. Daher liegt die Belastung pro Fahrstreifen bei 262,5 Kfz/h. Die Fahrstreifen zum Linksabbiegen (K4 und K8) wurden mit einer Belastung von 175 Fahrzeugen belegt. Der Anteil des SV-Verkehrs wurde auf 3 % gesetzt.

Es kommt an diesem Knotenpunkt (siehe Tabelle 8) zu maßgebenden Zwischenzeiten (T_z) von 21 s für die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten von 50 km/h und 40 km/h. Für eine Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h entsteht eine Zwischenzeit von 18 s. Daher ergeben sich hier für Tempo 30 eine längere Grünzeit von insgesamt 3 s, die auf die verschiedenen Phasen verteilt werden kann.

Die wartezeitoptimierte Umlaufzeit (T_U) beläuft sich hier auf 66,42 s für Tempo 50 und Tempo 40. Für Tempo 30 ergibt sich eine T_U von 58,23 s.

Die gewählte Umlaufzeit ($t_{U, \text{gew}}$) wird für dieses Signalprogramm auf 100 s festgelegt.

5. Simulation der Knotenpunkte

Tabelle 8: LSA-Berechnung große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

Nr.	Bez.	$q_{\text{maß}}$	$q_{\text{S,st}}$	SV	f_1	Be z	f_2	Be z	q_s	$q_{\text{maßg}}/q_s$	ggew	$q_{\text{maßg}}/(g \cdot q_s)$
		[Fz/h]	[Pkw/h]	[%]	[-]		[-]		[Fz/h]			
1	K1a	298	2000	3	0,984	SV			1895	0,1573		
2	K1b	297	2000	3	0,984	SV			1969	0,1509		
3	K2	105	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0561		
4	K3a	263	2000	3	0,984	SV			1833	0,1435		
5	K3b	262	2000	3	0,984	SV			1969	0,1331		
6	K4	175	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0936		
7	K5a	298	2000	3	0,984	SV			1895	0,1573		
8	K5b	297	2000	3	0,984	SV			1969	0,1509		
9	K6	105	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0561		
10	K7a	263	2000	3	0,984	SV			1833	0,1435		
11	K7b	262	2000	3	0,984	SV			1969	0,1331		
12	K8	175	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0936		

$q_{\text{maßg}}/q_s$	0,450			$T_{U \text{ gew.}}$	
l	5	T_z	21	T_U	66,42
					50;40
		T_z	18	T_U	58,23
					30
				$T_{U \text{ gew.}}$	100
					100

Es ergeben sich in der folgenden Tabelle (siehe Tabelle 9) für die angenommenen Belastungen für Tempo 50 und Tempo 40 erforderliche Freigabezeiten ($t_{F \text{ erf}}$) für Phase 1 von 15,7 s, für die zweite Phase 5,6 s, für die dritte Phase 14,3 s und für Phase 4 von 9,4 s. Anhand der erforderlichen Freigabezeit und der gewählten Umlaufzeit ließ sich dann die Freigabezeit nach dem Verkehrsflussverhältnis (t_F) bestimmen. Für Phase 1 ergab sich ein t_F von 27,58 s, hier wurde eine Freigabezeit ($t_{F \text{ gew}}$) von 28 s gewählt. Für Phase 2 war das t_F 9,85 s und es wurde eine Freigabezeit von 11 s genommen. Bei der dritten Phase belief sich das t_F

5. Simulation der Knotenpunkte

auf 25,16 s und die gewählte Freigabezeit wurde auf 27 s gesetzt. Für Phase 4 ergab das t_F 16,41 s und gewählt wurde eine Freigabezeit von 16 s.

Tabelle 9: Freigabezeitberechnung große Kreuzung 50km/h (Quelle: eigene Darstellung)

Nr.	Bez.	maßg.	$q_{\text{maßg}}$	m	q_s	t_B	$b_{\text{maßg}}$	g_{gew}	$t_{F \text{ erf.}}$	t_F	$t_F \text{ gew.}$
			[Fz/h]	[Fz]	[Fz/h]	[s/Fz]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]
1	K1a		298	8,3	1895	1,90	0,1573		15,7	27,5849463	28
2	K1b		297	8,3	1969	1,83	0,1509		15,1		
3	K2		105	2,9	1870	1,92	0,0561		5,6	9,84500358	11
4	K3a		263	7,3	1833	1,96	0,1435		14,3	25,1617108	27
5	K3b		262	7,3	1969	1,83	0,1331		13,3		
6	K4		175	4,9	1870	1,92	0,0936		9,4	16,4083393	16
7	K5a		298	8,3	1895	1,90	0,1573		15,7		
8	K5b		297	8,3	1969	1,83	0,1509		15,1		
9	K6		105	2,9	1870	1,92	0,0561		5,6		
10	K7a		263	7,3	1833	1,96	0,1435		14,3		
11	K7b		262	7,3	1969	1,83	0,1331		13,3		
12	K8		175	4,9	1870	1,92	0,0936		9,4		

Die erforderlichen Freigabezeiten für eine zugelassene Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h (siehe Tabelle 10) sind aufgrund der gleichen Belastungen und Umlaufzeit die gleichen wie die bei 50 km/h bzw. 40 km/h. Wegen der verschiedenen Zwischenzeiten verändert sich die Freigabe nach dem Verkehrsflussverhältnis. Bei Phase 1 kommt es hier zu einem t_F von 28,63 s. Gewählt wurde ein Freigabezeit von 28 s. Für die zweite Phase wird ein t_F von 10,22 s berechnet und eine Freigabezeit von 11 s gewählt. Die dritte Phase hat ein t_F von 26,12 s und die gewählte Freigabezeit beläuft sich auf 25 s. Bei Phase 4 ergibt sich ein t_F von 17,03 s. Es wird eine gewählte Freigabezeit von 18 s angesetzt.

5. Simulation der Knotenpunkte

Tabelle 10: Freigabezeitberechnung große Kreuzung 30 km/h (Quelle: eigene Darstellung)

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
			[Fz/h]	[Fz]	[Fz/h]	[s/Fz]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]
1	K1a		298	8,3	1895	1,90	0,1573		15,7	28,6324759	28
2	K1b		297	8,3	1969	1,83	0,1509		15,1		
3	K2		105	2,9	1870	1,92	0,0561		5,6	10,2188645	11
4	K3a		263	7,3	1833	1,96	0,1435		14,3	26,1172188	25
5	K3b		262	7,3	1969	1,83	0,1331		13,3		
6	K4		175	4,9	1870	1,92	0,0936		9,4	17,0314408	18
7	K5a		298	8,3	1895	1,90	0,1573		15,7		
8	K5b		297	8,3	1969	1,83	0,1509		15,1		
9	K6		105	2,9	1870	1,92	0,0561		5,6		
10	K7a		263	7,3	1833	1,96	0,1435		14,3		
11	K7b		262	7,3	1969	1,83	0,1331		13,3		
12	K8		175	4,9	1870	1,92	0,0936		9,4		

Die Tabelle 11 stellt die mittleren Fahrzeugreisezeiten bei einer großen Kreuzung dar. Bei der Untersuchung der mittleren Fahrzeugreisezeiten ergeben sich an diesem Knotenpunkt bei 50 km/h eine minimale Reisezeit von 40,68 s für den Geradeausverkehr aus nördlicher Richtung (K1) und eine maximale Reisezeit von 70,94 s bei den Rechtsabbiegern aus westlicher Richtung (K7). Das gewichtete Mittel der durchschnittlichen Fahrzeugreisezeiten beläuft sich bei der Untersuchung von Tempo 50 auf 49,05 s.

Für die Betrachtung der mittleren Fahrzeugreisezeiten bei einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h ergibt sich ein Minimum von 43,23 s für den Geradeausverkehr aus nördlicher Richtung (K1) und ein Maximum von 73,06 s bei den Rechtsabbiegern aus westlicher Richtung (K7). Das gewichtete Mittel beträgt hier 50,70 s.

Bei Tempo 30 misst man eine minimale mittlere Fahrzeugreisezeit von 52,21 s bei den Geradeausfahrern aus Süden (K5) und eine maximale

5. Simulation der Knotenpunkte

Fahrzeugreisezeit von 72,56 s für die Rechtsabbieger an der östlichen Zufahrt (K7). Das gewichtete Mittel bei 30 km/h beträgt 58,64 s.

Tabelle 11: Mittlere Fahrzeugreisezeit große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

		Mittlere Fahrzeugreisezeit			
		Wegstrecke	50 km/h	40 km/h	30 km/h
		[m]	[s]	[s]	[s]
K1	10: Nord_gerade	150	40,68	43,23	53,71
K1	11: Nord_rechtsab	150	52,72	53,65	63,73
K2	12: Nord_linksab	150	59,95	60,76	70,51
K3	4: Ost_gerade	150	44,41	46,35	56,67
K3	5: Ost_rechtsab	150	59,34	58,56	66,26
K4	6: Ost_linksab	150	53,04	54,44	58,83
K5	7: Sued_gerade	150	41,61	43,62	52,21
K5	8: Sued_rechtsab	150	58,74	59,44	65,10
K6	9: Sued_linksab	150	60,96	61,30	66,86
K7	1: West_gerade	150	45,49	47,99	55,82
K7	2: West_rechtsab	150	70,94	73,06	72,56
K8	3: West_linksab	150	52,17	52,70	59,04
Gewichtetes Mittel			49,05	50,70	58,64

In dieser Simulation entstehen, wie bei der vorherigen Simulation der kleinen Kreuzung, längere Reisezeiten bei Tempo 30 als bei Tempo 50. Die Werte für Tempo 40 liegen in der Regel zwischen 50 km/h und 30 km/h, allerdings deutlich näher an den Werten für Tempo 50. Die Differenz der gewichteten Mittel ergibt hier zwischen 50 km/h und 30 km/h 9,58 s, während die Differenz zwischen 50 km/h und 40 km/h lediglich 1,65 s beträgt. Die minimale Differenz zwischen Tempo 50 und Tempo 30 beträgt 1,62 s und die maximale Differenz 13,04 s. Es lässt sich auch hier erkennen, dass die Ströme für die Geradeausfahrt die größten Unterschiede aufweisen.

Die Tabelle 12 gibt Auskunft über die Staulängen an den Knotenpunkteinfahrten bei der großen Kreuzung.

Bei 50 km/h ergeben sich für die Linksabbieger an der nördlichen Zufahrt (K2) die minimale durchschnittliche Staulänge von 7,74 m und die kleinste maximale Staulänge mit 41,44 m. Des Weiteren kommt es bei dieser Zufahrt zu der geringsten Anzahl von Halten mit 85. Die größte durchschnittliche Staulänge zusammen mit den meisten Halte treten bei der östlichen Richtung (K7) auf. Dort stellt man eine durchschnittliche Staulänge von 24,72 m und 431 Halte fest. Die größte maximale Staulänge tritt bei der östlichen Zufahrt mit 86,54 m auf. Insgesamt kommt es bei Tempo 50 zu 121,48 m durchschnittliche Staulänge und zu 2109 Halten.

Bei der Untersuchung mit Tempo 40 kommt es zu 7,74 m als minimale Staulänge, 43,73 m als kleinste maximale Staulänge und zu 85 Halten in der Linksabbiegerspur der nördlichen Zufahrt. Die östliche Zufahrt (K3) weist bei dieser Untersuchung die längsten durchschnittlichen Staulängen mit 26,04 m auf, die größte maximale Staulänge je Zufahrt mit 96,34 m und mit 452 die meisten Halte.

Bei Tempo 30 gibt es mit 8,83 m die minimalste durchschnittliche Staulänge bei den Linksabbiegern aus Süden (K6). Die kleinste maximale Staulänge und die geringste Anzahl von Halten finden sich bei den Linksabbiegern der nördlichen Zufahrt (K2) mit 54,35 m und 86 Halten. Zu der größten durchschnittlichen Staulänge kommt es bei der westlichen Zufahrt mit 26,37 m. Die größte maximale Staulänge tritt bei der östlichen Zufahrt auf mit 103,00 m. Die maximale Anzahl von Halten ergibt sich bei den Linksabbiegern an der nördlichen Zufahrt mit 465 Halten. Die gesamte durchschnittliche Staulänge bei 30 km/h beläuft sich auf 143,23 m. Insgesamt entstehen 2226 Halte bei Tempo 30.

5. Simulation der Knotenpunkte

Tabelle 12: Staulänge große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

	Staulänge								
	50 km/h			40 km/h			30 km/h		
	Durchsch nitt	Maxi mal	Halte	Durchsc hnitt	Maxi mal	Halte	Durchsc hnitt	Maxi mal	Hal te
	[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]
K1	18,57	76,60	410	19,21	83,29	420	25,20	95,43	465
K2	7,74	41,44	85	7,74	43,73	85	9,08	54,35	86
K3	21,91	86,54	419	21,46	80,73	416	26,35	103,00	448
K4	10,39	68,02	129	10,73	66,59	132	11,56	73,66	125
K5	19,37	82,56	419	19,69	84,40	422	24,10	99,16	450
K6	8,10	44,71	90	8,08	45,89	90	8,83	55,14	89
K7	24,72	86,09	431	26,04	96,34	452	26,37	99,35	435
K8	10,69	61,29	126	10,23	64,20	128	11,74	67,29	128
Gesa mt	121,48		2109	123,19		2145	143,23		222 6

Aus dieser Tabelle lassen sich deutliche Differenzen zwischen Tempo 50 und Tempo 30 ablesen. Im Gegensatz zu der kleinen Kreuzung kommt es hier bei 30 km/h zu deutlich längeren durchschnittlichen und maximalen Staulängen und zu mehr Halten als bei 50 km/h. Die Werte für 40 km/h liegen hierbei wesentlich näher an den Werten für 50 km/h als an denen für 30 km/h. Dies ist interessant, da der Abstand beider Geschwindigkeiten jeweils nur 10 km/h beträgt.

Die folgende Tabelle (siehe Tabelle 13) ist mit dem Titel Verlustzeiten versehen. Hier werden die auftretenden Standzeiten, Halte pro Fahrzeug und die Verlustzeiten für den großen Knotenpunkt aufgeführt.

Bei der Betrachtung der Verlustzeiten ergeben sich für 50 km/h bei dem Geradeausverkehr an der nördlichen Zufahrt die minimalen durchschnittlichen Standzeiten mit 23,49 s, die geringsten Halte mit 0,74 und die geringsten Verlustzeiten mit 30,36 s.

5. Simulation der Knotenpunkte

Die längsten Standzeiten, die meisten Halte und die größten Verlustzeiten treten bei den Rechtsabbiegern aus der westlichen Zufahrt (K7) auf. Dabei belaufen sich die Standzeiten auf 41,93 s, die Halte auf 1,65 und die Verlustzeiten auf 55,55 s.

Es kommt zu einem gewichteten Mittel der Standzeiten von 28,84 s. Das Mittel der Halte beläuft sich auf 0,93 Halte. Für die Verlustzeiten ergibt sich ein gewichtetes Mittel von 36,70 s.

Bei der Befahrung mit Tempo 40 kommt es bei dem Geradeausverkehr aus der nördlichen Zufahrt (K1) zu den geringsten durchschnittlichen Standzeiten mit 24,50 s, den wenigsten Halten mit 0,77 und zu den kürzesten Verlustzeiten mit 30,34 s.

Die größten durchschnittlichen Standzeiten, die meisten Halte und die größten durchschnittlichen Verlustzeiten entstehen bei den Rechtsabbiegern aus westlicher Richtung. Die Standzeiten betragen hier 43,22 s, 1,71 Halte und die Verlustzeiten 56,60 s.

Für die Standzeiten ergibt sich hier ein gewichtetes Mittel von 29,33 s, für die Halte 0,94, und für die Verlustzeiten 36,41 s.

Bei der Untersuchung der Verlustzeiten mit 30 km/h erkennt man die minimalen durchschnittlichen Standzeiten, Halte und Verlustzeiten bei dem Geradeausverkehr aus der südlichen Richtung. Dabei betragen die Standzeiten 30,34 s, die Halte 0,79 und die Verlustzeiten 35,26 s.

Die maximalen durchschnittlichen Standzeiten, die häufigsten Halte und die größten Verlustzeiten kommen bei den Linksabbiegern aus der nördlichen Richtung vor. Hierbei betragen die Standzeiten 46,13 s. Die häufigsten Halte belaufen sich auf 1,43 Halte und die Verlustzeiten ergeben 53,47 s.

Wird das gewichtete Mittel betrachtet, ergeben sich bei der Simulation mit 30 km/h durchschnittliche Standzeiten von 34,64 s, durchschnittliche Halte von 0,93 und durchschnittliche Verlustzeiten von 40,88 s.

5. Simulation der Knotenpunkte

Tabelle 13: Verlustzeiten große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

	Verlustzeiten								
	50 km/h			40 km/h			30 km/h		
	Standzeiten	Haltzeiten	Verlustzeiten	Standzeiten	Haltzeiten	Verlustzeiten	Standzeiten	Haltzeiten	Verlustzeiten
	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]
K1	23,49	0,74	30,36	24,50	0,77	30,34	31,64	0,81	36,72
K1	29,29	1,11	37,11	29,43	1,10	37,04	37,05	1,19	44,56
K2	38,34	0,91	44,70	38,52	0,92	44,55	46,13	0,96	51,89
K3	26,30	0,82	34,10	26,70	0,86	33,50	33,79	0,89	39,72
K3	32,75	1,23	44,01	31,58	1,19	42,15	37,64	1,16	47,17
K4	31,04	0,89	37,61	31,84	0,89	38,09	34,58	0,88	40,09
K5	24,30	0,78	31,31	24,85	0,78	30,76	30,34	0,79	35,26
K5	35,63	1,08	43,23	35,62	1,08	42,87	38,27	1,19	45,93
K6	39,23	0,98	45,84	38,98	0,96	45,20	42,59	0,95	48,33
K7	26,94	0,94	35,17	27,90	0,97	35,12	32,91	0,90	38,85
K7	41,93	1,65	55,55	43,22	1,71	56,60	41,92	1,43	53,47
K8	30,16	0,85	36,46	30,10	0,85	36,07	34,63	0,86	40,03
Gewichtete s Mittel	28,84	0,93	36,70	29,33	0,94	36,41	34,64	0,93	40,88

In der folgenden Tabelle (siehe Tabelle 14) sind drei Emissionsverbräuche und der Kraftstoffverbrauch für die jeweiligen erlaubten Höchstgeschwindigkeiten aufgeführt, die insgesamt am Knotenpunkt auftreten.

In der ersten Spalte sind die Kohlenstoffmonoxide (CO) zu sehen. Die zweite Spalte zeigt die Stickoxide. Die dritte Spalte gibt die Werte für Volatile Organic Compounds (VOC) an. In der letzten Spalte wird der am Knotenpunkt gemessene Kraftstoffverbrauch angegeben.

5. Simulation der Knotenpunkte

Es fällt auf, dass die Schadstoffausstöße mit abnehmender Geschwindigkeit ebenfalls abnehmen. Interessant ist, dass die Differenzen der Tabellenwerte zwischen den Geschwindigkeitsabstufungen nicht linear verlaufen. Während der Unterschied zwischen Tempo 50 und Tempo 40 relativ groß ist, ist die Differenz zwischen Tempo 40 und Tempo 30 im Vergleich relativ niedrig.

Es werden hier durch die Reduzierung der zugelassenen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h an diesem Knotenpunkt Einsparungen von 310,28 g Kohlenstoffmonoxid, 60,37 g Stickoxide und 71,91 g VOC gemessen. Des Weiteren werden hier 16,82 l Kraftstoff weniger verbraucht.

Tabelle 14: Schadstoffausstöße große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

Schadstoffausstöße				
	EmiCO	EmiNOx	EmiVOC	Kraftstoffverbrauch
	[g]	[g]	[g]	[l]
50 km/h	3155,02	613,85	731,21	171,07
40 km/h	2855,23	555,52	661,73	154,81
30 km/h	2844,73	553,48	659,29	154,24

5.3 Kreuzung ohne Lichtsignalanlage

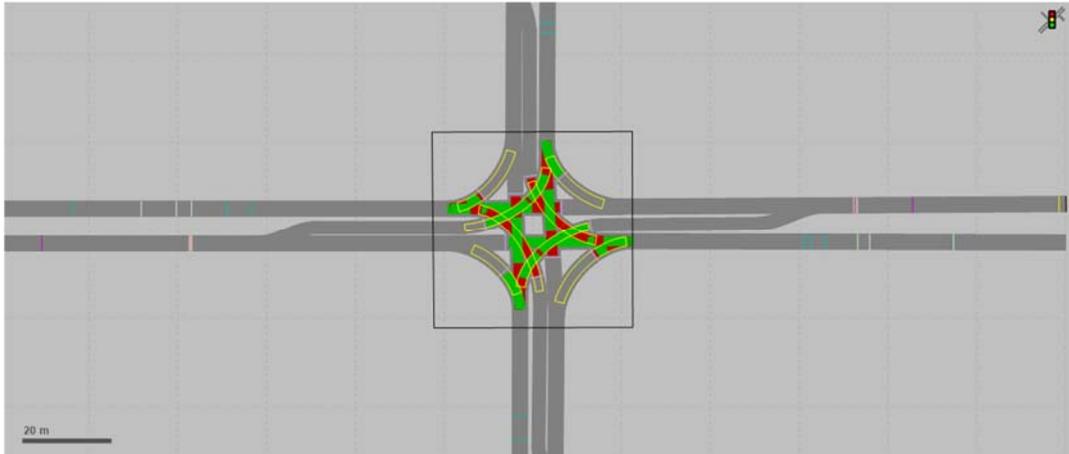


Abbildung 22: Kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

Bei dieser Simulation handelt es sich um eine Kreuzung ohne Lichtsignalanlage. Der Knotenpunkt wurde hier als Vorfahrtsstraße erstellt, wobei die Hauptrichtung (West nach Ost) und die Gegenrichtung (Ost nach West) die bevorrechtigten Zufahrten sind. Wie bei der Simulation der kleinen Kreuzung (siehe Abbildung 22), handelt es sich hier um einen vierarmigen Knotenpunkt. Es führt ein Fahrstreifen zum Knotenpunkt und jede Zufahrt hat einen Linksabbiegerstreifen. Für die Regelung der Vorfahrt wurden hier Konfliktflächen benutzt.

In der Regel wird der Verkehr bei Kreuzungen mit einer erlaubten Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h nicht mit Lichtsignalanlagen geregelt. Durch eine Reduzierung der erlaubten Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h kann es unter Umständen möglich werden, auf Lichtsignalanlagen generell zu verzichten. Hier soll nun überprüft werden, welche Resultate sich bei ansteigender Belastung für die Hauptströme, Hauptrichtung (HR), Gegenrichtung (GR) ergeben. Es wurden hierbei für die niedrige Belastung 300 Kfz/h angenommen, für die mittlere Belastung 500 Kfz/h und für die hohe Belastung 750 Kfz/h. Für die Nebenströme wurde bei den Versuchen ein durchgängiger Wert von 300 Fahrzeugen pro Stunde gewählt.

In der Tabelle 15 werden die mittleren Fahrzeugreisezeiten dargestellt. Es ergeben sich für die wartepflichtigen Verkehrsströme bei 50 km/h mittlere

5. Simulation der Knotenpunkte

Fahrzeugreisezeiten von minimal 25,00 s für den Linksabbiegeverkehr aus nördlicher Richtung und maximal 45,31 s für die Linksabbieger an der südlichen Zufahrt. Das gewichtete Mittel aller Verkehrsströme beträgt hier 22,13 s.

Bei 40 km/h entsteht eine minimale Fahrzeugreisezeit von 28,37 s für die Linksabbieger aus nördlicher Richtung und eine maximale Fahrzeugreisezeit von 56,11 s für Linksabbieger aus Süden. Das gewichtete Mittel beläuft sich auf 26,22 s.

Die mittlere Fahrzeugreisezeit für die wartepflichtigen Verkehrsströme bei 30 km/h ergeben einen Minimalwert von 37,56 s für die Linksabbieger aus nördlicher Richtung und einen Maximalwert von 85,91 s für den Geradeausverkehr aus Norden. Das gewichtete Mittel für die hohen Belastungen beträgt 35,72 s.

Tabelle 15: Mittlere Fahrzeugreisezeit Kreuzung ohne LSA (Quelle: eigene Darstellung)

		Mittlere Fahrzeugreisezeit			
		Wegstrecke	50 km/h	40 km/h	30 km/h
		[m]	[s]	[s]	[s]
K1	4: Nord_gerade	150	40,89	51,72	85,91
K1	11: Nord_rechtsab	150	29,49	37,32	61,61
K2	12: Nord_linksab	150	25,00	28,37	37,56
K3	2: GR_gerade	150	12,49	14,45	18,53
K3	9: GR_rechtsab	150	19,38	20,08	22,45
K4	10: GR_linksab	150	33,47	41,97	51,53
K5	3: Süd_gerade	150	35,36	41,53	70,49
K5	5: Süd_rechtsab_HR	150	27,35	30,59	47,79
K6	6: Süd_linkssab_GR	150	45,31	56,11	55,35
K7	1: HR_gerade	150	13,40	15,66	19,26
K7	8: HR_rechtsab	150	19,08	20,02	22,09
K8	7: HR_linksab	150	34,40	41,40	47,93
Gewichtetes Mittel			22,13	26,22	35,72

5. Simulation der Knotenpunkte

Es lässt sich hier deutlich erkennen, dass es im Gegensatz zu den lichtsignalgeregelten Knotenpunkten bei der Fahrzeugreisezeit zu deutlichen Unterschieden zwischen Tempo 50 und Tempo 30 kommt. Während die Ergebnisse für die Simulation mit 50 km/h und 40 km/h mit einer Differenz von 4,09 s relativ nah beieinander liegen, kommt es im Mittel zwischen 50 km/h und 30 km/h zu einem Unterschied von 13,59 s. Erstaunlicherweise ergeben sich bei den geradeausfahrenden und rechtsabbiegenden Strömen der untergeordneten Verkehrsströme die größten Differenzen.

Die Tabelle 16 beschreibt die Staulängen, die bei der Simulation der Kreuzung ohne Lichtsignalanlage entstanden sind.

Für Tempo 50 ergeben sich für die wartepflichtigen Verkehrsströme im Durchschnitt minimal 0,22 m Staulänge bei den Linksabbiegern an der nördlichen Zufahrt. Maximal beträgt die durchschnittliche Staulänge 7,67 m bei dem Geradeausverkehr der nördlichen Zufahrt. Die Staulängen für alle Zufahrten summieren sich auf 29,70 m.

Die kleinste der maximalen Staulängen bei den untergeordneten Zufahrten beläuft sich auf 15,75 m. Diese kommt bei der nördlichen Zufahrt für die Rechtsabbieger vor.

Die größte maximale Staulänge tritt bei den Rechtsabbiegern an der nördlichen Zufahrt auf und beträgt 77,04 m.

Die kleinste Anzahl an Halten, nämlich 34, für die nicht bevorrechtigten Ströme haben die Linksabbieger aus nördlicher Richtung. Mit 149 Halten kommt die maximale Anzahl an der nördlichen Zufahrt zustande. Insgesamt ergeben sich 761 Halte bei der Simulation mit Tempo 50.

Für Tempo 40 beträgt die minimale Staulänge im Durchschnitt für die untergeordneten Ströme 0,62 m für die Rechtsabbieger aus Norden, und die größte durchschnittliche Staulänge misst 11,93 m für die Linksabbieger an der nördlichen Zufahrt. Es kommt insgesamt zu 29,70 m bei den durchschnittlichen Staulängen.

5. Simulation der Knotenpunkte

Die geringste maximale Staulänge für die untergeordneten Ströme tritt für die Rechtsabbieger an der südlichen Zufahrt auf. Sie beträgt 29,59 m. Die maximale Staulänge ergibt sich für die Linksabbieger an der nördlichen Zufahrt mit 80,14 m.

An der nördlichen Zufahrt auf der Linksabbiegerspur tritt mit 35 Halten die geringste Anzahl von Halten für die untergeordneten Ströme auf. Die meisten Halte entstehen für den Geradeausverkehr aus Norden. Im Durchschnitt kommt es hier zu 180 Halten.

Die minimale durchschnittliche Staulänge für die nicht bevorrechtigten Ströme bei Tempo 30 beläuft sich auf 0,56 m für die nördliche Zufahrt bei Linksabbiegern. Der Maximalwert für die durchschnittlichen Staulängen beträgt 32,80 m für die Zufahrt von Norden. Insgesamt kommt es bei diesem Knotenpunkt im Durchschnitt zu 122,25 m Staulänge.

Die maximalen Staulängen sind bei den Linksabbiegern der nördlichen Zufahrt mit 22,70 m minimal und für die Rechtsabbieger aus Norden mit 104,48 m maximal zu finden.

Bei der Untersuchung mit 30 km/h ergeben sich eine minimale Anzahl an Halten für die untergeordneten Ströme an der nördlichen Zufahrt für die Richtung Linksabbieger mit 37 Halten und eine maximale Anzahl von Halten für die nördliche Zufahrt mit 348 Halten. Insgesamt entstehen hier 1526 Halte.

5. Simulation der Knotenpunkte

Tabelle 16: Staulänge Kreuzung ohne LSA (Quelle: eigene Darstellung)

	Staulänge								
	50 km/h			40 km/h			30 km/h		
	Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte
	[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]
11:									
Nord_rechtsab	4,70	77,04	71	11,93	80,14	115	30,93	104,48	271
3: Nord	7,67	74,50	149	13,94	78,38	180	32,80	101,94	348
8: Nord_linksab	0,22	15,75	34	0,33	17,19	35	0,56	22,70	37
2: GR	0,45	42,36	36	0,27	30,57	32	0,91	60,33	58
10: GR_rechtsab	0,29	41,06	7	0,10	30,43	3	0,62	61,83	15
6: GR_linksab	2,18	41,91	76	3,96	47,35	85	5,71	57,32	98
4: Sued	5,64	67,09	131	7,48	70,36	151	22,11	92,54	269
12:									
Sued_rechtsab	2,59	67,86	61	4,00	73,31	69	18,50	95,86	179
7: Sued_linksab	2,38	25,75	53	3,62	29,59	58	3,56	41,12	61
9: HR_rechtsab	0,43	50,40	11	0,62	60,43	14	0,66	70,88	16
1: HR	0,62	48,87	49	0,96	58,79	64	1,07	69,24	73
5: HR_linksab	2,52	34,72	83	3,83	40,31	95	4,82	55,20	101
Gesamt	29,70		761	51,02		901	122,25		1526

Was sich bei den Reisezeiten für diesen Knotenpunkt bereits gezeigt hat, trifft auch auf die Staulängen zu. Es kommt hier zu gewaltigen Unterschieden zwischen den Höchstgeschwindigkeiten 50 km/h und 30 km/h bei den untergeordneten Strömen, die geradeaus fahren und rechts abbiegen. Für die übergeordneten Ströme, die Hauptrichtung und die Gegenrichtung, entstehen, wie zu erwarten war, sehr geringe durchschnittliche Staulängen und Halte. Es kommt allerdings in Relation zu den durchschnittlichen Staulängen zu hohen maximalen Staulängen, da sich Rückstaus aufgrund von passierenden Fahrzeugen aus den untergeordneten Strömen ergeben können.

5. Simulation der Knotenpunkte

In der folgenden Tabelle (siehe Tabelle 17) werden die Verlustzeiten für die Kreuzung ohne Lichtsignalanlage dargestellt.

Bei der Simulation dieses Knotenpunkts ergibt sich bei Tempo 50 für die untergeordneten Ströme das Minimum an Standzeiten bei den Linksabbiegern aus nördlicher Richtung. Es kommt hier zu den minimalen durchschnittlichen Standzeiten von 3,77 s.

Die längsten Standzeiten treten bei den Linksabbiegern aus der südlichen Zufahrt auf. Dabei kann es zu einer Standzeit von 21,08 s kommen.

Die minimalen Halte pro Fahrzeug mit 0,77 Halten und die geringsten Verlustzeiten mit 1,29 s treten bei den Rechtsabbiegern aus Süden auf.

Die maximalen Halte pro Fahrzeug entstehen bei den Linksabbiegern aus der südlichen Zufahrt und belaufen sich auf 2,74 Halte. Die größten Verlustzeiten haben die untergeordneten Verkehrsströme bei den Linksabbiegern aus Norden.

Für das gewichtete Mittel ergeben sich bei der Simulation mit 50 km/h durchschnittliche Standzeiten von 4,54 s und durchschnittliche Verlustzeiten von 9,20 s. Das gewichtete Mittel der Halte beträgt hier 0,69.

Bei der Betrachtung der Verlustzeiten der untergeordneten Ströme mit 40 km/h erkennt man die minimalen durchschnittlichen Standzeiten beim Linksabbiegerverkehr aus nördlicher Richtung von 5,55 s. Die wenigsten Halte und geringsten Verlustzeiten treten beim Rechtsabbiegerverkehr aus Süden auf. Die Halte belaufen sich auf 0,88 und die Verlustzeiten auf 10,72 s.

Die höchsten durchschnittlichen Standzeiten und die meisten Halte gibt es bei den Linksabbiegern von Süden. Sie betragen 29,40 s für die Standzeiten und im Durchschnitt 3,34 Halte.

Die größten Verlustzeiten von 38,93 s treten allerdings beim Geradeausverkehr aus Norden auf. Es entsteht ein gewichtetes Mittel für die durchschnittlichen Standzeiten von 6,55 s, von 0,85 Halten pro Fahrzeug und für die durchschnittlichen Verlustzeiten von 11,36 s.

5. Simulation der Knotenpunkte

Bei der Simulation kam es für Tempo 30 bei den geradeausfahrenden Fahrzeugen und den Linksabbiegern an der nördlichen Zufahrt zu den geringsten Standzeiten mit 10,21 s.

Die geringsten Halte von 1,51 waren bei dem Rechtsabbiegerstrom aus Süden festzustellen und die kürzesten Verlustzeiten bei den Linksabbiegern aus Norden mit 18,16 s.

Die Maximalwerte der Stand- und Verlustzeiten und Halte traten hier bei dem Geradeausverkehr aus Norden auf. Die Werte betragen 47,01 s für die Standzeiten, 4,20 Halte und 69,47 s für die Verlustzeiten.

Für das gewichtete Mittel ergaben sich 11,14 s durchschnittliche Standzeiten, 1,19 Halte pro Fahrzeug und 17,71 s durchschnittliche Verlustzeiten.

Tabelle 17: Verlustzeiten Kreuzung ohne LSA (Quelle: eigene Darstellung)

	Verlustzeiten								
	50 km/h			40 km/h			30 km/h		
	Standzeiten	Halte	Verlustzeiten	Standzeiten	Halte	Verlustzeiten	Standzeiten	Halte	Verlustzeiten
	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]
4: Nord_gerade	17,34	2,09	30,58	24,48	2,54	38,93	47,01	4,20	69,47
21: Nord_rechtsab	5,65	0,80	11,07	10,57	1,08	18,14	25,16	2,13	40,45
22: Nord_linksab	3,77	1,42	8,47	5,55	1,66	11,02	10,21	2,47	18,16
2: GR_gerade	0,05	0,04	2,20	0,06	0,04	1,61	0,16	0,10	1,87
9: GR_rechtsab	0,05	0,01	1,29	0,02	0,02	1,13	0,03	0,02	1,43
10: GR_linksab	9,74	1,69	16,66	15,60	2,24	24,32	21,75	2,58	31,81
3: Sued_gerade	13,31	1,92	25,09	17,21	2,17	28,74	36,18	3,53	53,97
5: Sued_rechtsab	4,40	0,77	8,26	6,13	0,88	10,72	15,97	1,51	25,96

5. Simulation der Knotenpunkte

6:									
Sued_linkssab	21,08	2,74	28,20	29,40	3,34	38,24	26,95	2,93	35,43
1: HR_gerade	0,15	0,09	3,11	0,31	0,15	2,81	0,27	0,16	2,61
8:									
HR_rechtsab	0,04	0,03	1,41	0,11	0,03	1,46	0,05	0,02	1,49
7: HR_linksab	10,91	1,60	17,22	15,96	2,08	23,41	19,77	2,26	27,99
Gewichtetes									
Mittel	4,54	0,69	9,20	6,55	0,85	11,36	11,14	1,19	17,71

Wie in den vorigen Tabellen für diesen Knotenpunkt lässt sich hier sehen, dass es zwischen Tempo 50 und Tempo 30 zu deutlichen Unterschieden bei den Standzeiten, den Halten und den Verlustzeiten kommt. Im gewichteten Mittel entstehen hier ungefähr doppelt so hohe Werte für Tempo 30. Auch hier liegen die Werte für Tempo 40 deutlich näher an Tempo 50 als an Tempo 30.

In der folgenden Tabelle (siehe Tabelle 18) sind die Emissionsverbräuche für die Kreuzung ohne LSA aufgeführt. Wie auch bei den zu vorigen Knotenpunkten kommt es hier zu einer Abnahme der Schadstoffausstöße je geringer die zulässige Höchstgeschwindigkeit ist.

Für die in der ersten Spalte aufgeführten Kohlenstoffmonoxide (CO) entstehen für Tempo 30 Einsparungen von 242,72 g. Die Stickoxide erfahren bei diesem Knotenpunkt Einsparungen bei Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50 von 47,23 g. Für dritte Spalte ergeben sich Einsparungen von 56,25 g für Volatile Organic Compounds (VOC). Die in der letzten Spalte gezeigten Kraftstoffverbräuche ergeben Einsparungen bei Tempo 30 von 13,16 l.

Tabelle 18: Schadstoffausstöße (Quelle: eigene Darstellung)

Schadstoffausstöße				
	EmiCO	EmiNOx	EmiVOC	Kraftstoffverbrauch
	[g]	[g]	[g]	[l]
50 km/h	1533,18	298,30	355,33	83,13
40 km/h	1301,30	253,19	301,59	70,56
30 km/h	1290,45	251,08	299,07	69,97

6. Simulation des Straßenzugs

In diesem Kapitel soll ein Straßenzug durch die Annahme verschiedener Situationen untersucht werden. Um die Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurde bei den simulierten Straßenzügen immer nur ein Aspekt geändert. Der erste Straßenzug wird hierbei als Referenz für den Vergleich herbeigezogen. Es wird danach untersucht, wie sich die anderen Straßenzüge durch die Änderungen der Parameter verhalten. Die Berechnungen der Knotenpunkte findet sich im Anhang (siehe Anhang Teil 11 bis 18)

Für diese Betrachtung wurde ein 1 km langer Straßenzug mit drei Knotenpunkten erstellt. Die Hauptströme werden von West nach Ost in Hauptrichtung und von Ost nach West in Gegenrichtung geleitet. Entlang dieser Verkehrsströme wird die Straße zweispurig geführt.

Die kreuzenden Ströme erhalten unterschiedlich starke Belastungen, die anhand der baulichen Gegebenheiten, bzw. der Art des Knotenpunkts gewählt wurden.

Der erste Knotenpunkt des Straßenzugs (siehe Abbildung 23) hat eine geringe Belastung an den kreuzenden Knotenpunktarmen. Die Zufahrt aus nördlicher Richtung erhält an diesem Knotenpunkt eine Fahrspur für den Geradeaus- und Rechtsabbiegeverkehr und eine Linksabbiegespur. Die südliche Zufahrt weist eine Geradeausfahrspur und eine

6. Simulation des Straßenzugs

Rechtsabbiegespur auf. Das Linksabbiegen ist hier nicht möglich. Dies hat allerdings nur einen geringen Einfluss auf das Verkehrsnetz, da die Fahrzeuge in dieser Spur den betrachteten Bereich nach dem Abbiegen direkt wieder verlassen würden.

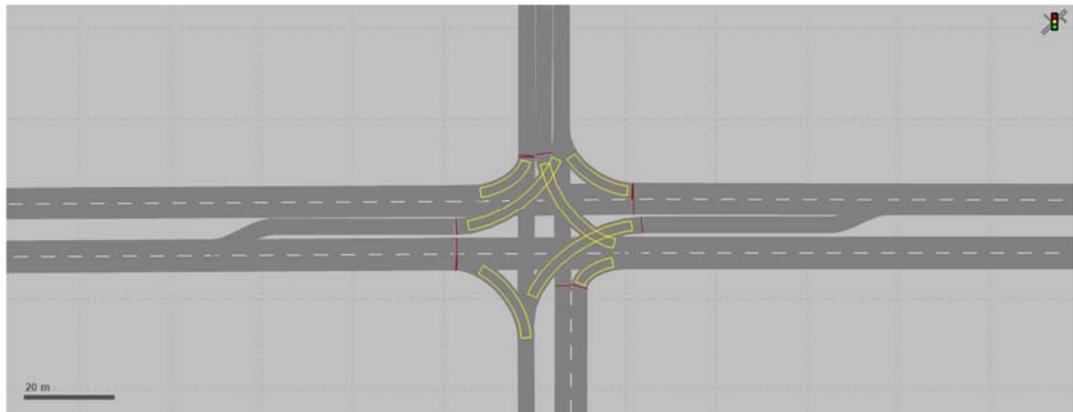


Abbildung 23: Knotenpunkt 1 - Straßenzug (Quelle: eigene Darstellung)

Für den zweiten Knotenpunkt (siehe Abbildung 24) wurde eine große Kreuzung, mit starkem Kreuzungsverkehr gewählt. Sowohl die nördliche als auch die südliche Zufahrt ist zweispurig ausgebaut, und es besteht die Möglichkeit, in jede Richtung abzubiegen.

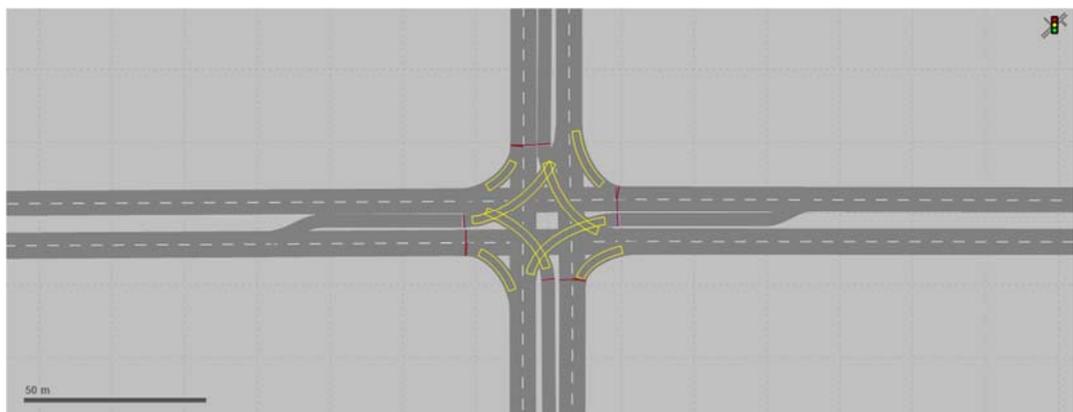


Abbildung 24: Knotenpunkt 2 - Straßenzug (Quelle: eigene Darstellung)

Bei dem dritten Knotenpunkt (siehe Abbildung 25) handelt es sich um eine Einmündung. Die Führung des Rechtsabbiegerverkehrs in Gegenrichtung ist hierbei zweispurig. Es herrscht eine starke Belastung für diese Abbiegung. Für den schwachen Verkehr von Linksabbiegern steht ein Fahrstreifen zur Verfügung.

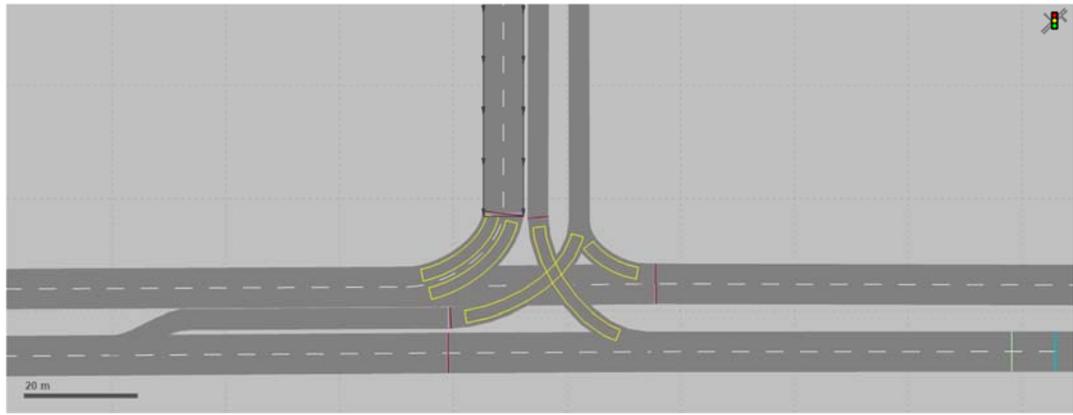


Abbildung 25: Knotenpunkt 3 - Straßenzug (Quelle: eigene Darstellung)

Die Simulation des Straßenzugs wird für vier verschiedene Fälle durchgeführt. Es erfolgt zunächst eine Simulation des Verkehrs für die Hauptverkehrszeit. Danach wird der Straßenzug bei einer erhöhten Belastung durch Schwerverkehr untersucht. Als nächstes erfolgt eine Betrachtung bei einer deutlich niedrigeren Belastung bei Nacht. Zum Schluss wird bei einer Simulation das Verkehrsnetz gestreckt und somit vergrößern sich die Abstände zwischen den Knotenpunkten.

Bei der Untersuchung des Straßenzugs wird vorrangig das komplette Netz betrachtet, im Unterschied zu den Knotenpunkten, an denen die einzelnen Zufahrten und Ströme einzeln erfasst wurden. Für den ersten und zweiten Knotenpunkt wurde ein Vier-Phasen-System gewählt. Der dritte Knotenpunkt ist eine T-Kreuzung, was ein Drei-Phasen-System für Einmündungen sinnvoll macht. Die Fahrzeugbelastungen für die einzelnen Zuflüsse wurden anhand der baulichen Annahmen ausgesucht. Grundsätzlich wird hier der kreuzende Verkehr mit dem größten Verkehrsanteil belegt. Die restlichen Verkehrsanteile wurden möglichst sinnvoll verteilt. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Abbiegerströme mit einem größeren Anteil baulich signifikantere Strecken befahren. Außerdem wurde nur ein geringer Anteil der Fahrzeugbelastung so gewählt, dass es zu wenig sinnvollen Routenentscheidungen kommt, wie zum Beispiel doppeltes Rechtsabbiegen.

6.1 Straßenzug HVZ

Bei der ersten Simulation wird der Straßenzug bei einer Belastung für die Hauptverkehrszeit untersucht. Für die Hauptrichtung wird hierbei eine Belastung von 1000 Kfz/h angesetzt. Die Gegenrichtung wird mit 750 Kfz/h belastet. Die Zufahrten Nord und Süd am Knotenpunkt 1 werden mit jeweils 300 Kfz/h angenommen. Am zweiten Knotenpunkt wird jeweils eine Belastung von 750 Kfz/h für die Zufahrten Nord und Süd gewählt. Der Einbiegeverkehr an Knotenpunkt 3 erhält eine Belastung von 750 Kfz/h.

Die Ergebnisse der Simulation des Straßenzugs bei den Belastungen tagsüber lassen sich in der Tabelle 19 finden. Dort entsteht für eine zulässige Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h eine mittlere Geschwindigkeit im Netz von 20,77 km/h. Im Gegensatz dazu wird bei 40 km/h eine mittlere Geschwindigkeit von 19,16 km/h erreicht. Für eine Begrenzung der Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h beträgt die mittlere Geschwindigkeit 17,35 km/h. Es wird im Netz bei Tempo 30 folglich 3,42 km/h langsamer gefahren als bei Tempo 50. Die gewichteten Reisezeiten belaufen sich auf 104,26 s für Tempo 50, 112,79 s für Tempo 40 und 124,15 s für Tempo 30. Somit entstehen 19,89 s kürzere Reisezeiten für Tempo 50 als für Tempo 30.

Es kommt im getesteten Netz pro Fahrzeug im Durchschnitt zu 1,43 Halten bei 50 km/h, zu 1,47 Halten bei 40 km/h und zu 1,48 Halten bei 30 km/h. Es ergeben sich also 0,05 mehr Halte bei Tempo 30 als bei Tempo 50.

Betrachtet man die mittleren Verlustzeiten im Netz, kommt man auf 59,03 s für 50 km/h, auf 58,64 s für 40 km/h und für 30 km/h ergeben sich 53,93 s. Für Tempo 30 entstehen hier 5,10 s geringere mittlere Verlustzeiten als bei Tempo 50.

Die stehenden Verlustzeiten belaufen sich im Mittel für 50 km/h auf 43,61 s, für 40 km/h auf 45,2 s und für 30 km/h auf 43,84 s. Die Differenz bei den stehenden mittleren Verlustzeiten zwischen Tempo 50 und Tempo 30 beträgt nur 0,23 s.

Tabelle 19: Belastung Straßenzug HVZ (Quelle: eigene Darstellung)

		Belastung HVZ			
		50 km/h	40 km/h	30 km/h	Differenz 50 - 30
Mittlere Geschwindigkeit	[km/h]	20,77	19,16	17,35	3,42
Gewichtete Reisezeit	[s]	104,26	112,79	124,15	-19,89
Mittlere Anzahl der Halte	[St]	1,43	1,47	1,48	-0,05
Mittlere Verlustzeiten	[s]	59,03	58,64	53,93	5,10
Mittlere Verlustzeiten stehend	[s]	43,61	45,22	43,84	-0,23

6.2 Straßenzug Schwerverkehr

In der zweiten Simulation wurde der Anteil des Schwerverkehrs von 5 % auf 10 % erhöht. Die Anzahl der Fahrzeuge, die dem Netz zufließen, bleibt dabei gleich. Mit dieser Simulation soll untersucht werden, ob und wie sich ein höherer Anteil an Schwerverkehr auf die Geschwindigkeitsstufen auswirkt. Insbesondere soll hier überprüft werden, wie sich die mittlere Geschwindigkeit verändert und wie sich die Verlustzeiten durch die von dem Schwerlastverkehr entstehenden Behinderungen verhalten.

Die Tabelle 20 zeigt die Ergebnisse der Simulation mit der höheren Belastung durch den Schwerverkehr. Erwartungsgemäß kommt es durch den Einfluss des Schwerverkehrs zu Verlusten bei der Leistungsfähigkeit.

Es ergibt sich bei dieser Simulation eine mittlere Geschwindigkeit von 19,90 km/h bei 50 km/h zulässiger Höchstgeschwindigkeit, 18,47 km/h bei Tempo 40 und 16,59 km/h bei Tempo 30. Dabei entsteht für 30 km/h eine um 3,30 km/h geringere mittlere Geschwindigkeit als bei 50 km/h.

Die gewichtete Reisezeit bei diesem Straßenzug beläuft sich auf 108,59 s für 50 km/h, 116,70 km/h für 40 km/h und 129,42 für 30 km/h. Die Differenz zwischen Tempo 50 und Tempo 30 beläuft sich auf 20,83 s.

6. Simulation des Straßenzugs

Die Anzahl der mittleren Halte belaufen sich auf 1,54 Halte bei 50 km/h, 1,58 Halte bei 40 km/h und 1,64 Halte bei 30 km/h, also im Durchschnitt ergeben sich 0,10 mehr Halte bei Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50.

Für die mittleren Verlustzeiten ergeben sich 62,59 s bei 50 km/h, 61,91 s bei 40 km/h und 59,78 s bei 30 km/h.

Damit sind das um 2,81 s größere mittlere Verlustzeiten bei Tempo 50 im Vergleich zu Tempo 30.

Die mittleren Verlustzeiten im Stillstand kommen auf 45,44 s für Tempo 50, 47,11 s für Tempo 40 und 47,05 s für Tempo 30.

Es entstehen also um 1,61 s kürzere mittlere Verlustzeiten stehend für 50 km/h bei der Simulation.

Tabelle 20: Belastung Straßenzug Schwerverkehr (Quelle: eigene Darstellung)

		Belastung Schwerverkehr			
		50 km/h	40 km/h	30 km/h	Differenz 50 - 30
Mittlere Geschwindigkeit	[km/h]	19,90	18,47	16,59	3,30
Gewichtete Reisezeit	[s]	108,59	116,70	129,42	-20,83
Mittlere Anzahl der Halte	[St]	1,54	1,58	1,64	-0,10
Mittlere Verlustzeiten	[s]	62,59	61,91	59,78	2,81
Mittlere Verlustzeiten stehend	[s]	45,44	47,11	47,05	-1,61

6.3 Straßenzug Belastung bei Nacht

Geschwindigkeitsreduzierungen werden häufig aus Lärmschutzgründen gefordert. So wird vielerorts zur Verringerung der Lärmbelastungen vor allem bei Nacht die Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h reduziert.

In dieser Simulation soll durch die Reduzierung der Verkehrsbelastungen ein solcher Fall dargestellt werden. Es soll überprüft werden, ob eine

Geschwindigkeitsreduzierung nachts im Hinblick auf den Verkehr sinnhaft ist, oder welche Einschränkungen durch solch eine Maßnahme für den Verkehr entstehen.

Um die nächtlichen Verkehrsstärken zu simulieren, wurde die Menge der Zuflüsse reduziert. Die Anzahl der Fahrzeuge, die in das Netz einfahren, wurde daher für diesen Versuch verringert.

Für diese Simulation wird für die Hauptrichtung eine Belastung von 300 Kfz/h veranschlagt. Bei der Gegenrichtung wird eine Verkehrsstärke von 240 Kfz/h angenommen. Am ersten Knotenpunkt werden die Belastungen für die nördlichen und südlichen Zufahrten jeweils mit 100 Kfz/h angenommen. Am zweiten Knotenpunkt wird für die kreuzenden und einbiegenden Fahrzeuge eine Belastung von jeweils 240 Kfz/h gewählt. Für den Einbiegeverkehr an der dritten Kreuzung werden ebenfalls Belastungen von 240 Kfz/h angenommen.

In der folgenden Tabelle (siehe Tabelle 21) werden die Ergebnisse dargestellt, die für die nächtliche Belastung entstehen.

Für 50 km/h ergibt sich hier eine mittlere Geschwindigkeit von 25,44 km/h, für 40 km/h von 23,57 km/h und für 30 km/h von 21,07 km/h. Im Durchschnitt entsteht hier also zwischen 50 km/h und 30 km/h eine Geschwindigkeitsdifferenz von 4,37 km/h.

Für die gewichteten Reisezeiten ergibt sich hier 84,32 s für eine Geschwindigkeit von 50 km/h, für 40 km/h kommt es zu einer Reisezeit von 90,65 s und für 30 km/h beläuft sich die gewichtete Reisezeit auf 100,94 s. Somit kommt es also zu einer Differenz von 16,62 s.

Bei der Untersuchung der mittleren Halte entstehen für Tempo 50 im Durchschnitt 1,25 Halte, für Tempo 40 entstehen 1,28 Halte und für Tempo 30 ergeben sich 1,32 Halte bei der Durchfahrt durch den Straßenzug. Im Vergleich zu Tempo 50 kommt es bei Tempo 30 also zu 0,07 mehr Halten.

Bei Tempo 50 kommt es zu mittleren Verlustzeiten von 40,46 s. Für Tempo 40 ergeben sich 38,33 s Verlustzeiten. Bei 30 km/h entstehen

6. Simulation des Straßenzugs

Verlustzeiten von 35,40 s. Es ergeben sich bei dieser Simulation also 5,06 s geringere mittlere Verlustzeiten für 30 km/h als bei 50 km/h.

Betrachtet man die mittleren stehenden Verlustzeiten, ergeben sich 28,43 s für 50 km/h, 28,19 s für 40 km/h und 25,88 s für 30 km/h. Die Differenz zwischen Tempo 50 und Tempo 30 beträgt hier also 2,55 s.

Tabelle 21: Belastung Straßenzug Nacht (Quelle: eigene Darstellung)

		Belastung Nacht			
		50 km/h	40 km/h	30 km/h	Differenz 50 - 30
Mittlere Geschwindigkeit	[km/h]	25,44	23,57	21,07	4,37
Gewichtete Reisezeit	[s]	84,32	90,65	100,94	-16,62
Mittlere Anzahl der Halte	[St]	1,25	1,28	1,32	-0,07
Mittlere Verlustzeiten	[s]	40,46	38,33	35,40	5,06
Mittlere Verlustzeiten stehend	[s]	28,43	28,19	25,88	2,55

6.4 Straßenzug lang

Bei dieser Simulation wurde die Strecke des untersuchten Korridors von 1,5 km um etwa 400 m verlängert. Es sollte hierdurch herausgefunden werden, in welchem Maße sich die untersuchten Werte ändern, wenn die Abstände unter den Knotenpunkten verlängert werden. Die folgende Tabelle (siehe Tabelle 22) stellt die Ergebnisse der Simulation für den langen Straßenzug dar.

Es ergeben sich mittlere Geschwindigkeiten von 23,18 km/h für Tempo 50, 21,22 km/h bei Tempo 40 und 17,21 km/h bei Tempo 30. In dieser

6. Simulation des Straßenzugs

Simulation entsteht also für 50 km/h eine 5,97 km/h höhere mittlere Geschwindigkeit als bei 30 km/h.

Die gewichteten Reisezeiten belaufen sich auf 116,26 s für 50 km/h, 126,84 s für 40 km/h und 155,36 s für 30 km/h. Die Differenz zwischen Tempo 30 und Tempo 50 beträgt 39,10 s.

Die mittleren Halte belaufen sich auf 1,45 Halte bei 50 km/h, 1,49 Halte bei 40 km/h und 1,96 Halte bei 30 km/h, also ergeben sich 0,51 mehr Halte bei Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50.

Für die mittleren Verlustzeiten ergeben sich 60,52 s bei Tempo 50, 59,54 s bei Tempo 40 und 70,38s bei Tempo 30. Es kommt zu 9,87 s längeren mittleren Verlustzeiten bei 30 km/h als bei 50 km/h.

Die mittleren stehenden Verlustzeiten belaufen sich auf 44,90 s für Tempo 50, 46,07 s für Tempo 40 und 54,18 s für Tempo 30. Es kommt also zu einer Differenz von 9,28 s zwischen 50 km/h und 30 km/h.

Tabelle 22: Belastung Straßenzug lang (Quelle: eigene Darstellung)

		Belastung lang			
		50 km/h	40 km/h	30 km/h	Differenz 50 - 30
Mittlere Geschwindigkeit	[km/h]	23,18	21,22	17,21	5,97
Gewichtete Reisezeit	[s]	116,26	126,84	155,36	-39,10
Mittlere Anzahl der Halte	[St]	1,45	1,49	1,96	-0,51
Mittlere Verlustzeiten	[s]	60,52	59,54	70,38	-9,87
Mittlere Verlustzeiten stehend	[s]	44,90	46,07	54,18	-9,28

6.5 Straßenzug gesamt

Wie deutlich zu erkennen ist, kam es bei der Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zu einem Rückgang der mittleren

7. Vergleich und Auswertung der Knotenpunkte und der Straßenzüge

Geschwindigkeiten im Netz. Die größte Differenz der mittleren Geschwindigkeit trat in dem getesteten Netz bei der Belastung nachts auf. Anhand dieser Ergebnisse lässt sich schlussfolgern, dass bei großen Belastungen und eng aneinander liegenden Knotenpunkten die erlaubte Höchstgeschwindigkeit wenig Einfluss auf die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten hat. Der Grund hierfür ist einfach. Durch das häufige Abstoppen vor Lichtsignalanlagen und die an den Kreuzungen entstehenden Rückstaus, lassen sich die erlaubten Höchstgeschwindigkeiten kaum ausnutzen und es kommt zu einer generell niedrigeren mittleren Geschwindigkeit.

Besonders auffällig bei der Untersuchung der Straßenzüge war, dass die mittlere Verlustzeit bei drei der simulierten Straßenzüge bei 30 km/h geringer war als bei 50 km/h. Dies steht im Gegensatz zu den Ergebnissen der bisher durchgeführten Simulationen an Knotenpunkten.

7. Vergleich und Auswertung der Knotenpunkte und der Straßenzüge

7.1 Vergleich der Knotenpunkte

Es sollen nun die unterschiedlichen Belastungen, die für die Knotenpunkte angenommen wurden, verglichen werden. Wie bereits erwähnt, wurden für die Knotenpunkte jeweils drei Simulationen mit hohen, mittleren und niedrigen Belastungen durchgeführt. Das Ziel ist es, dadurch abschätzen zu können, wie sich die Untersuchungsparameter, wie z.B. die Reisezeit, bei den jeweiligen zugelassenen Höchstgeschwindigkeiten verhalten und ob im Vergleich zu den anderen Geschwindigkeiten Abweichungen zu erkennen sind. Hierzu sollen vor allem die Mittelwerte, bzw. die Gesamtwerte, der Tabellen betrachtet werden.

Zunächst wird der kleine Knotenpunkt betrachtet. Für den kleinen Knotenpunkt wurden die Fahrzeugbelastungen von 50 % des

Ausgangswerts für die geringe Belastung und 200 % des Ausgangswerts für die hohe Belastung angenommen.

Als nächstes werden die verschiedenen Simulationen für den großen Knotenpunkt verglichen. Für diesen Knotenpunkt wurden, da die Belastungen von den Kraftfahrzeugen bereits zu Anfang höher angenommen wurden als bei dem kleinen Knotenpunkt, eine 50 % Belastung und eine 150 % Belastung gemessen an der ursprünglichen Kraftfahrzeugstärke gewählt.

Zum Schluss werden die Simulationsergebnisse für die Kreuzung ohne Lichtsignalanlage betrachtet. Bei der Simulation des Knotenpunkts ohne Lichtsignalanlage werden die Belastungen nur für die Vorfahrtsstraße, die Haupt- und Gegenrichtung erhöht. Die Belastung für die untergeordneten Ströme wird in allen Simulationen mit 300 Kfz/h angenommen. Die Belastungen für die bevorrechtigten Ströme belaufen sich hierbei für die geringe Belastung auf 500 Kfz/h, bei der mittleren Belastung auf 750 Kfz/h und bei der starken Belastung auf 1000 Kfz/h.

7.1.1 Reisezeit

Zunächst sollen hier nun die Reisezeiten für die verschiedenen Knotenpunkte betrachtet werden. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass sich die Fahrzeugreisezeiten bei einer Geschwindigkeitsreduzierung verlängern. Bei der Durchfahrt durch einen Knotenpunkt lässt sich die theoretisch erlaubte Höchstgeschwindigkeit allerdings nur selten ausschöpfen. Die passierenden Fahrzeuge sind Restriktionen unterworfen, wie den Sperrzeiten, den Anfahrvorgängen mit der Beschleunigungszeit, den Langsamfahrbereichen für den Abbiegerverkehr, und bei teilgesicherten Knotenpunkten muss beim Linksabbiegen auf eine ausreichende Zeitlücke gewartet werden. Die einzige Ausnahme hierbei ist der fliegende Start, bei dem Fahrzeuge nicht aufgrund von Sperrzeiten oder eines Rückstaus vor dem Knotenpunkt abbremsen müssen, sondern ungehindert den Knotenpunkt passieren können. In diesem Fall sind vergleichsweise größere Unterschiede zwischen den unterschiedlichen erlaubten Höchstgeschwindigkeiten

7. Vergleich und Auswertung der Knotenpunkte und der Straßenzüge

möglich. Es soll hier also insgesamt von geringfügig längeren Fahrzeugreisezeiten für Tempo 30 durch die Knotenpunkte ausgegangen werden.

Die in dieser Thesis untersuchten Knotenpunkte zeigen auf, dass es bei der Durchfahrt durch die Knotenpunkte zu größeren Reisezeiten kommt je geringer die zugelassene Höchstgeschwindigkeit ist. Bedenkt man, dass bei freier Fahrt der Zeitunterschied zwischen 30 km/h und 50 km/h gefahrene Geschwindigkeit auf 150 m bereits 7,2 s beträgt, scheinen die gemessenen Reisezeitunterschiede nicht aus der Norm zu fallen.

Betrachtet man die gewichteten Mittel der Fahrzeugreisezeiten für den kleinen Knotenpunkt (siehe Tabelle 23) lässt sich feststellen, dass zwischen der mittleren und der 50-prozentigen Belastung nur wenige Sekunden Unterschied liegen. Bei der 200-prozentigen Belastung steigen die Reisezeiten allerdings um etwa das Doppelte an.

Doch obwohl sich die Reisezeiten zwischen der niedrigen und hohen Belastung des Knotenpunkts deutlich steigern, bleiben die relativen Abstände zwischen den Reisezeiten nahezu unverändert.

Tabelle 23: Mittlere Fahrzeugreisezeiten - kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

Mittlere Fahrzeugreisezeit – kleine Kreuzung			
Belastung	Tempo 50	Tempo 40	Tempo 30
%	[s]	[s]	[s]
50	24,83	26,57	29,12
100	28,98	30,84	34,01
200	60,11	62,84	67,18

Vergleicht man die Reisezeiten, die an dem großen Knotenpunkt für die unterschiedlichen Belastungen auftreten (siehe Tabelle ...), mit denen an der kleinen Kreuzung, so erkennt man, dass in beiden Fällen die Reisezeiten deutlich ansteigen, wenn die Belastung erhöht wird.

7. Vergleich und Auswertung der Knotenpunkte und der Straßenzüge

Interessant ist, dass sich, bei einer Belastung von 150 %, für 40 km/h eine geringere mittlere Reisezeit ergibt als bei 50 km/h.

Tabelle 24: Mittlere Fahrzeugreisezeiten - große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

Mittlere Fahrzeugreisezeit – große Kreuzung			
Belastung	Tempo 50	Tempo 40	Tempo 30
%	[s]	[s]	[s]
50	43,45	45,23	48,31
100	49,05	50,70	58,64
150	65,21	58,67	70,73

Bei der Kreuzung ohne Lichtsignalanlagen zeigt sich deutlich, dass sich bereits durch eine Erhöhung der Belastung um jeweils 250 Kfz/h an den Vorfahrtsstraßen ein steilerer Anstieg der Fahrzeugreisezeiten abzeichnet (siehe Tabelle 25).

Tabelle 25: Mittlere Fahrzeugreisezeiten - Kreuzung ohne LSA (Quelle: eigene Darstellung)

Mittlere Fahrzeugreisezeit – ohne LSA			
Belastung	Tempo 50	Tempo 40	Tempo 30
%	[s]	[s]	[s]
67	17,33	19,34	22,78
100	22,13	26,22	35,72
133	49,34	54,35	63,65

Fazit Reisezeiten

Es lässt sich also festhalten, dass die Reisezeiten an den Knotenpunkten abhängig von den zugelassenen Höchstgeschwindigkeiten sind. Die durchgeführten Simulationen zeigen dies deutlich auf. Mit Ausnahme der starken Belastung am großen Knotenpunkt bei einer zugelassenen

Höchstgeschwindigkeit von 40 km/h, ist überall ein Anstieg der Reisezeiten zu erkennen je kleiner die zugelassene Geschwindigkeit wird.

Interessant bei der Betrachtung der Reisezeiten war, dass die Zeitunterschiede zwischen Tempo 50 und Tempo 30 bei der Erhöhung der Belastungen nicht kleiner wurden. Dies hätte eine mögliche Folge sein können, da durch stärkeren Kfz-Verkehr an den Knotenpunkten generell mit niedrigeren Geschwindigkeiten zu rechnen ist. Daher hätte man erwarten können, dass in diesem Fall die zulässige Höchstgeschwindigkeit weniger Einfluss auf die Reisezeiten haben würde.

7.1.2 Staulängen

Während Geschwindigkeitsreduzierungen einen direkten Einfluss auf Reisezeiten haben, ist grundsätzlich nicht unmittelbar vorauszusehen, ob bzw. wie sich eine Verringerung der Geschwindigkeit auf Staulängen oder die entstehenden Halte an einem Knotenpunkt auswirken könnte. Aufgrund der gewählten Belastung an den Knotenpunkten und der als gleich angenommenen Umlaufzeiten, dürfte es also nicht zu großen Unterschieden zwischen den simulierten Höchstgeschwindigkeiten kommen.

Beginnend mit dem kleinen Knotenpunkt sollen hier nun die Ergebnisse der Simulation für die Staulängen dargestellt werden.

Betrachtet man die folgende Tabelle (siehe Tabelle 26), die die Summe der durchschnittlichen Staulängen und die Summe der auftretenden Halte während der Simulationen aufzeigt, entsteht ein ähnliches Bild wie bei der Betrachtung der mittleren Fahrzeugreisezeiten. Während der Unterschied hier zwischen der 50 % und der 100 % Belastung relativ gering ist, nehmen die Werte deutlich zu, wenn die ursprüngliche Belastung verdoppelt wird.

7. Vergleich und Auswertung der Knotenpunkte und der Straßenzüge

Interessanterweise sinkt bei der Belastung von 200 % die Anzahl der Halte bei Tempo 40, im Vergleich zu Tempo 30 und Tempo 50, obwohl insgesamt die durchschnittliche Staulänge größer bleibt als bei Tempo 50.

Tabelle 26: Staulänge - kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

Staulänge – kleine Kreuzung							
		50 km/h		40 km/h		30 km/h	
Belastung	Durchschnitt	Halte	Durchschnitt	Halte	Durchschnitt	Halte	
%	[m]	[St]	[m]	[St]	[m]	[St]	
50	10,229793	325	10,687218	334	10,406285	330	
100	33,128101	825	34,723884	840	35,979435	854	
200	366,47883	2705	380,658415	2675	385,565578	2704	

Bei den Staulängen für die große Kreuzung (siehe Tabelle 27) werden ähnliche Ergebnisse erzielt wie bei der kleinen Kreuzung. Aufgrund der höheren Belastungen, der höheren Umlaufzeit und damit längeren Sperrzeiten kommt es hier zu längeren Staulängen und mehr Halten. Im Unterschied zu der kleinen Kreuzung entstehen hier allerdings bereits bei der mittleren Belastung deutliche Differenzen zwischen Tempo 50 und Tempo 30. So entstehen für 30 km/h über 20 m längere durchschnittliche Staulängen, während sich bei 40 km/h weniger als 2 m Differenz zeigt.

Tabelle 27: Staulänge - große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

Staulänge – große Kreuzung							
		50 km/h		40 km/h		30 km/h	
Belastung	Durchschnitt	Halte	Durchschnitt	Halte	Durchschnitt	Halte	
%	[m]	[St]	[m]	[St]	[m]	[St]	
50	49,00	909	50,21	924	51,18	929	
100	121,48	2109	123,19	2145	143,23	2226	
150	440,79	5983	284,96	4085	505,20	6761	

Die sich ergebenden Werte für den Knotenpunkt ohne Lichtsignalanlage (siehe Tabelle 28) unterscheiden sich aufgrund der Art der Kreuzung von

7. Vergleich und Auswertung der Knotenpunkte und der Straßenzüge

den anderen Knotenpunkten. Es lässt sich hier klar erkennen, dass die entstehenden Staulängen deutlich kürzer sind als die entstehenden Halte vermuten lassen würden. Wegen der gewählten Vorfahrtsstraße wird es den Hauptströmen ermöglicht, den Knotenpunkt mit nur sehr seltenen Rückstaus zu durchqueren. Dadurch wird der Durchschnitt deutlich verringert. Das häufige Aufrücken der Nebenströme verursacht hier einen starken Anstieg der Halte. Bei einer Erhöhung der Belastungen für die übergeordneten Verkehrsströme steigen die Werte hier überproportional an, obwohl die hohen Belastungen, prozentual gesehen, wesentlich niedriger sind als bei den anderen Kreuzungen.

Tabelle 28: Staulänge - Kreuzung ohne LSA (Quelle: eigene Darstellung)

		Staulänge – ohne LSA					
		50 km/h		40 km/h		30 km/h	
Belastung	Durchschnitt	Halte	Durchschnitt	Halte	Durchschnitt	Halte	
%	[m]	[St]	[m]	[St]	[m]	[St]	
67	5,12	370	6,14	403	7,63	470	
100	29,70	761	51,02	901	122,25	1526	
133	416,39	3067	434,57	3175	493,99	3136	

Fazit Staulängen

Wie zu erwarten war, erhöhen sich die durchschnittliche Staulänge und die Anzahl der Halte bei steigender Belastung deutlich. Bei den lichtsignalgeregelten Knotenpunkten werden bei der 50-prozentigen und bei der 100-prozentigen Belastung die Fahrzeuge in einer Grünphase abgefertigt. Die Unterschiede hierbei treten durch die erhöhten Eintreffzahlen während der Sperrzeiten auf. Bei der Belastung von 150 % bzw. 200 % entstehen dann deutlich größere Staulängen, da die Fahrzeuge nicht mehr in einer Phase den Knotenpunkt passieren können. Für den Knotenpunkt ohne Lichtsignalanlage erhöhen sich die Werte, weil es für die untergeordneten Verkehrsströme immer schwieriger wird, eine ausreichende Zeitlücke zu finden. Es war auch zu erwarten, dass bei

Simulationen mit dem Knotenpunkt ohne Lichtsignalanlage deutlich mehr Halte für die Fahrzeuge entstehen, da den untergeordneten Zufahrten keine Freigabezeit zur Verfügung steht und sie einzeln aufrücken müssen, um auf eine Lücke zu warten.

Bei den lichtsignalgeregelten Knotenpunkten entstehen für die Belastungen von 50 % und 100 % kaum große Unterschiede zwischen den Halten und den durchschnittlichen Staulängen. Bedenkt man, dass ein Kraftfahrzeug in der Regel mit 6 m Länge angenommen wird, sind die entstehenden Differenzen nicht von großer Bedeutung. Es muss allerdings trotzdem angemerkt werden, dass es bei 50 km/h überall zu besseren Ergebnissen kommt als bei 30 km/h. Wesentlich größere Unterschiede ergeben sich bei den starken Belastungen an den Knotenpunkten.

Es war durchaus unerwartet zu sehen, dass bei der Kreuzung ohne Lichtsignalregelung die Staulängen und die Anzahl der Halte bei den niedrigeren Geschwindigkeiten so stark anstiegen. Man hätte eher damit gerechnet, dass es, aufgrund der niedrigeren Geschwindigkeiten, einfacher werden würde, eine geeignete Lücke zum Queren der Kreuzung zu finden.

7.1.3 Verlustzeiten

In den Tabellen mit der Überschrift Verlustzeiten sind die Standzeiten, Halte und Verlustzeiten, die im Durchschnitt bei den Simulationen entstehen, dargestellt. Es soll hier nun untersucht werden, ob die zugelassene Höchstgeschwindigkeit Auswirkungen auf die Ergebnisse hat. Wie bei der vorigen Untersuchung der Staulängen ist hier kein direkter Einfluss erkennbar, den die unterschiedlichen Höchstgeschwindigkeiten auf die Ergebnisse der Simulationen haben könnten.

In der folgenden Tabelle (siehe Tabelle 29) sind die gewichteten Mittel der auftretenden Verlustzeiten bei den verschiedenen Belastungen an der kleinen Kreuzung abgebildet. Es ist deutlich zu sehen, dass die

7. Vergleich und Auswertung der Knotenpunkte und der Straßenzüge

entstehenden Standzeiten, Halte und Verlustzeiten für die unterschiedlichen Geschwindigkeiten sehr nah beieinander liegen. Wie auch in den vorhergehenden Betrachtungen, ändert sich das Verhältnis der verschiedenen Geschwindigkeiten nicht, wenn die Belastungen erhöht werden.

Tabelle 29: Verlustzeiten - kleine Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

Verlustzeiten – kleine Kreuzung									
	50 km/h			40 km/h			30 km/h		
Belastung	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten
%	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]
50	7,13	0,61	11,66	7,47	0,62	11,57	7,34	0,63	11,04
100	9,66	0,86	15,79	10,20	0,88	15,80	10,57	0,89	15,80
200	36,06	1,46	46,91	37,80	1,44	47,78	39,39	1,50	48,86

Wie bei den Ergebnissen der kleinen Kreuzung ergeben sich für diesen Knotenpunkt (siehe Tabelle 30) in der Regel sehr ähnliche Werte zwischen den verschiedenen zugelassenen Höchstgeschwindigkeiten. Bei der mittleren Belastung entstehen allerdings für 30 km/h vergleichsweise höhere Standzeiten als dies bei den anderen Belastungen der Fall ist.

Tabelle 30: Verlustzeiten - große Kreuzung (Quelle: eigene Darstellung)

Verlustzeiten – große Kreuzung									
	50 km/h			40 km/h			30 km/h		
Belastung	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten
%	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]
50	24,88	0,79	31,14	25,43	0,80	31,01	25,89	0,80	30,73
100	28,84	0,93	36,70	29,33	0,94	36,41	34,64	0,93	40,88
150	43,10	1,08	52,88	36,45	1,02	44,38	45,22	1,09	52,89

7. Vergleich und Auswertung der Knotenpunkte und der Straßenzüge

An der Kreuzung ohne Lichtsignalanlage (siehe Tabelle 32) entstehen für die geringen Belastungen ähnliche Werte bei den unterschiedlichen Höchstgeschwindigkeiten. Allerdings steigen die Differenzen zwischen den gewichteten Mittel der Standzeiten, Verlustzeiten und der Halte bereits bei der 100-prozentigen Belastung deutlich an. Die hohen Belastungen bewirken einen weiteren Anstieg der Differenzen.

Tabelle 31: Verlustzeiten - Kreuzung ohne LSA (Quelle: eigene Darstellung)

Verlustzeiten – ohne Lichtsignalanlage									
	50 km/h			40 km/h			30 km/h		
Belastung	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten
%	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]
67	1,36	0,39	4,24	1,72	0,41	4,39	2,07	0,45	4,75
100	4,54	0,69	9,20	6,55	0,85	11,36	11,14	1,19	17,71
133	24,73	1,78	36,57	27,67	1,90	39,61	34,10	1,97	45,64

Es haben sich für die lichtsignalgeregelten Knotenpunkte keine großen Unterschiede zwischen den Höchstgeschwindigkeiten ergeben. In der Regel entstehen zwar etwas höhere Werte für die niedrigeren Geschwindigkeiten, die allerdings zumeist zu vernachlässigen sind.

An der Kreuzung ohne Lichtsignalanlage steigen, trotz der im Vergleich zu den lichtsignalgeregelten Knotenpunkten geringen Erhöhung der Belastungen, die Werte deutlich stärker bei der Simulation mit 30 km/h.

Es zeigt sich deutlich, dass die unterschiedlichen Belastungen zwar Auswirkungen auf den Knotenpunkt haben, beispielsweise in Form von längeren Reisezeiten, größeren Staulängen und größeren Verlustzeiten, allerdings entstehen beim Vergleich der verschiedenen zugelassenen Höchstgeschwindigkeiten keine Abweichungen von dem bei 100 % Belastung entstandenen Trend.

7.2 Vergleich der Straßenzüge

Im Folgenden soll nun betrachtet werden, welche Auswirkungen die unterschiedlichen Situationen, denen der Straßenzug ausgesetzt war, auf die verschiedenen zugelassenen Höchstgeschwindigkeiten haben. Im Gegensatz zu den Knotenpunkten kann hier untersucht werden, wie sich die zugelassene Höchstgeschwindigkeit auf einen Korridor mit mehreren Abstopp- und Anfahrvorgängen auswirkt. Dazu werden hier die Ergebnisse der Simulationen, wie zuvor für die Knotenpunkte, je nach Kategorie betrachtet und verglichen.

7.2.1 Mittlere Geschwindigkeit

Die mittlere Geschwindigkeit ist, neben den Reisezeiten und den Verlustzeiten, einer der am häufigsten diskutierten Streitpunkte in den Untersuchungen zu Tempo 30.

In der Regel kann davon ausgegangen werden, dass es durch eine Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit zu einer Reduktion der mittleren Geschwindigkeit im Netz kommt. Da diese Knotenpunkte allerdings nicht in freier Fahrt durchfahren werden können, sondern als Hindernisse Lichtsignalanlagen auftreten, die die mittlere Geschwindigkeit merklich verringern können, werden hier deutlich geringere Differenzen erwartet als die erlaubten Höchstgeschwindigkeiten vermuten lassen könnten. Wie groß diese Unterschiede bei den durchgeführten Simulationen sind und zu welchen Abweichungen es in den verschiedenen betrachteten Fällen kommt, soll nun aufgezeigt werden.

Wie in der folgenden Tabelle (siehe Tabelle 32) zu erkennen ist, treten die geringsten Differenzen zwischen Tempo 50 und Tempo 30 an dem Straßenzug mit der Belastung des Schwerverkehrs auf. Die größten Differenzen entstehen beim langen Straßenzug. Unter den Straßenzügen, die mit der Länge von einem Kilometer simuliert wurden, ergibt sich der

größte Unterschied zwischen 50 km/h und 30 km/h bei dem Straßenzug mit der geringen nächtlichen Belastung.

Klar erkennbar ist also, dass es bei den Simulationen mit den größten Belastungen zu den geringsten Unterschieden zwischen den mittleren Geschwindigkeiten kommt. Es lässt sich daraus ableiten, dass die Unterschiede zwischen den verschiedenen zugelassenen Höchstgeschwindigkeiten am geringsten sind, wenn die Belastungen am höchsten sind, und die Unterschiede am größten, je geringer die Belastungen sind. Des Weiteren spielt die Länge der Abstände zwischen den Knotenpunkten eine große Rolle für die mittlere Geschwindigkeit. Durch eine nur geringfügige Verlängerung der Abstände zwischen den Knotenpunkten ergeben sich die für diese Simulationsreihe größten Differenzen zwischen 50 km/h und 30 km/h.

Tabelle 32: Mittlere Geschwindigkeit - Straßenzüge (Quelle: eigene Darstellung)

		Mittlere Geschwindigkeit			
		50 km/h	40 km/h	30 km/h	Differenz 50 - 30
Belastung Tag	[km/h]	20,77	19,16	17,35	3,42
Belastung Nacht	[km/h]	25,44	23,57	21,07	4,37
Belastung Schwerverkehr	[km/h]	19,90	18,47	16,59	3,30
Belastung lang	[km/h]	23,18	21,22	17,21	5,97

7.2.2 Mittlere Reisezeiten

Nun sollen die mittleren Reisezeiten der Straßenzüge betrachtet werden (siehe Tabelle 33). Man könnte sich hier davon ausgehen, dass es bei 50 km/h zu den kürzesten Reisezeiten kommt. Aufgrund der eng aneinander liegenden Knotenpunkte wird allerdings die zulässige Höchstgeschwindigkeit nicht immer ausgenutzt werden können.

7. Vergleich und Auswertung der Knotenpunkte und der Straßenzüge

Betrachtet man die Ergebnisse der mittleren Reisezeiten, lässt sich allerdings feststellen, dass es für ein derart kurzes Untersuchungsnetz zu großen Unterschieden zwischen den einzelnen erlaubten Höchstgeschwindigkeiten kommt. In den zu Beginn aufgeführten bisherigen Untersuchungen des ADACs wird von 25 % längeren Reisezeiten ausgegangen. In dieser Tabelle treten Unterschiede zwischen 16,62 s für die nächtliche Belastung und 39,10 s für den langen Straßenzug auf. Es ist auffällig, dass der Straßenzug für die nächtliche Belastung die geringsten Differenzen bei den Reisezeiten erzielt, dieser aber gleichzeitig die zweitgrößten Differenzen bei den mittleren Geschwindigkeiten aufweist. Des Weiteren ist bei dieser Untersuchung zu bemerken, dass die Differenzen sowohl bei der Belastung zu der Hauptverkehrszeit als auch beim langen Straßenzug stark zunehmen. Grundsätzlich ist es logisch, dass die Differenzen bei den Reisezeiten zunehmen je größer die Abstände zwischen den Knotenpunkten werden. Allerdings war nicht davon auszugehen, dass sich die Reisezeit für Tempo 30 derart erhöhen würde.

Insgesamt kann man sagen, dass es sehr erstaunlich ist zu sehen, wie sich in diesem relativ kleinen Netz, mit drei Knotenpunkten als Widerständen, so hohe Differenzen zwischen den Reisezeiten ergeben.

Tabelle 33: Mittlere Reisezeiten - Straßenzüge (Quelle: eigene Darstellung)

		Mittlere Reisezeiten			
		50 km/h	40 km/h	30 km/h	Differenz 50 - 30
Belastung HVZ	[s]	104,26	112,79	124,15	-19,89
Belastung Nacht	[s]	84,32	90,65	100,94	-16,62
Belastung Schwerverkehr	[s]	108,59	116,70	129,42	-20,83
Belastung lang	[s]	116,26	126,84	155,36	-39,10

7.2.3 Mittlere Anzahl von Halten

Es soll nun noch betrachtet werden, welche Rolle die erlaubte Höchstgeschwindigkeit in den verschiedenen Fällen bei der Anzahl der

Halte spielt. Auf den ersten Blick ist bei dieser Untersuchung kein direkter Zusammenhang mit der Höchstgeschwindigkeit erkennbar. Deshalb wird überprüft, ob ein indirekter Zusammenhang besteht. Es wird erwartet, dass sich keine großen Unterschiede bei den Halten ergeben. Vergleicht man nun die Ergebnisse für die Halte (siehe Tabelle 34) lässt sich feststellen, dass es tatsächlich nur zu sehr geringen Unterschieden bei den Halten kommt. Erstaunlicherweise entstehen die größten Differenzen bei dem langen Straßenzug und die kleinsten Differenzen an dem Straßenzug mit der Belastung für die Hauptverkehrszeit, obwohl beide die gleichen Fahrzeugbelastungen haben. Es kann also gefolgert werden, dass die zulässige Höchstgeschwindigkeit, wie auch zuvor bei der Betrachtung der Knotenpunkte, wenig Einfluss auf die Anzahl der Halte hat. Allerdings ist es interessant zu sehen, dass die Halte zunehmen, je geringer die erlaubte Geschwindigkeit ist.

Tabelle 34: Mittlere Anzahl der Halte - Straßenzüge (Quelle: eigene Darstellung)

		Mittlere Anzahl der Halte			
		50 km/h	40 km/h	30 km/h	Differenz 50 - 30
Belastung Tag	[St]	1,43	1,47	1,48	-0,05
Belastung Nacht	[St]	1,25	1,28	1,32	-0,07
Belastung Schwerverkehr	[St]	1,54	1,58	1,64	-0,10
Belastung lang	[St]	1,45	1,49	1,96	-0,51

7.2.4 Mittlere Verlustzeiten/Mittlere Verlustzeiten stehend

Im Folgenden sollen nun die stehenden und die gesamten Verlustzeiten analysiert werden, die sich im Mittel in diesen Simulationen ergeben (siehe Tabelle 35). Auffällig ist hier, dass, im Gegensatz zu den vorherigen Ergebnissen bei den Knotenpunkten, beinahe alle Verlustzeiten auf den 1 km langen Straßenzügen für Tempo 30 geringer sind. Lediglich der lange Straßenzug hat größere Verlustzeiten für Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50.

Tabelle 35: Mittlere Verlustzeiten - Straßenzüge (Quelle: eigene Darstellung)

		Mittlere Verlustzeiten			
		50 km/h	40 km/h	30 km/h	Differenz 50 - 30
Belastung Tag	[s]	59,03	58,64	53,93	5,10
Belastung Nacht	[s]	40,46	38,33	35,40	5,06
Belastung Schwerverkehr	[s]	62,59	61,91	59,78	2,81
Belastung lang	[s]	60,52	59,54	70,38	-9,87

In der folgenden Tabelle (siehe Tabelle 36) sind die mittleren Verlustzeiten aufgezeichnet, die im Stillstand für die simulierten Straßenzüge entstehen. Hierbei ist von Interesse, dass, im Gegensatz zu den gesamten Verlustzeiten, die stehenden Verlustzeiten in den meisten Fällen für 50 km/h kürzer sind als die bei 30 km/h. Nur bei der Simulation der nächtlichen Belastungen ergeben sich längere Verlustzeiten als bei Tempo 30.

Tabelle 36: Mittlere Verlustzeiten stehend - Straßenzüge (Quelle: eigene Darstellung)

		Mittlere Verlustzeiten stehend			
		50 km/h	40 km/h	30 km/h	Differenz 50 - 30
Belastung Tag	[s]	43,61	45,22	43,84	-0,23
Belastung Nacht	[s]	28,43	28,19	25,88	2,55
Belastung Schwerverkehr	[s]	45,44	47,11	47,05	-1,61
Belastung lang	[s]	44,90	46,07	54,18	-9,28

7.2.5 Fazit Straßenzüge

Bei den Auswertungen der Simulationen für den Straßenzug hat sich gezeigt, dass bei den Reisezeiten und den Fahrzeiten große Unterschiede zwischen Tempo 50 und Tempo 30 auftreten. Auch für die Halte und die stehenden Verlustzeiten kommt es bei Tempo 50 zu besseren Werten als bei Tempo 30. Gleichzeitig ließen sich aber für die Simulationen bei dem 1

km langen Straßenzug etwas bessere Ergebnisse für die Verlustzeiten ermitteln. Insgesamt können allerdings bei diesen Simulationen kaum positive Werte für Tempo 30 nachgewiesen werden.

7.3 Diskussion und Vergleich mit bestehenden Studien

In diesem Kapitel sollen nun die in dieser Arbeit ermittelten Ergebnisse mit denen aus bisherigen Untersuchungen verglichen und diskutiert werden. Für diese Thesis wurden Simulationen mit dem Simulationsprogramm PTV VISSIM angefertigt, um mithilfe dieses Programms präzise und reproduzierbare Ergebnisse zu ermöglichen.

Es soll begonnen werden mit den Ergebnissen zu der Belastbarkeit von Strecken aus Kapitel 4, wo untersucht wird, wie sich Strecken mit und ohne Einschränkungen durch Lichtsignalanlagen bei den verschiedenen Höchstgeschwindigkeiten verhalten. Mit den dort durchgeführten Simulationen sollte ein Blick auf die Leistungsfähigkeit und die Sättigungsstärke der unterschiedlichen Geschwindigkeiten geworfen werden. Die hierbei von PTV VISSIM ausgegebenen Werte zeigen, dass es zu deutlichen Unterschieden zwischen den erlaubten Höchstgeschwindigkeiten von 50 km/h und 30 km/h kommt. Dies steht im Widerspruch zu den in Kapitel 2 betrachteten Untersuchungen des Umweltbundesamtes, die von einer gleichen Sättigungsverkehrsstärke und von keiner oder nur von einer kleinen Abnahme der Leistungsfähigkeit bei Tempo 30 sprechen. Anhand dieser Simulation lässt sich zwar kein allgemein gültiges Ergebnis ablesen, es ist allerdings zweifellos der Trend zu erkennen, dass bei der Simulation mit VISSIM die Versuchsstrecken bei 30 km/h deutlich schneller gesättigt waren als dies bei 40 km/h und 50 km/h der Fall war.

Als nächstes sollen die Reisezeiten betrachtet werden. Es wird hier mit den Reisezeiten für die Knotenpunkte begonnen. Die dort für die Reisezeiten gemessenen Werte zeigen, dass, trotz der relativ kurzen gemessenen Fahrstrecke von 150 m und des durch den Knotenpunkt

verursachten Widerstands, deutlich größere Differenzen zwischen den erlaubten Höchstgeschwindigkeiten von 50 km/h und 30 km/h entstanden sind als man zunächst vermuten konnte. Die entstehenden Reisezeiten bei den Knotenpunkten lassen sich nicht direkt mit den bisherigen Untersuchungen vergleichen, da diese die Fahrzeiten für einen Straßenzug betrachten, doch es lässt sich auch hier durchaus schon eine Trend erkennen. Im Hinblick auf die Reisezeiten, die für die Straßenzüge entstehen, zeigte sich, dass der Trend, der sich bei den Knotenpunkten abzeichnete, bestätigt werden konnte. Damit liegen wir bei den Straßenzügen hiermit ungefähr im vom ADAC angenommenen Spektrum von 25 % längeren Reisezeiten für Tempo 30.

In dieser Thesis werden außerdem noch die Fahrgeschwindigkeiten für die Straßenzüge betrachtet. Dies ist ein weiterer häufig auftretender Streitpunkt bei der Diskussion um Tempo 30. Dabei zeigen die Ergebnisse der Simulationen, dass obwohl die theoretischen Höchstgeschwindigkeiten aufgrund der geringen Abstände zwischen den Knotenpunkten nicht ausgenutzt werden können, dennoch merkliche Unterschiede entstehen. Die Differenzen der Ergebnisse der Simulationen liegen für das 1 km lange Netz leicht unter denen, die aus den vom Umweltbundesamt unternommenen Messungen hervorgingen. Dies lässt sich allerdings auf die geringen Abstände zwischen den Knotenpunkten bei den Simulationen zurückführen. Durch eine geringfügige Verlängerung des Straßenzugs haben sich die Differenzen in den Fahrgeschwindigkeiten deutlich vergrößert. Es konnten somit für den langen Straßenzug ähnliche Ergebnisse wie bei den Messungen des Umweltbundesamtes ermittelt werden.

Insgesamt kann anhand der Simulationen also die Aussage getroffen werden, dass es in der Tat zu Geschwindigkeitsunterschieden kommt. Dieses Ergebnis war zu erwarten, ein anderes wäre nicht unbedingt plausibel gewesen. Allerdings hängt die Höhe dieser Differenzen von den Belastungen der Straße und den Abständen zwischen den Knotenpunkten ab. Es muss also bei der Frage, ob eine Geschwindigkeitsreduzierung an Hauptstraßen eingeführt werden soll, immer situationsbedingt entschieden

werden. Denn je nach Belastung der Straße oder Abstand der Knotenpunkte kann man, auch durch die nachgewiesenen Geschwindigkeitsunterschiede, den gewünschten Effekt der Hauptstraßen, den Verkehr zügig durchzuschleusen, konterkarieren.

Des Weiteren werden in dieser Arbeit die Staulängen und Verlustzeiten betrachtet. Mithilfe der dort erlangten Ergebnisse sollte die Verkehrsqualität indirekt ermittelt werden. In den bisherigen Untersuchungen wird von Tempo 30 Gegnern häufig die Befürchtung geäußert, dass es durch eine Geschwindigkeitsreduzierung an Hauptstraßen zu größeren Staulängen und Pulkbildungen kommt, die zu größeren Verlustzeiten führen würden. Für die Knotenpunkte steigen die Differenzen zwischen den Staulängen bei den Simulationen für Tempo 50 und Tempo 30 tatsächlich immer weiter an, je größer die Belastungen werden. Für die große Kreuzung erhöhen sich die Differenzen bereits bei einer mittleren Belastung deutlich. Einerseits decken sich diese Ergebnisse mit den in Kapitel 4 ermittelten Daten, die eine Verringerung der Leistungsfähigkeit bei einer Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h aufzeigen, andererseits wäre zu erwarten gewesen, dass sich die Staulängen im gleichen Verhältnis vergrößern oder sogar relativ zu den anderen Geschwindigkeiten sinken, da die Abflüsse an den Zufahrten nicht mehr in einer Grünphase abgewickelt werden können und somit die theoretisch erlaubte Höchstgeschwindigkeit belanglos sein sollte. Bei dem nicht lichtsignalgeregelten Knotenpunkt wurde dieser Effekt erstaunlicherweise ebenfalls beobachtet. Die Geschwindigkeitsreduzierung hätte sich dort, wenn schon nicht positiv, zumindest neutral auf die Rückstaus an den untergeordneten Strömen auswirken müssen.

Bei den Verlustzeiten bzw. Standzeiten an Knotenpunkten hat sich hingegen gezeigt, dass es dort in der Regel nur zu sehr geringen Differenzen zwischen den verschiedenen Höchstgeschwindigkeiten kommt. Die Unterschiede betragen dort häufig nur 1-3 s. Es muss jedoch angemerkt werden, dass, so klein die Unterschiede auch sein mögen, in

der Regel für Tempo 50 bessere Ergebnisse nachgewiesen werden können als für Tempo 30.

Bei den Straßenzügen hat sich allerdings ein etwas anderes Bild präsentiert. Dort brachten zwar die stehenden Verlustzeiten ein ähnliches Resultat wie bei den Knotenpunkten, doch bei den gesamten Verlustzeiten entstanden bessere Ergebnisse für die Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h.

Die Aussagen der Tempo 30 Gegner lassen sich also durch die Ergebnisse aus diesem Teil der Untersuchungen nicht belegen.

Zusammenfassend kann noch einmal festgehalten werden, dass bestehende Untersuchungen durch diese Arbeit ergänzt werden, da durch die angefertigten Simulationen verschiedene Streitpunkte der Tempo 30 Befürworter und deren Gegner aufgegriffen und nachgewiesen werden konnte, welche ihrer Aussagen auf Basis des Simulationsprogramms eher zutreffen.

Dabei befassen sich die in dieser Thesis angefertigten Simulationen hauptsächlich mit Versuchen, die für den Verkehrsfluss wichtig sind. Außerdem wird eine vereinfachte Untersuchung zu den Schadstoffemissionen durchgeführt. Weitere Forschungsfelder, wie die Sicherheit und der Verkehrslärm, werden in Kapitel 2 angesprochen, jedoch konnten diese aufgrund der Limitationen des Simulationsprogramms und des Umfangs der Arbeit nicht weiter behandelt werden.

Für weitere Forschungen in diesem Bereich wäre es angebracht, Simulationen von realen Straßenzügen durchzuführen, an denen eine Reduzierung der Höchstgeschwindigkeit vorgesehen ist. Dadurch könnten die Ergebnisse der Simulationen direkt mit den empirischen Daten der Messungen vor und nach der Geschwindigkeitsreduzierung verglichen werden und diese auf mögliche Unterschiede getestet werden.

Dabei sollte allerdings darauf gewartet werden, dass die Berechnungsmethodik von Lichtsignalanlagen für Geschwindigkeiten unter 50 km/h in einem Regelwerk veröffentlicht wird. Ein solches

Vorhaben wurde bereits im Dezember 2016 vom BMVI veranlasst. Das Forschungsvorhaben mit dem Titel „Nachweis der Auswirkungen von Tempo 30 auf die LSA-Steuerung und Kapazität“ wird, aller Voraussicht nach, im Juni 2018 beendet sein.

8. Fazit

In dieser Thesis wurde der Frage nachgegangen, ob sich Tempo 30 im Vergleich zu der üblichen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h als Regelgeschwindigkeit auf Hauptstraßen im Hinblick auf die Verkehrsqualität eignet. Um dies zu ermitteln, wurde versucht, durch die Simulation verschiedener Fälle Einblick in diese Problematik zu gewinnen. Die Erkenntnisse können für die weiteren Diskussionen zu diesem Thema hilfreich sein. Denn obwohl es viele ausführliche Studien zu den vermuteten und oft auch erwünschten Vorteilen einer Temporeduzierung, auch an Hauptstraßen, unter Umweltaspekten wie Lärmbelastung und Schadstoffemissionen gibt, sind nur wenige Untersuchungen zu den in dieser Thesis abgehandelten Gesichtspunkten vorhanden. Das liegt mit daran, dass, außer Stress, keine gesundheitlichen Gefahren, sondern eher Sicherheit durch Tempo 30 zu erwarten sind und die wirtschaftlichen Folgen bisher nicht als gravierend eingestuft wurden. Dennoch werden die in dieser Thesis behandelten Gebiete für die Verkehrsplanung in Stadt und Land eine Rolle spielen. In den Diskussionen der betroffenen Bevölkerung sind die Fragen der Verkehrsqualität, wenn auch nicht auf wissenschaftlichem Niveau, auf jeden Fall präsent.

Anhand der in dieser Arbeit erlangten Ergebnisse ließen sich auch Aussagen bisheriger Studien, u.a. die vom Umweltbundesamt und vom ADAC veranlassten, bestätigen oder anfechten.

Zusammenfassend ließen die Ergebnisse der Simulationen erkennen, dass es bei einer Geschwindigkeitsreduktion zu einer Verringerung der Sättigungsverkehrsstärke kommt und somit die Leistungsfähigkeit abnimmt. Des Weiteren wurden längere Reisezeiten und geringere Fahrgeschwindigkeiten bei den Simulationen ermittelt. Bei der

Untersuchung der Staulängen wurden ebenfalls, wenn auch größtenteils geringfügige, Steigerungen der Staulängen bei Tempo 30 im Vergleich zu Tempo 50 festgestellt. Auch bei den Knotenpunkten ergab sich eine, in den meisten Fällen leichte, Erhöhung der Stand- und Verlustzeiten.

Lediglich bei der Untersuchung der mittleren Verlustzeiten bei Straßenzügen kam es, mit Ausnahme des langen Straßenzuges, zu besseren Ergebnissen bei Tempo 30, während bei den stehenden Verlustzeiten schlechtere Werte für Tempo 30 beobachtet wurden.

Bei den Emissionen, die sich mithilfe des Simulationsprogramms ermitteln ließen, konnte man deutliche Einsparungen für die Höchstgeschwindigkeit von 30 km/h feststellen.

In Bezug auf die Frage, ob sich eine Geschwindigkeitsreduzierung auf 30 km/h für Hauptstraßen eignet, kann man nach der Betrachtung der Simulationen festhalten, dass dies zwar grundsätzlich möglich ist, allerdings lassen sich nur wenige Vorteile für eine solche Maßnahme, unter den in dieser Arbeit berücksichtigten Aspekten, finden. In den durchgeführten Simulationen wurden in der Regel bestenfalls geringe Unterschiede zugunsten von Tempo 30 festgestellt. Insgesamt überwiegen die Nachteile im Hinblick auf die Verkehrsqualität. Die entstandenen Einsparungen an Emissionen bei einer Temporeduzierung, die in den Simulationen signifikant erscheinen, können nicht bewertet werden, weil die Vergleichbarkeit der Messungen mit den anderen Studien nicht gegeben ist. Sie wären Gegenstand von weiteren Untersuchungen.

Im Unterschied zu anderen, teilweise empirischen, Untersuchungen wurde in dieser Thesis mit fiktiven Knotenpunkten gearbeitet, so dass der Autor auf die Ergebnisse des Signalprogramms angewiesen war. Das bald erscheinende Regelwerk für die Bemessungstechnik von Lichtsignalanlagen wird weitere Forschungen ermöglichen, die dann in die Praxis der Verkehrsplanung einfließen werden.

9. Schlusswort

Solange man, wie der ADAC und viele Autofahrer, die Reisezeit als einen wichtigen Faktor für die Attraktivität des Hauptstraßennetzes ansieht, und Geschwindigkeitsreduzierungen als Eingriff in die persönliche Freiheit, muss weiterhin damit gerechnet werden, dass Tempo-30-Limits gar nicht oder nur unzureichend eingehalten werden. Bewegen sich die erreichten Absenkungen der mittleren Geschwindigkeiten bei Tempo 30 tatsächlich nur zwischen 2 km/h und 6 km/h, können andere gewünschte Verbesserungen für die Umwelt und Lebensqualität nicht erzielt werden. Begleitmaßnahmen, wie Kontrollen, Displays oder bauliche Veränderungen, erhöhen den Befolgungsgrad, allerdings werden auch sie oft als Schikane empfunden.

Andererseits ist stetiger Verkehrsfluss bei hohem und niedrigem Verkehrsaufkommen eine entscheidende Sache für jeden Autofahrer. Dafür nimmt er im Allgemeinen auch weniger Geschwindigkeit in Kauf.

Damit Verkehr fließt, sind aber neben der Geschwindigkeit einige andere Faktoren, wie die Gestaltung der Knotenpunkte, mit oder ohne Lichtsignalanlagen, Abbiegespuren, Rad- oder Fußgängerverkehr, mitentscheidend. Dies hat die vorliegende Arbeit anhand der Simulationen dargestellt. Allerdings ließen sich insgesamt kaum Vorteile für eine Temporeduzierung an Hauptverkehrsstraßen nachweisen. Außer bei Belastungen durch Schwerverkehr ist die Verkehrsqualität bei Tempo 50 fast durchweg besser.

Die Ausführungen zu den anderen Wirkungen einer Temporeduzierung von 50 km/h auf 30 km/h auf Hauptverkehrsstraßen aus Kapitel 2 haben gezeigt, wie unterschiedlich Messergebnisse von Untersuchungen und Gutachten beurteilt werden, wenn gegensätzliche Interessenlagen aufeinander treffen. Selbst Fakten können so verschieden interpretiert werden, weil sich grundsätzliche Positionen und vorgefertigte Meinungen bei vielen Menschen nur schwer verändern lassen.

Dass das doch geht, beweist die Entwicklung der Tempo-30-Zonen in Wohngebieten, die vor allem in den 80er Jahren auf allen Ebenen

gleichfalls kontrovers diskutiert wurden und über die heutzutage ein gesellschaftlicher Konsens besteht.

Allerdings werden diese Zonen im Allgemeinen nicht nur durch Schilder ausgewiesen, sondern baulich so gestaltet, dass schnelles Fahren erschwert wird.

Konsens unter den verschiedenen Interessenvertretern und in der Politik wurde auch gefunden bei der Vereinfachung der Anordnung einer Geschwindigkeitsreduzierung vor sensiblen Einrichtungen. So heiß umstritten die Punkte Lärmschutz und Luftreinhaltung sind, so übereinstimmend werden die Vorteile einer Tempoabsenkung von 50 km/h auf 30 km/h für die Sicherheit von schwächeren Verkehrsteilnehmern, wie Kinder und Senioren, bewertet. Deshalb gab es auf die Änderung der Straßenverkehrsordnung vom Dezember 2016 auch überwiegend Zustimmung.

Dennoch ist es noch ein langer Weg zu shared spaces oder Begegnungszonen ohne Schilder und mit Rücksichtnahme aller Verkehrsteilnehmer, wenn man sie denn für wünschenswert hält. Und es ist auch nicht zu erwarten, dass sich die Vorstellungen des VCD von 30 km/h als Basisgeschwindigkeit und die Ziele und Visionen des Umweltbundesamtes mit Tempo 30 als Regelgeschwindigkeit auch auf Hauptverkehrsstraßen bis 2020 verwirklichen lassen werden. Dazu sind die gesellschaftliche Akzeptanz und die politische Durchsetzbarkeit noch zu gering. Deshalb sind die Kommunen weiterhin in der Pflicht, ihre Gestaltungsmöglichkeiten auszuschöpfen und mit den unterschiedlichen Gruppierungen Kompromisse zu finden, wohl wissend, dass man es auch auf dem Gebiet des Straßenverkehrs nicht allen Bürgern recht machen kann.

Der Beitrag, den Verkehrsingenieure dazu leisten können, ist, für die jeweilige lokale oder regionale Situation und Problematik, angemessene Lösungsvorschläge zu erarbeiten. Dazu können auch einmal Geschwindigkeitsreduzierungen auf Hauptverkehrsstraßen gehören, wenn es dem großen Ziel dient, die Mobilitätsbedürfnisse der Menschen und der

Wirtschaft dauerhaft zu befriedigen und dies auf eine soziale und ökologische Weise.

Sicher ist, dass sich im Mobilitätsland Nummer eins mit 830.000 km Straßen und 668 Kfz je 1000 Einwohner die verkehrsbezogenen Herausforderungen in Zukunft nicht verringern werden.

Quellenverzeichnis

Literaturverzeichnis

30 km/h - Macht die Straßen lebenswert!, kein Datum *de.30kmh.eu*.

[Online]

Available at: <http://de.30kmh.eu/warum-30-kmh/tempo-30-rettet-leben/>

[Zugriff am 21 09 2017].

30, B. p. 5. -. g. T., 2018. *gegen-tempo-30.de/*. [Online]

Available at: <https://gegen-tempo-30.de/>

[Zugriff am 20 01 2018].

ADAC, 2015. *www.adac.de*. [Online]

Available at:

<https://www.adac.de/mmm/pdf/fitempo30procontrainfobro1215253248.pdf>

[Zugriff am 07 08 2017].

Anon., 2017. [Online]

Available at: <http://www.bmub.bund.de/themen/luft-laerm-verkehr/laermschutz/laermschutz-im-ueberblick/was-ist-laerm/>

[Zugriff am 10 12 2017].

BMVI, kein Datum *www.bmvi.de*. [Online]

Available at: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/LA/neueste-aenderungen-der-strassenverkehrs-ordnung.html>

[Zugriff am 25 07 2017].

Brendler, M., 2017. *faz.de*. [Online]

Available at: <http://www.faz.net/aktuell/wissen/leben-gene/fakten-zur-dieseldebatte-wie-ungesund-sind-stickoxide-15138424.html>

[Zugriff am 20 01 2018].

Deutsche Bahn, 2017. *deutschebahn.com*. [Online]

Available at:

https://www1.deutschebahn.com/laerm/grundlagen/physikalische_grundla

gen.html

[Zugriff am 20 01 2018].

Doll, N., 2017. *welt.de*. [Online]

Available at: <https://www.welt.de/wirtschaft/article164125228/Aufschrei-gegen-Tempo-30-in-ganz-Deutschland.html>

[Zugriff am 12 08 2017].

Duden, kein Datum *Duden.de*. [Online]

Available at: <https://www.duden.de/rechtschreibung/Laerm>

[Zugriff am 12 09 2017].

Europäische Kommission, 2017. *ec.europa.eu*. [Online]

Available at: https://ec.europa.eu/germany/news/20170831-Kraftfahrzeugemissionen-EU_de

[Zugriff am 20 01 2018].

Frankfurter Allgemeine, 2015. *faz.net*. [Online]

Available at: <http://www.faz.net/aktuell/rhein-main/mediziner-kritisieren-die-norah-studie-13884812.html>

[Zugriff am 20 01 2018].

Keller, M. et al., 2017. *hbefa.net*. [Online]

Available at:

http://www.hbefa.net/e/documents/HBEFA33_Hintergrundbericht.pdf

[Zugriff am 20 01 2018].

Limbourg, P. D. M., kein Datum *uni-duisburg-essen.de*. [Online]

Available at: <https://duepublico.uni-duisburg-essen.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-16004/Limbourg%20Expertise%20Tempo%2030.pdf>

[Zugriff am 2017 12 10].

Manus, C., 2016. *Frankfurter Rundschau*. [Online]

Available at: <http://www.fr.de/frankfurt/laerm-in-frankfurt-streit-ueber-naechtliches-tempo-30-a-734360>

[Zugriff am 29 07 2017].

Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2018. *vm.baden-wuerttemberg.de*. [Online]

Available at: <https://vm.baden-wuerttemberg.de/de/verkehrspolitik/zukunftskonzepte/digitale-mobilitaet/>
[Zugriff am 20 01 2018].

Murr, G., 2016. *fnp.de*. [Online]
Available at: <http://www.fnp.de/lokales/frankfurt/Dicke-Luft-durch-Tempo-30;art675,2193230>
[Zugriff am 20 01 2018].

Ökologisch-Demokratische Partei, 2018. *ödp-nürnberg*. [Online]
Available at: <http://www.oedp-nuernberg.de/oekologisch-demokratische-partei-oedp-nuernberg/>
[Zugriff am 17 01 2018].

Ortscheid, J. & Wende, H., 2004. *fluglaerm.de*. [Online]
Available at: <https://www.fluglaerm.de/Downloads/lmm-geringer-akustischer-wirkung.pdf>
[Zugriff am 15 09 2017].

Randelhoff, M., 2017. *Zukunft Mobilität*. [Online]
Available at: <https://www.zukunft-mobilitaet.net/9934/analyse/30-stundenkilometer-kmh-pro-contra-regelgeschwindigkeit/>
[Zugriff am 20 07 2017].

Regierungspräsidium Tübingen, 2014. *tuebingen.de*. [Online]
Available at:
https://www.tuebingen.de/Dateien/luftreinhalteplan_zweite_fortschreibung_2014.pdf
[Zugriff am 20 01 2018].

Schneider, D. C., 2013. *thueringen.de*. [Online]
Available at: https://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlug/abt1/v-referate/2013/06_2013/aviso_tlug_t30.pdf
[Zugriff am 20 01 2018].

Statistisches Bundesamt, 2017. *destatis.de*. [Online]
Available at:
https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/UnfaelleKinder5462405167004.pdf?__blob=publicationFile

e

[Zugriff am 21 09 2017].

Steinle, I., 2016. *www.swp.de*. [Online]

Available at: <https://www.swp.de/suedwesten/staedte/ulm/tempolimits-in-ortsdurchfahrten-wie-geht-es-weiter-22119113.html>

[Zugriff am 10 09 2017].

Tagesspiegel, 2017. *tagesspiegel.de*. [Online]

Available at: <http://www.tagesspiegel.de/politik/strassenverkehr-bundesbehoerde-fordert-tempo-30-in-staedten/19672414.html>

[Zugriff am 20 01 2018].

taz, 2017. *taz.de*. [Online]

Available at: <http://www.taz.de/!5392492/>

[Zugriff am 10 08 2017].

Tempo 30 für mehr Leben, 2017. *tempo30.vcd.org*. [Online]

Available at: <https://tempo30.vcd.org/argumente.html>

[Zugriff am 20 07 2017].

Umweltbundesamt, 2015. *umweltbundesamt.de*. [Online]

Available at:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_33_2015_tune_url_0.pdf

[Zugriff am 08 08 2017].

Umweltbundesamt, 2016. *umweltbundesamt.de*. [Online]

Available at:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/fachliche_einschaetzung_der_laermwirkungsstudie_norah.pdf

[Zugriff am 21 10 2017].

Umweltbundesamt, 2017. *umweltbundesamt.de*. [Online]

Available at: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/luft/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland/emission-fluechtiger-organischer-verbindungen-ohne#textpart-1>

[Zugriff am 20 01 2018].

Umweltbundesamt, kein Datum *www.umweltbundesamt.de*. [Online]

Available at:

https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/421/publikationen/20170505_stadt_von_morgen_2_auflage_web.pdf

[Zugriff am 20 07 2017].

Wieschemeyer, K., 2017. *noz.de*. [Online]

Available at: [https://www.noz.de/deutschland-](https://www.noz.de/deutschland-welt/niedersachsen/artikel/990373/niedersachsen-haelt-an-tempo-30-modellversuch-fest)

[welt/niedersachsen/artikel/990373/niedersachsen-haelt-an-tempo-30-modellversuch-fest](https://www.noz.de/deutschland-welt/niedersachsen/artikel/990373/niedersachsen-haelt-an-tempo-30-modellversuch-fest)

[Zugriff am 20 01 2018].

Anhangsverzeichnis

- Anhang Teil 1 Eidesstattliche Erklärung
- Anhang Teil 2 LSA-Berechnung kleine Kreuzung hohe Belastung
- Anhang Teil 3 Ergebnistabellen kleine Kreuzung hohe Belastung
- Anhang Teil 4 LSA-Berechnung kleine Kreuzung niedrige Belastung
- Anhang Teil 5 Ergebnistabellen kleine Kreuzung niedrige Belastung
- Anhang Teil 6 LSA-Berechnung große Kreuzung hohe Belastung
- Anhang Teil 7 Ergebnistabellen große Kreuzung hohe Belastung
- Anhang Teil 8 LSA-Berechnung große Kreuzung niedrige Belastung
- Anhang Teil 9 Ergebnistabellen große Kreuzung niedrige Belastung
- Anhang Teil 10 Ergebnistabellen Kreuzung ohne LSA hohe Belastung
- Anhang Teil 11 LSA-Berechnung Straßenzug HVZ Knotenpunkt 1
- Anhang Teil 12 LSA-Berechnung Straßenzug HVZ Knotenpunkt 2
- Anhang Teil 13 LSA-Berechnung Straßenzug HVZ Knotenpunkt 3
- Anhang Teil 14 LSA-Berechnung Straßenzug Schwerverkehr Knotenpunkt 1
- Anhang Teil 15 LSA-Berechnung Straßenzug Schwerverkehr Knotenpunkt 2
- Anhang Teil 16 LSA-Berechnung Straßenzug Schwerverkehr Knotenpunkt 3
- Anhang Teil 17 LSA-Berechnung Straßenzug Nacht Knotenpunkt 1
- Anhang Teil 18 LSA-Berechnung Straßenzug Nacht Knotenpunkt 2
- Anhang Teil 18 LSA-Berechnung Straßenzug Nacht Knotenpunkt 3

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides Statt,

- dass ich die vorliegende Studienarbeit selbstständig angefertigt,
- keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt,
- die wörtlich oder dem Inhalt nach aus fremden Arbeiten entnommenen Stellen, bildlichen Darstellungen und dergleichen als solche genau kenntlich gemacht und
- keine unerlaubte fremde Hilfe in Anspruch genommen habe.

Nürnberg, 26. Januar 2018

LSA-Berechnung kleine Kreuzung hohe Belastung

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
			[Fz/h]	[Fz]	[Fz/h]	[s/Fz]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]
1	K1		800	20,0	1916	1,88	0,4176		37,6	49,375	49
2	K2		200	5,0	1870	1,92	0,1069		9,6		
3	K3		480	12,0	1916	1,88	0,2506		22,6	29,625	30
4	K4		120	3,0	1870	1,92	0,0642		5,8		
5	K5		800	20,0	1969	1,83	0,4063		36,6		
6	K6		200	5,0	1870	1,92	0,1069		9,6		
7	K7		480	12,0	1969	1,83	0,2438		21,9		
8	K8		120	3,0	1870	1,92	0,0642		5,8		

Ergebnistabellen kleine Kreuzung hohe Belastung

		Mittlere Fahrzeugreisezeit			
		Wegstrecke	50 km/h	40 km/h	30 km/h
		[m]	[s]	[s]	[s]
K7	1: HR_gerade	150	42,76	44,70	51,74
K7	2: HR_rechtsab	150	52,11	54,59	58,03
K8	3: HR_linksab	150	113,56	146,40	145,44
K3	4: GR_gerade	150	49,10	50,66	53,13
K3	5: GR_rechtsab	150	64,87	68,69	67,37
K4	6: GR_linksab	150	238,91	205,87	215,56
K5	7: Sued_gerade	150	30,46	30,15	32,39
K5	8: Sued_rechtsab	150	46,45	43,05	44,13
K6	9: Sued_linksab	150	192,78	180,52	279,54
K1	10: Nord_gerade	150	30,26	32,13	33,93
K1	11: Nord_rechtsab	150	38,38	39,29	40,59
K2	12: Nord_linksab	150	83,25	97,81	84,09
Gewichtetes Mittel			60,11	62,84	67,18

		Staulänge								
		50 km/h			40 km/h			30 km/h		
		Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte
		[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]
K7	1: HR	44,58	111,67	444	49,76	109,56	443	58,54	110,19	481
K8	2: HR_linksab	30,77	111,16	202	41,12	110,54	236	39,89	111,15	219
K1	3: Nord	43,45	110,81	487	38,05	111,39	435	43,17	109,77	497
K2	4: Nord_links	33,98	110,66	256	42,55	111,88	275	28,83	109,86	222
K3	5: GR	49,68	108,27	367	56,20	106,83	404	56,22	107,11	417
K4	6: GR_links	62,57	108,93	287	56,45	108,07	255	57,68	108,42	291
K5	7: Sued	33,96	110,38	333	36,76	111,74	338	26,22	110,80	268
K6	8: Sued_links	67,48	111,75	329	59,76	111,75	289	75,02	112,92	309
Gesamt		366,48		2705	380,66		2675	385,57		2704

Ergebnistabellen kleine Kreuzung hohe Belastung

		Verlustzeiten								
		50 km/h			40 km/h			30 km/h		
		Standzeiten	Halte	Verlustzeiten	Standzeiten	Halte	Verlustzeiten	Standzeiten	Halte	Verlustzeiten
		[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]
K 7	1: HR_gerade	24,19	0,6 6	32,45	24,83	0,6 8	31,84	28,86	0,7 3	34,86
K 7	2: HR_rechtsab	27,01	0,9 8	34,45	28,41	1,0 5	36,07	29,99	1,1 0	37,22
K 8	3: HR_linksab	80,63	2,7 5	96,37	109,25	3,2 7	128,44	107,20	3,2 0	125,35
K 3	4: GR_gerade	30,85	0,7 4	38,79	30,92	0,7 5	37,80	30,42	0,7 4	36,31
K 3	5: GR_rechtsab	38,34	1,8 1	46,88	41,35	1,6 7	49,89	38,79	1,5 4	46,36
K 4	6: GR_linksab	181,19	7,7 1	222,13	153,20	6,3 2	188,27	158,34	6,9 7	195,79
K 5	7: Sued_gerade	12,91	0,4 7	20,13	11,72	0,4 2	17,29	10,72	0,4 7	15,51
K 5	8: Sued_rechtsab	20,33	1,1 9	27,54	16,86	0,9 7	23,35	15,62	1,1 0	22,24
K 6	9: Sued_linksab	142,96	6,0 0	175,53	133,65	5,2 9	162,47	216,12	8,2 2	259,37
K 1	10: Nord_gerade	12,89	0,5 7	19,94	13,51	0,5 9	19,24	12,59	0,5 4	17,05
K 1	11: Nord_rechtsab	13,54	0,7 7	20,41	13,90	0,8 0	20,44	13,60	0,7 6	19,60
K 2	12: Nord_linksab	50,32	2,7 7	66,63	63,00	3,1 0	80,36	50,22	2,5 1	64,50
Gewichtetes Mittel		36,06	1,4 6	46,91	37,80	1,4 4	47,78	39,39	1,5 0	48,86

LSA-Berechnung kleine Kreuzung niedrige Belastung

Nr.	Bez.	$q_{\text{maß}}$ [Fz/h]	$q_{\text{S,st}}$ [Pkw/h]	SV [%]	f_1 [-]	Be z	f_2 [-]	Be z	q_s [Fz/h]	$q_{\text{maßg}}/q_s$	g _{gew}	$q_{\text{maßg}}/(g^* q_s)$
1	K1	400	2000	3	0,98 4	SV			1916	0,2088		
2	K2	100	2000	3	0,98 4	SV	0,9 5		1870	0,0535		
3	K3	240	2000	3	0,98 4	SV			1916	0,1253		
4	K4	60	2000	3	0,98 4	SV	0,9 5		1870	0,0321		
5	K5	400	2000	3	0,98 4	SV			1969	0,2032		
6	K6	100	2000	3	0,98 4	SV	0,9 5		1870	0,0535		
7	K7	240	2000	3	0,98 4	SV			1969	0,1219		
8	K8	60	2000	3	0,98 4	SV	0,9 5		1870	0,0321		

$q_{\text{maßg}}/q_{\text{S1}}$	0,3341	T_z	12	T_U	34,54	T_U gew.	60
		T_z	11	T_U	32,29	T_U gew.	60

Nr.	Bez.	maßg.	$q_{\text{maßg}}$ [Fz/h]	m [Fz]	q_s [Fz/h]	t_B [s/Fz]	$b_{\text{maßg}}$ [-]	g_{gew} [-]	$t_{\text{F erf.}}$ [s]	tF [s]	tF gew. [s]
1	K1		400	6,7	1916	1,88	0,2088		12,5	30	
2	K2		100	1,7	1870	1,92	0,0535		3,2		
3	K3		240	4,0	1916	1,88	0,1253		7,5	18	
4	K4		60	1,0	1870	1,92	0,0321		1,9		
5	K5		400	6,7	1969	1,83	0,2032		12,2		
6	K6		100	1,7	1870	1,92	0,0535		3,2		
7	K7		240	4,0	1969	1,83	0,1219		7,3		
8	K8		60	1,0	1870	1,92	0,0321		1,9		

LSA-Berechnung kleine Kreuzung niedrige Belastung

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
			[Fz/h]	[Fz]	[Fz/h]	[s/Fz]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]
1	K1		400	6,7	1916	1,88	0,2088		12,5	30,625	30
2	K2		100	1,7	1870	1,92	0,0535		3,2		
3	K3		240	4,0	1916	1,88	0,1253		7,5	18,375	19
4	K4		60	1,0	1870	1,92	0,0321		1,9		
5	K5		400	6,7	1969	1,83	0,2032		12,2		
6	K6		100	1,7	1870	1,92	0,0535		3,2		
7	K7		240	4,0	1969	1,83	0,1219		7,3		
8	K8		60	1,0	1870	1,92	0,0321		1,9		

Ergebnistabellen kleine Kreuzung niedrige Belastung

Belastung

		Mittlere Fahrzeugreisezeit			
		Wegstrecke	50 km/h	40 km/h	30 km/h
		[m]	[s]	[s]	[s]
K7	1: HR_gerade	150	26,10	28,60	31,16
K7	2: HR_rechtsab	150	34,02	34,93	36,51
K8	3: HR_linksab	150	36,70	37,11	38,35
K3	4: GR_gerade	150	25,16	27,36	29,78
K3	5: GR_rechtsab	150	35,82	36,57	37,29
K4	6: GR_linksab	150	32,48	33,52	35,24
K5	7: Sued_gerade	150	19,63	21,71	25,27
K5	8: Sued_rechtsab	150	28,50	29,31	31,32
K6	9: Sued_linksab	150	27,69	28,88	31,19
K1	10: Nord_gerade	150	18,12	20,34	23,74
K1	11: Nord_rechtsab	150	26,06	27,48	29,28
K2	12: Nord_linksab	150	27,32	28,43	30,08
Gewichtetes Mittel			24,83	26,57	29,12

		Staulänge								
		50 km/h			40 km/h			30 km/h		
		Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte
		[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]
K7	1: HR	2,34	32,11	63	2,48	32,09	66	2,36	34,40	64
K8	2: HR_linksab	0,62	15,79	17	0,61	15,76	17	0,59	16,91	16
K1	3: Nord	1,27	30,15	42	1,38	29,43	44	1,37	30,53	44
K2	4: Nord_links	0,55	17,14	20	0,58	18,88	20	0,56	17,72	20
K3	5: GR	2,48	26,48	65	2,55	28,54	66	2,40	28,57	63
K4	6: GR_links	0,51	14,41	15	0,53	14,38	15	0,51	14,38	16
K5	7: Sued	1,89	35,13	82	1,97	40,17	84	2,03	40,19	86
K6	8: Sued_links	0,56	15,51	21	0,59	15,56	22	0,58	15,02	21
Gesamt		10,23		325	10,69		334	10,41		330

		Verlustzeiten								
		50 km/h			40 km/h			30 km/h		
		Standze iten	Hal te	Verlustze iten	Standze iten	Hal te	Verlustze iten	Standze iten	Hal te	Verlustze iten
		[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]
K 7	1: HR_gerade	10,21	0,6 1	15,80	11,02	0,6 3	15,80	10,59	0,6 2	14,50
K 7	2: HR_rechtsab	12,32	0,7 6	16,49	12,28	0,7 5	16,51	11,77	0,7 8	15,84
K 8	3: HR_linksab	13,63	1,1 5	19,43	13,39	1,1 1	19,08	12,68	1,0 9	18,22
K 3	4: GR_gerade	9,59	0,5 7	14,90	10,12	0,5 9	14,63	9,66	0,5 9	13,30
K 3	5: GR_rechtsab	13,71	1,0 3	18,06	13,56	1,0 3	17,99	12,35	0,9 6	16,64
K 4	6: GR_linksab	10,22	1,0 0	15,73	10,36	0,9 9	15,98	10,13	1,0 1	15,70
K 5	7: Sued_gerade	5,01	0,4 4	9,42	5,32	0,4 6	8,99	5,61	0,4 8	8,76
K 5	8: Sued_rechts ab	6,08	0,7 0	9,65	6,04	0,7 2	9,65	5,95	0,7 4	9,51
K 6	9: Sued_linksab	5,91	0,7 7	10,43	6,30	0,7 8	10,84	6,60	0,8 4	11,12
K 1	10: Nord_gerade	3,91	0,3 8	7,84	4,32	0,3 9	7,60	4,46	0,4 0	7,27
K 1	11: Nord_rechts ab	4,94	0,5 0	8,13	5,34	0,5 4	8,71	5,14	0,5 1	8,45
K 2	12: Nord_linksab	5,93	0,8 9	10,81	6,28	0,9 0	11,13	6,08	0,8 4	10,78
Gewichtetes Mittel		7,13	0,6 1	11,66	7,47	0,6 2	11,57	7,34	0,6 3	11,04

LSA-Berechnung große Kreuzung hohe Belastung

Nr.	Bez.	q _{maß} [Fz/h]	q _{s,st} [Pkw/h]	SV [%]	f ₁ [-]	Bez. z	f ₂ [-]	B e z q _s [Fz/h]	q _{maßg} /q _s	ggew	q _{maßg} /(g*q _s)
1	K1a	447	2000	3	0,984	SV			1894	0,2360	
2	K1b	447	2000	3	0,984	SV			1969	0,2270	
3	K2	158	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0845	
4	K3a	394	2000	3	0,984	SV			1833	0,2150	
5	K3b	394	2000	3	0,984	SV			1969	0,2001	
6	K4	263	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,1406	
7	K5a	447	2000	3	0,984	SV			1894	0,2360	
8	K5b	447	2000	3	0,984	SV			1969	0,2270	
9	K6	158	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0845	
10	K7a	394	2000	3	0,984	SV			1833	0,2150	
11	K7b	394	2000	3	0,984	SV			1969	0,2001	
12	K8	263	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,1406	

q _{maßg}							112,65	T _{U gew.}	
l/q _s I	0,6760	T _z	21	T _U			53	50;40	120
		T _z	18	T _U			98,766	T _{U gew.}	
							3	30	120

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg} [Fz/h]	m [Fz]	q _s [Fz/h]	t _B [s/Fz]	b _{maßg} [-]	g _{gew} [-]	t _{F erf.} [s]	t _F [s]	t _{F gew.} [s]
1	K1a		447	14,9	1894	1,90	0,2360		28,3	34,5553891	34
2	K1b		447	14,9	1969	1,83	0,2270		27,2		
3	K2		158	5,3	1870	1,92	0,0845		10,1	12,3711938	13
4	K3a		394	13,1	1833	1,96	0,2150		25,8	31,4808603	31
5	K3b		394	13,1	1969	1,83	0,2001		24,0		
6	K4		263	8,8	1870	1,92	0,1406		16,9	20,5925568	21
7	K5a		447	14,9	1894	1,90	0,2360		28,3		
8	K5b		447	14,9	1969	1,83	0,2270		27,2		
9	K6		158	5,3	1870	1,92	0,0845		10,1		
10	K7a		394	13,1	1833	1,96	0,2150		25,8		
11	K7b		394	13,1	1969	1,83	0,2001		24,0		
12	K8		263	8,8	1870	1,92	0,1406		16,9		

LSA-Berechnung große Kreuzung hohe Belastung

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
			[Fz/h]	[Fz]	[Fz/h]	[s/Fz]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]
1	K1a		447	14,9	1894	1,90	0,2360		28,3	35,6025221	35
2	K1b		447	14,9	1969	1,83	0,2270		27,2		
3	K2		158	5,3	1870	1,92	0,0845		10,1	12,7460785	13
4	K3a		394	13,1	1833	1,96	0,2150		25,8	32,4348258	32
5	K3b		394	13,1	1969	1,83	0,2001		24,0		
6	K4		263	8,8	1870	1,92	0,1406		16,9	21,2165737	22
7	K5a		447	14,9	1894	1,90	0,2360		28,3		
8	K5b		447	14,9	1969	1,83	0,2270		27,2		
9	K6		158	5,3	1870	1,92	0,0845		10,1		
10	K7a		394	13,1	1833	1,96	0,2150		25,8		
11	K7b		394	13,1	1969	1,83	0,2001		24,0		
12	K8		263	8,8	1870	1,92	0,1406		16,9		

Ergebnistabellen große Kreuzung hohe Belastung

	Wegstrecke [m]	Mittlere Fahrzeugreisezeit		
		50 km/h	40 km/h	30 km/h
		[s]	[s]	[s]
10: Nord_gerade	150	79,52	63,33	79,71
11: Nord_rechtsab	150	113,92	94,91	105,00
12: Nord_linksab	150	48,95	50,69	55,58
4: GR_gerade	150	69,21	58,20	69,78
5: GR_rechtsab	150	90,16	75,05	85,82
6: GR_linksab	150	48,87	52,09	58,58
7: Sued_gerade	150	53,50	49,71	64,38
8: Sued_rechtsab	150	78,28	69,32	88,41
9: Sued_linksab	150	62,31	61,16	62,54
1: HR_gerade	150	50,81	48,33	63,20
2: HR_rechtsab	150	69,63	61,76	78,94
3: HR_linksab	150	65,21	63,47	62,63
Gewichtetes Mittel		65,21	58,67	70,73

		Staulänge								
		50 km/h			40 km/h			30 km/h		
		Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte
		[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]
K 1	3: Nord	128,82	155,68	154 9	78,20	125,97	100 0	126,45	156,10	157 5
K 2	4: Nord_links	22,75	142,49	295	16,88	108,56	207	37,02	153,33	436
K 3	5: GR	57,42	155,00	957	39,58	117,72	702	82,03	155,62	121 7
K 4	6: GR_links	14,89	107,05	181	11,46	72,49	133	14,60	113,38	187
K 5	7: Sued	110,49	147,87	142 6	65,90	114,99	920	104,53	148,41	144 4
K 6	8: Sued_links	28,43	146,22	373	18,25	107,18	251	38,39	146,24	509
K 7	1: HR	65,25	148,44	104 1	44,61	116,88	748	88,87	152,50	122 1
K 8	2: HR_linksab	12,74	100,02	161	10,09	71,52	124	13,31	111,53	172
Gesamt		440,79		598 3	284,96		408 5	505,20		676 1

		Verlustzeiten								
		50 km/h			40 km/h			30 km/h		
		Standzeiten	Halte	Verlustzeiten	Standzeiten	Halte	Verlustzeiten	Standzeiten	Halte	Verlustzeiten
		[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]
K 1	10: Nord_gerade	57,36	1,3 2	69,19	41,79	1,1 2	50,44	23,74	0,7 4	28,15
K 1	11: Nord_rechts ab	79,91	2,1 2	98,48	62,44	1,9 8	78,44	25,07	1,0 9	32,65
K 2	12: Nord_linksab	25,29	0,8 6	33,22	27,46	0,8 5	34,05	32,07	0,8 1	36,66
K 3	4: GR_gerade	48,55	1,0 5	58,88	37,48	0,9 5	45,32	25,11	0,7 3	29,58
K 3	5: GR_rechtsab	60,56	1,4 5	74,82	46,47	1,3 6	58,65	26,51	1,0 0	33,38
K 4	6: GR_linksab	25,48	0,8 9	33,43	28,79	0,9 0	35,73	33,97	0,8 5	38,88
K 5	7: Sued_gerade	35,25	0,8 3	43,18	30,57	0,8 0	36,82	22,65	0,7 1	26,91
K 5	8: Sued_rechts ab	52,90	1,3 3	62,80	44,45	1,2 0	52,77	27,91	0,8 7	33,18
K 6	9: Sued_linksab	38,94	1,0 6	47,16	38,11	1,0 1	45,05	32,90	0,8 6	37,55
K 7	1: HR_gerade	32,67	0,8 2	40,47	29,20	0,8 0	35,42	22,25	0,7 1	26,50
K 7	2: HR_rechtsab	43,89	1,3 7	54,03	36,57	1,2 2	45,15	25,21	0,9 4	30,45
K 8	3: HR_linksab	41,70	1,0 9	49,91	40,31	1,0 1	47,23	37,73	0,8 9	42,54
	Gewichtetes Mittel	43,10	1,0 8	52,88	36,45	1,0 2	44,38	25,89	0,8 0	30,73

LSA-Berechnung große Kreuzung niedrige Belastung

Nr.	Bez.	q _{maß}	q _{S,st}	S V	f ₁	Be z	f ₂	B e z	q _S	q _{maßg} /q _S	ggew	q _{maßg} /(g* s)
1	K1a	149	2000	3	0,984	SV			1894	0,0787		
2	K1b	149	2000	3	0,984	SV			1969	0,0757		
3	K2	53	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0283		
4	K3a	132	2000	3	0,984	SV			1833	0,0720		
5	K3b	131	2000	3	0,984	SV			1969	0,0665		
6	K4	88	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0470		
7	K5a	149	2000	3	0,984	SV			1894	0,0787		
8	K5b	149	2000	3	0,984	SV			1969	0,0757		
9	K6	53	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0283		
10	K7a	132	2000	3	0,984	SV			1833	0,0720		
11	K7b	132	2000	3	0,984	SV			1969	0,0670		
12	K8	88	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0470		

q _{maßg} l/q _S	0,226									47,161	T _U gew.	
l	1	T _Z	21			T _U				7	50;40	72
		T _Z	18			T _U				41,347	T _U gew.	
										2	30	72

LSA-Berechnung große Kreuzung niedrige Belastung

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	tF	tF gew.
1	K1a		149	3,0	1894	1,90	0,0787		5,7	17,7478124	16
2	K1b		149	3,0	1969	1,83	0,0757		5,4		
3	K2		53	1,1	1870	1,92	0,0283		2,0	6,39258967	10
4	K3a		132	2,6	1833	1,96	0,0720		5,2	16,2454868	14
5	K3b		131	2,6	1969	1,83	0,0665		4,8		
6	K4		88	1,8	1870	1,92	0,0470		3,4	10,6141112	11
7	K5a		149	3,0	1894	1,90	0,0787		5,7		
8	K5b		149	3,0	1969	1,83	0,0757		5,4		
9	K6		53	1,1	1870	1,92	0,0283		2,0		
10	K7a		132	2,6	1833	1,96	0,0720		5,2		
11	K7b		132	2,6	1969	1,83	0,0670		4,8		
12	K8		88	1,8	1870	1,92	0,0470		3,4		
Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	tF	tF gew.
1	K1a		149	3,0	1894	1,90	0,0787		5,7	18,7918013	17
2	K1b		149	3,0	1969	1,83	0,0757		5,4		
3	K2		53	1,1	1870	1,92	0,0283		2,0	6,76862436	10
4	K3a		132	2,6	1833	1,96	0,0720		5,2	17,2011037	16
5	K3b		131	2,6	1969	1,83	0,0665		4,8		
6	K4		88	1,8	1870	1,92	0,0470		3,4	11,2384706	11
7	K5a		149	3,0	1894	1,90	0,0787		5,7		
8	K5b		149	3,0	1969	1,83	0,0757		5,4		
9	K6		53	1,1	1870	1,92	0,0283		2,0		
10	K7a		132	2,6	1833	1,96	0,0720		5,2		
11	K7b		132	2,6	1969	1,83	0,0670		4,8		
12	K8		88	1,8	1870	1,92	0,0470		3,4		

Ergebnistabellen große Kreuzung niedrige Belastung

	Mittlere Fahrzeugreisezeit			
	Wegstrecke	50 km/h	40 km/h	30 km/h
	[m]	[s]	[s]	[s]
10: Nord_gerade		39,79	41,92	44,89
11: Nord_rechtsab		51,88	53,04	51,73
12: Nord_linksab		50,13	50,78	55,46
4: GR_gerade		41,12	43,60	46,36
5: GR_rechtsab		49,89	51,30	52,41
6: GR_linksab		50,55	52,14	57,48
7: Sued_gerade		37,32	39,32	43,63
8: Sued_rechtsab		49,26	50,20	52,36
9: Sued_linksab		54,02	53,69	55,95
1: HR_gerade		37,33	39,73	43,28
2: HR_rechtsab		45,42	47,09	49,57
3: HR_linksab		56,90	57,86	61,02
Gewichtetes Mittel		43,45	45,23	48,31

		Staulänge								
		50 km/h			40 km/h			30 km/h		
		Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte
		[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]
K 1	3: Nord	8,39	49,03	172	8,55	50,60	176	8,34	50,55	171
K 2	4: Nord_links	4,51	36,46	58	4,50	37,11	58	4,86	36,25	60
K 3	5: GR	7,61	41,13	186	8,08	42,25	189	7,99	41,64	192
K 4	6: GR_links	3,23	24,49	38	3,23	24,47	38	3,32	24,47	39
K 5	7: Sued	8,82	42,79	169	9,16	44,81	173	9,17	45,79	169
K 6	8: Sued_links	5,09	34,45	63	5,23	35,51	64	5,78	35,49	68
K 7	1: HR	8,31	40,71	184	8,52	41,87	187	8,73	44,21	190
K 8	2: HR_linksab	3,04	24,21	39	2,95	24,11	39	2,99	25,31	40
Gesamt		49,00		909	50,21		924	51,18		929

		Verlustzeiten								
		50 km/h			40 km/h			30 km/h		
		Standzeiten	Halte	Verlustzeiten	Standzeiten	Halte	Verlustzeiten	Standzeiten	Halte	Verlustzeiten
		[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]
K 1	10: Nord_gerade	23,06	0,7 1	29,52	23,73	0,7 3	29,13	54,10	1,2 5	62,67
K 1	11: Nord_rechts ab	27,40	1,2 9	36,49	27,75	1,2 9	36,59	70,46	1,9 3	85,85
K 2	12: Nord_linksab	29,58	0,7 7	34,55	29,53	0,7 7	34,29	29,95	0,9 1	36,49
K 3	4: GR_gerade	24,31	0,7 3	30,81	25,31	0,7 4	30,78	45,64	0,9 8	52,74
K 3	5: GR_rechtsab	26,71	1,1 1	34,57	27,10	1,1 0	34,91	55,13	1,2 8	66,73
K 4	6: GR_linksab	29,89	0,7 8	35,18	30,78	0,7 9	35,87	32,99	1,0 0	39,79
K 5	7: Sued_gerade	21,01	0,6 9	27,06	21,49	0,6 9	26,54	41,36	0,9 0	47,27
K 5	8: Sued_rechts ab	27,93	0,8 9	33,71	27,94	0,8 8	33,59	59,84	1,4 3	69,24
K 6	9: Sued_linksab	33,66	0,8 5	38,93	32,69	0,8 4	37,65	37,23	1,0 6	43,95
K 7	1: HR_gerade	20,95	0,6 8	27,04	21,80	0,6 9	26,91	40,21	0,8 9	46,08
K 7	2: HR_rechtsab	24,30	0,8 3	29,79	25,09	0,8 5	30,48	50,42	1,4 3	59,78
K 8	3: HR_linksab	36,43	0,8 6	41,70	36,67	0,8 7	41,71	37,42	1,0 0	43,92
Gewichtetes Mittel		24,88	0,7 9	31,14	25,43	0,8 0	31,01	45,22	1,0 9	52,89

Ergebnistabellen Kreuzung ohne LSA hohe Belastung

		Mittlere Fahrzeugreisezeit			
		Wegstrecke	50 km/h	40 km/h	30 km/h
		[m]	[s]	[s]	[s]
K1	4: Nord_gerade	150	188,06	194,87	217,51
K1	11: Nord_rechtsab	150	129,28	121,86	152,14
K2	12: Nord_linksab	150	57,15	64,84	76,71
K3	2: GR_gerade	150	14,33	17,30	21,15
K3	9: GR_rechtsab	150	20,70	22,36	24,89
K4	10: GR_linksab	150	81,09	106,72	110,39
K5	3: Süd_gerade	150	171,28	163,58	206,80
K5	5: Süd_rechtsab_HR	150	115,79	114,60	148,14
K6	6: Süd_linkssab_GR	150	107,29	96,79	103,88
K7	1: HR_gerade	150	15,39	18,53	23,23
K7	8: HR_rechtsab	150	20,93	22,56	25,57
K8	7: HR_linksab	150	75,22	112,01	142,22
Gewichtetes Mittel			49,34	54,35	63,65

		Staulänge								
		50 km/h			40 km/h			30 km/h		
		Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte	Durchschnitt	Maximal	Halte
		[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]	[m]	[m]	[St]
K1		89,39	120,70	580	81,66	120,60	546	96,25	121,00	525
K1		86,87	123,54	534	86,00	121,00	472	91,90	121,29	489
K2		89,07	124,02	529	81,70	123,93	493	98,08	124,33	480
K3		2,55	92,00	93	5,83	103,18	157	5,72	119,26	157
K3		3,19	100,85	56	5,29	121,71	97	5,26	120,69	92
K4		2,24	94,07	40	5,40	105,24	84	5,05	121,33	80
K5		85,76	121,00	556	86,07	118,46	509	91,59	118,75	517
K5		17,36	106,01	203	34,82	115,97	288	47,93	118,57	315
K6		20,88	91,23	233	32,18	105,28	265	36,04	114,56	234
K7		3,88	105,43	119	5,65	120,07	161	5,60	119,04	152
K7		0,57	21,86	34	0,71	22,87	37	1,85	35,66	39
K8		14,64	78,42	90	9,24	65,67	66	8,73	85,35	56
Gesamt		416,39		3067	434,57		3175	493,99		3136

		Verlustzeiten								
		50 km/h			40 km/h			30 km/h		
		Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten	Standzeiten	Haltezeiten	Verlustzeiten
		[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]	[s]	[St]	[s]
K 1	4: Nord_gerade	130,52	7,72	177,75	136,72	7,99	182,06	159,12	7,70	201,03
K 1	21: Nord_rechtsab	78,14	4,52	110,94	71,94	4,31	102,74	98,61	4,97	131,02
K 2	22: Nord_linksab	26,00	3,40	40,64	31,97	4,41	47,46	41,94	5,27	57,27
K 3	2: GR_gerade	0,29	0,12	4,03	0,59	0,19	4,43	0,85	0,32	4,36
K 3	9: GR_rechtsab	0,30	0,06	2,60	0,53	0,10	3,41	0,95	0,08	3,87
K 4	10: GR_linksab	45,21	4,16	64,29	66,10	4,77	89,06	69,96	4,18	90,59
K 5	3: Sued_gerade	117,15	7,35	161,02	112,16	7,00	150,81	151,89	7,34	190,30
K 5	5: Sued_rechtsab_HR	68,11	3,96	96,72	68,24	3,82	94,82	98,65	4,05	126,33
K 6	6: Sued_linksab_GR	72,83	5,02	90,22	63,29	4,67	78,92	68,25	4,34	83,90
K 7	1: HR_gerade	0,84	0,21	5,09	1,39	0,27	5,66	2,33	0,33	6,45
K 7	8: HR_rechtsab	0,67	0,09	3,27	0,89	0,13	4,01	1,42	0,17	4,97
K 8	7: HR_linksab	41,38	3,75	58,05	71,70	4,76	94,00	97,18	5,58	122,25
Gewichtetes Mittel		24,73	1,78	36,57	27,67	1,90	39,61	34,10	1,97	45,64

LSA-Berechnung Straßenzug HVZ Knotenpunkt 1

Nr.	Bez.	q _{maß} [Fz/h]	q _{S,st} [Pkw/h]	SV [%]	f ₁ [-]	Be z	f ₂ [-]	B e z	q _S [Fz/h]	q _{maßg} /q _S	g _{gew}	q _{maßg} /(g* _S)
1	K1	210	2000	3	0,984	SV			1894	0,1109		
2	K2	90	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0481		
3	K3a	433	2000	3	0,984	SV			1861	0,2327		
4	K3b	432	2000	3	0,984	SV			1969	0,2194		
5	K4	186	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0994		
6	K5	150	2000	3	0,984	SV	0,9		1772	0,0847		
7	K6	150	2000	3	0,984	SV			1894	0,0792		
8	K7a	425	2000	3	0,984	SV			1895	0,2243		
9	K7b	425	2000	3	0,984	SV			1969	0,2159		
10	K8	150	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0802		

q _{maßg} l/q _S					65,835	T _U	
l	0,4912	T _Z	19	T _U	3	gew.	90
		T _Z	18	T _U	4	gew.	90

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg} [Fz/h]	m [Fz]	q _S [Fz/h]	t _B [s/Fz]	b _{maßg} [-]	g _{gew} [-]	t _{F erf.} [s]	t _F [s]	t _{F gew.} [s]
1	K1		210	5,3	1894	1,90	0,1109		10,0	12,2239382	16
2	K2		90	2,3	1870	1,92	0,0481		4,3	8,00195591	10
3	K3a		433	10,8	1861	1,93	0,2327		20,9	29,6897229	30
4	K3b		432	10,8	1969	1,83	0,2194		19,7		
5	K4		186	4,7	1870	1,92	0,0994		9,0	27,2764022	15
6	K5		150	3,8	1772	2,03	0,0847		7,6		
7	K6		150	3,8	1894	1,90	0,0792		7,1		
8	K7a		425	10,6	1895	1,90	0,2243		20,2		
9	K7b		425	10,6	1969	1,83	0,2159		19,4		
10	K8		150	3,8	1870	1,92	0,0802		7,2		

LSA-Berechnung Straßenzug HVZ Knotenpunkt 1

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
			[Fz/h]	[Fz]	[Fz/h]	[s/Fz]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]
1	K1		210	5,3	1894	1,90	0,1109		10,0	16,2564668	16
2	K2		90	2,3	1870	1,92	0,0481		4,3	7,05383052	10
3	K3a		433	10,8	1861	1,93	0,2327		20,9	34,1117863	31
4	K3b		432	10,8	1969	1,83	0,2194		19,7		
5	K4		186	4,7	1870	1,92	0,0994		9,0	14,5779164	15
6	K5		150	3,8	1772	2,03	0,0847		7,6		
7	K6		150	3,8	1894	1,90	0,0792		7,1		
8	K7a		425	10,6	1895	1,90	0,2243		20,2		
9	K7b		425	10,6	1969	1,83	0,2159		19,4		
10	K8		150	3,8	1870	1,92	0,0802		7,2		

LSA-Berechnung Straßenzug HVZ Knotenpunkt 2

Nr.	Bez.	q _{maß}	q _{S,st}	S V	f ₁	Bez	f ₂	B e z	q _S	q _{maßg} /q _S	g _{gew}	q _{maßg} /(g* _S)
1	K1a	300	2000	3	0,984	SV			1817	0,1651		
2	K1b	300	2000	3	0,984	SV			1969	0,1524		
3	K2	150	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0802		
4	K3a	432	2000	3	0,984	SV			1861	0,2321		
5	K3b	432	2000	3	0,984	SV			1969	0,2194		
6	K4	224	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,1198		
7	K5a	282	2000	3	0,984	SV			1833	0,1539		
8	K5b	281	2000	3	0,984	SV			1969	0,1427		
9	K6	187	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,1000		
10	K7a	373	2000	3	0,984	SV			1853	0,2013		
11	K7b	372	2000	3	0,984	SV			1969	0,1889		
12	K8	195	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,1043		

q _{maßg} l/q _S	0,616					87,451	T _U	
l	9	T _Z	19		T _U	4	gew.	90
		T _Z	18		T _U	7	gew.	90

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _S	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
1	K1a		300	7,5	1817	1,98	0,1651		14,9	18,9975301	18
2	K1b		300	7,5	1969	1,83	0,1524		13,7		
3	K2		150	3,8	1870	1,92	0,0802		7,2		
4	K3a		432	10,8	1861	1,93	0,2321		20,9	26,71345	25
5	K3b		432	10,8	1969	1,83	0,2194		19,7		
6	K4		224	5,6	1870	1,92	0,1198		10,8	13,7828235	14
7	K5a		282	7,1	1833	1,96	0,1539		13,8		
8	K5b		281	7,0	1969	1,83	0,1427		12,8		
9	K6		187	4,7	1870	1,92	0,1000		9,0	11,5061964	12
10	K7a		373	9,3	1853	1,94	0,2013		18,1		
11	K7b		372	9,3	1969	1,83	0,1889		17,0		
12	K8		195	4,9	1870	1,92	0,1043		9,4		

LSA-Berechnung Straßenzug HVZ Knotenpunkt 2

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
1	K1a		300	7,5	1817	1,98	0,1651		14,9	19,265101	19
2	K1b		300	7,5	1969	1,83	0,1524		13,7		
3	K2		150	3,8	1870	1,92	0,0802		7,2		
4	K3a		432	10,8	1861	1,93	0,2321		20,9	30,052204	30
5	K3b		432	10,8	1969	1,83	0,2194		19,7		
6	K4		224	5,6	1870	1,92	0,1198		10,8	13,7828235	16
7	K5a		282	7,1	1833	1,96	0,1539		13,8		
8	K5b		281	7,0	1969	1,83	0,1427		12,8		
9	K6		187	4,7	1870	1,92	0,1000		9,0	11,6682555	12
10	K7a		373	9,3	1853	1,94	0,2013		18,1		
11	K7b		372	9,3	1969	1,83	0,1889		17,0		
12	K8		195	4,9	1870	1,92	0,1043		9,4		

LSA-Berechnung Straßenzug HVZ Knotenpunkt 3

Nr.	Bez.	q _{maß}	q _{S,st}	S V	f ₁	Be z	f ₂	Be z	q _s	q _{maßg} /q _s	g _{ge} w	q _{maßg} /(g* q _s)
1	K1a	225	2000	3	0,984	SV	0,9		1772	0,1270		
2	K1b	225	2000	3	0,984	SV	0,9		1772	0,1270		
3	K2	300	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,1604		
4	K3a	375	2000	3	0,984	SV			1906	0,1968		
5	K3b	375	2000	3	0,984	SV			1969	0,1905		
6	K4a	334	2000	3	0,984	SV			1969	0,1696		
7	K4b	333	2000	3	0,984	SV			1969	0,1691		
8	K5	206	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,1101		

q _{maßg} l/q _s	0,467								51,625	T _U	
l	3	T _z	15					T _U	8	gew.	72
		T _z	15					T _U	8	gew.	72

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
1	K1a		225	4,5	1772	2,03	0,1270		9,1		
2	K1b		225	4,5	1772	2,03	0,1270		9,1		
3	K2		300	6,0	1870	1,92	0,1604		11,5	19,5636008	20
4	K3a		375	7,5	1906	1,89	0,1968		14,2	24,0027267	23
5	K3b		375	7,5	1969	1,83	0,1905		13,7		
6	K4a		334	6,7	1969	1,83	0,1696		12,2		
7	K4b		333	6,7	1969	1,83	0,1691		12,2		
8	K5		206	4,1	1870	1,92	0,1101		7,9	13,4336725	14

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
1	K1a		225	4,5	1772	2,03	0,1270		9,1		
2	K1b		225	4,5	1772	2,03	0,1270		9,1		
3	K2		300	6,0	1870	1,92	0,1604		11,5	19,5636008	20
4	K3a		375	7,5	1906	1,89	0,1968		14,2	24,0027267	23
5	K3b		375	7,5	1969	1,83	0,1905		13,7		
6	K4a		334	6,7	1969	1,83	0,1696		12,2		
7	K4b		333	6,7	1969	1,83	0,1691		12,2		
8	K5		206	4,1	1870	1,92	0,1101		7,9	13,4336725	14

LSA-Berechnung Straßenzug Schwerverkehr

Knotenpunkt 1

Nr.	Bez.	q _{maß} [Fz/h]	q _{S,st} [Pkw/h]	SV [%]	f ₁ [-]	Be z	f ₂ [-]	Be z	q _S [Fz/h]	q _{maßg} /q _S	g _{gew}	q _{maßg} /(g* _{gew} *q _S)
1	K1	210	2000	10	0,93 2	SV			1793	0,1171		
2	K2	90	2000	10	0,93 2	SV	0,9 5		1771	0,0508		
3	K3a	433	2000	10	0,93 2	SV			1762	0,2457		
4	K3b	432	2000	10	0,93 2	SV			1864	0,2317		
5	K4	186	2000	10	0,93 2	SV	0,9 5		1771	0,1050		
6	K5	150	2000	10	0,93 2	SV	0,9		1678	0,0894		
7	K6	150	2000	10	0,93 2	SV			1793	0,0836		
8	K7a	425	2000	10	0,93 2	SV			1794	0,2369		
9	K7b	425	2000	10	0,93 2	SV			1864	0,2280		
10	K8	150	2000	10	0,93 2	SV	0,9 5		1771	0,0847		

q _{maßg} l/q _S					69,596	T _U	
l	0,5187	T _Z	19	T _U	5	gew.	90
		T _Z	18	T _U	2	gew.	90

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg} [Fz/h]	m [Fz]	q _S [Fz/h]	t _B [s/Fz]	b _{maßg} [-]	g _{gew} [-]	t _{F erf.} [s]	t _F [s]	t _{F gew.} [s]
1	K1		210	5,3	1793	2,01	0,1171		10,5	12,2239382	16
2	K2		90	2,3	1771	2,03	0,0508		4,6	8,00195591	10
3	K3a		433	10,8	1762	2,04	0,2457		22,1	29,6897229	30
4	K3b		432	10,8	1864	1,93	0,2317		20,9		
5	K4		186	4,7	1771	2,03	0,1050		9,5	27,2764022	15
6	K5		150	3,8	1678	2,15	0,0894		8,0		
7	K6		150	3,8	1793	2,01	0,0836		7,5		
8	K7a		425	10,6	1794	2,01	0,2369		21,3		
9	K7b		425	10,6	1864	1,93	0,2280		20,5		
10	K8		150	3,8	1771	2,03	0,0847		7,6		

LSA-Berechnung Straßenzug Schwerverkehr Knotenpunkt 1

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
			[Fz/h]	[Fz]	[Fz/h]	[s/Fz]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]
1	K1		210	5,3	1793	2,01	0,1171		10,5	16,2564668	16
2	K2		90	2,3	1771	2,03	0,0508		4,6	7,05383052	10
3	K3a		433	10,8	1762	2,04	0,2457		22,1	34,1117863	31
4	K3b		432	10,8	1864	1,93	0,2317		20,9		
5	K4		186	4,7	1771	2,03	0,1050		9,5	14,5779164	15
6	K5		150	3,8	1678	2,15	0,0894		8,0		
7	K6		150	3,8	1793	2,01	0,0836		7,5		
8	K7a		425	10,6	1794	2,01	0,2369		21,3		
9	K7b		425	10,6	1864	1,93	0,2280		20,5		
10	K8		150	3,8	1771	2,03	0,0847		7,6		

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
1	K1a		300	7,5	1721	2,09	0,1743		15,7	18,9975301	18
2	K1b		300	7,5	1864	1,93	0,1609		14,5		
3	K2		150	3,8	1771	2,03	0,0847		7,6		
4	K3a		432	10,8	1762	2,04	0,2451		22,1	26,71345	25
5	K3b		432	10,8	1864	1,93	0,2317		20,9		
6	K4		224	5,6	1771	2,03	0,1265		11,4	13,7828235	14
7	K5a		282	7,1	1736	2,07	0,1625		14,6		
8	K5b		281	7,0	1864	1,93	0,1507		13,6		
9	K6		187	4,7	1771	2,03	0,1056		9,5	11,5061964	12
10	K7a		373	9,3	1755	2,05	0,2126		19,1		
11	K7b		372	9,3	1864	1,93	0,1995		18,0		
12	K8		195	4,9	1771	2,03	0,1101		9,9		

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
1	K1a		300	7,5	1721	2,09	0,1743		15,7	19,265101	19
2	K1b		300	7,5	1864	1,93	0,1609		14,5		
3	K2		150	3,8	1771	2,03	0,0847		7,6		
4	K3a		432	10,8	1762	2,04	0,2451		22,1	30,052204	30
5	K3b		432	10,8	1864	1,93	0,2317		20,9		
6	K4		224	5,6	1771	2,03	0,1265		11,4	13,7828235	16
7	K5a		282	7,1	1736	2,07	0,1625		14,6		
8	K5b		281	7,0	1864	1,93	0,1507		13,6		
9	K6		187	4,7	1771	2,03	0,1056		9,5	11,6682555	12
10	K7a		373	9,3	1755	2,05	0,2126		19,1		
11	K7b		372	9,3	1864	1,93	0,1995		18,0		
12	K8		195	4,9	1771	2,03	0,1101		9,9		

LSA-Berechnung Straßenzug Schwerverkehr Knotenpunkt 3

Nr.	Bez.	q _{maß}	q _{S,st}	SV	f ₁	Be z	f ₂	Be z	q _S	q _{maßg} /q _S	g _{gew}	q _{maßg} /(g* q _S)
1	K1a	225	2000	10	0,93 2	SV	0,9		167 8	0,1341		
2	K1b	225	2000	10	0,93 2	SV	0,9		167 8	0,1341		
3	K2	300	2000	10	0,93 2	SV	0,9 5		177 1	0,1694		
4	K3a	375	2000	10	0,93 2	SV			180 5	0,2078		
5	K3b	375	2000	10	0,93 2	SV			186 4	0,2011		
6	K4a	334	2000	10	0,93 2	SV			186 4	0,1791		
7	K4b	333	2000	10	0,93 2	SV			186 4	0,1786		
8	K5	206	2000	10	0,93 2	SV	0,9 5		177 1	0,1163		

q _{maßg} l/q _S	0,493								54,292	T _U	
l	5	T _Z	15					T _U	7	gew.	72
		T _Z	15					T _U	7	gew.	72

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _S	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
1	K1a		225	4,5	1678	2,15	0,1341		9,7		
2	K1b		225	4,5	1678	2,15	0,1341		9,7		
3	K2		300	6,0	1771	2,03	0,1694		12,2	19,5636008	20
4	K3a		375	7,5	1805	1,99	0,2078		15,0	24,0027267	23
5	K3b		375	7,5	1864	1,93	0,2011		14,5		
6	K4a		334	6,7	1864	1,93	0,1791		12,9		
7	K4b		333	6,7	1864	1,93	0,1786		12,9		
8	K5		206	4,1	1771	2,03	0,1163		8,4	13,4336725	14

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	tF	tF gew.
1	K1a		225	4,5	1678	2,15	0,1341		9,7		
2	K1b		225	4,5	1678	2,15	0,1341		9,7		
3	K2		300	6,0	1771	2,03	0,1694		12,2	19,5636008	20
4	K3a		375	7,5	1805	1,99	0,2078		15,0	24,0027267	23
5	K3b		375	7,5	1864	1,93	0,2011		14,5		
6	K4a		334	6,7	1864	1,93	0,1791		12,9		
7	K4b		333	6,7	1864	1,93	0,1786		12,9		
8	K5		206	4,1	1771	2,03	0,1163		8,4	13,4336725	14

LSA-Berechnung Straßenzug Nacht Knotenpunkt 1

Nr.	Bez.	q _{maß} [Fz/h]	q _{S,st} [Pkw/h]	SV [%]	f ₁ [-]	Be z	f ₂ [-]	B e z	q _S [Fz/h]	q _{maßg} /q _S	g _{gew}	q _{maßg} /(g* _S)
1	K1	70	2000	3	0,984	SV			1894	0,0370		
2	K2	15	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0080		
3	K3a	132	2000	3	0,984	SV			1856	0,0711		
4	K3b	132	2000	3	0,984	SV			1969	0,0670		
5	K4	72	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0385		
6	K5	50	2000	3	0,984	SV	0,9		1772	0,0282		
7	K6	50	2000	3	0,984	SV			1894	0,0264		
8	K7a	128	2000	3	0,984	SV			1895	0,0676		
9	K7b	127	2000	3	0,984	SV			1969	0,0645		
10	K8	45	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0241		

q _{maßg} l/q _S					39,625	T _U	
l	0,1546	T _Z	19	T _U	6	gew.	60
		T _Z	18	T _U	3	gew.	60

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg} [Fz/h]	m [Fz]	q _S [Fz/h]	t _B [s/Fz]	b _{maßg} [-]	g _{gew} [-]	t _F erf. [s]	t _F [s]	t _F gew. [s]
1	K1		70	1,2	1894	1,90	0,0370		2,2	10,5021097	10
2	K2		15	0,3	1870	1,92	0,0080		0,5	2,27848101	10
3	K3a		132	2,2	1856	1,94	0,0711		4,3	20,2025316	11
4	K3b		132	2,2	1969	1,83	0,0670		4,0		
5	K4		72	1,2	1870	1,92	0,0385		2,3		
6	K5		50	0,8	1772	2,03	0,0282		1,7	8,01687764	10
7	K6		50	0,8	1894	1,90	0,0264		1,6		
8	K7a		128	2,1	1895	1,90	0,0676		4,1		
9	K7b		127	2,1	1969	1,83	0,0645		3,9		
10	K8		45	0,8	1870	1,92	0,0241		1,4		

LSA-Berechnung Straßenzug Nacht Knotenpunkt 1

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
			[Fz/h]	[Fz]	[Fz/h]	[s/Fz]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]
1	K1		70	1,2	1894	1,90	0,0370		2,2	10,0430397	10
2	K2		15	0,3	1870	1,92	0,0080		0,5	2,17888366	10
3	K3a		132	2,2	1856	1,94	0,0711		4,3	19,3194351	12
4	K3b		132	2,2	1969	1,83	0,0670		4,0		
5	K4		72	1,2	1870	1,92	0,0385		2,3	10,4586416	10
6	K5		50	0,8	1772	2,03	0,0282		1,7		
7	K6		50	0,8	1894	1,90	0,0264		1,6		
8	K7a		128	2,1	1895	1,90	0,0676		4,1		
9	K7b		127	2,1	1969	1,83	0,0645		3,9		
10	K8		45	0,8	1870	1,92	0,0241		1,4		

LSA-Berechnung Straßenzug Nacht Knotenpunkt 2

Nr.	Bez.	q _{maß}	q _{S,st}	S V	f ₁	Be z	f ₂	Be z	q _S	q _{maßg} /q _S	g _{gew}	q _{maßg} /(g* q _S)
1	K1a	96	2000	3	0,984	SV			1817	0,0528		
2	K1b	96	2000	3	0,984	SV			1969	0,0488		
3	K2	48	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0257		
4	K3a	138	2000	3	0,984	SV			1861	0,0742		
5	K3b	138	2000	3	0,984	SV			1969	0,0701		
6	K4	48	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0257		
7	K5a	90	2000	3	0,984	SV			1833	0,0491		
8	K5b	90	2000	3	0,984	SV			1969	0,0457		
9	K6	60	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0321		
10	K7a	118	2000	3	0,984	SV			1855	0,0636		
11	K7b	117	2000	3	0,984	SV			1969	0,0594		
12	K8	60	2000	3	0,984	SV	0,95		1870	0,0321		

q _{maßg} l/q _S	0,184						41,090 T _U
l	7	T _Z	19		T _U	2 gew.	60
		T _Z	18		T _U	4 gew.	60

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _S	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
1	K1a		96	1,6	1817	1,98	0,0528		3,2	11,7244573	11
2	K1b		96	1,6	1969	1,83	0,0488		2,9		
3	K2		48	0,8	1870	1,92	0,0257		1,5		
4	K3a		138	2,3	1861	1,93	0,0742		4,4	16,4593343	11
5	K3b		138	2,3	1969	1,83	0,0701		4,2		
6	K4		48	0,8	1870	1,92	0,0257		1,5	5,69609262	10
7	K5a		90	1,5	1833	1,96	0,0491		2,9		
8	K5b		90	1,5	1969	1,83	0,0457		2,7		
9	K6		60	1,0	1870	1,92	0,0321		1,9	7,12011577	10
10	K7a		118	2,0	1855	1,94	0,0636		3,8		
11	K7b		117	2,0	1969	1,83	0,0594		3,6		
12	K8		60	1,0	1870	1,92	0,0321		1,9		

LSA-Berechnung Straßenzug Nacht Knotenpunkt 2

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg}	m	q _s	t _B	b _{maßg}	g _{gew}	t _{F erf.}	t _F	t _{F gew.}
1	K1a		96	1,6	1817	1,98	0,0528		3,2	12,0104197	11
2	K1b		96	1,6	1969	1,83	0,0488		2,9		
3	K2		48	0,8	1870	1,92	0,0257		1,5		
4	K3a		138	2,3	1861	1,93	0,0742		4,4	16,8607815	12
5	K3b		138	2,3	1969	1,83	0,0701		4,2		
6	K4		48	0,8	1870	1,92	0,0257		1,5	5,83502171	10
7	K5a		90	1,5	1833	1,96	0,0491		2,9		
8	K5b		90	1,5	1969	1,83	0,0457		2,7		
9	K6		60	1,0	1870	1,92	0,0321		1,9	7,29377713	10
10	K7a		118	2,0	1855	1,94	0,0636		3,8		
11	K7b		117	2,0	1969	1,83	0,0594		3,6		
12	K8		60	1,0	1870	1,92	0,0321		1,9		

LSA-Berechnung Straßenzug Nacht Knotenpunkt 3

Nr.	Bez.	q _{maß} [Fz/h]	q _{S,st} [Pkw/h]	SV [%]	f ₁ [-]	Bez z	f ₂ [-]	Bez z	q _s [Fz/h]	q _{maßg} /q _s	g _{gew}	q _{maßg} /(g* _{q_s})
1	K1a	72	2000	3	0,98 4	SV	0,9		1772	0,0406		
2	K1b	72	2000	3	0,98 4	SV	0,9		1772	0,0406		
3	K2	96	2000	3	0,98 4	SV	0,9 5		1870	0,0513		
4	K3a	120	2000	3	0,98 4	SV			1905	0,0630		
5	K3b	120	2000	3	0,98 4	SV			1969	0,0609		
6	K4a	107	2000	3	0,98 4	SV			1969	0,0543		
7	K4b	107	2000	3	0,98 4	SV			1969	0,0543		
8	K5	64	2000	3	0,98 4	SV	0,9 5		1870	0,0342		

q _{maßg} l/q _s					41,417	T _U
l	0,1549	T _z	20	T _U	2	gew. 60
		T _z	20	T _U	2	gew. 60

Nr.	Bez.	maßg.	q _{maßg} [Fz/h]	m [Fz]	q _s [Fz/h]	t _B [s/Fz]	b _{maßg} [-]	g _{gew} [-]	t _F erf. [s]	t _F [s]	t _F gew. [s]
1	K1a		72	1,2	1772	2,03	0,0406		2,4		
2	K1b		72	1,2	1772	2,03	0,0406		2,4		
3	K2		96	1,6	1870	1,92	0,0513		3,1	17,9607109	15
4	K3a		120	2,0	1905	1,89	0,0630		3,8	22,0392891	20
5	K3b		120	2,0	1969	1,83	0,0609		3,7		
6	K4a		107	1,8	1969	1,83	0,0543		3,3		
7	K4b		107	1,8	1969	1,83	0,0543		3,3		
8	K5		64	0,0	1870	1,92	0,0342		0,0	0	10

LSA-Berechnung Straßenzug Nacht Knotenpunkt 3

Nr.	Bez.	maßg.	$q_{\text{maßg}}$	m	q_s	t_B	$b_{\text{maßg}}$	g_{gew}	$t_{F \text{ erf.}}$	tF	tF gew.
			[Fz/h]	[Fz]	[Fz/h]	[s/Fz]	[-]	[-]	[s]	[s]	[s]
1	K1a		72	1,2	1772	2,03	0,0406		2,4		
2	K1b		72	1,2	1772	2,03	0,0406		2,4		
3	K2		96	1,6	1870	1,92	0,0513		3,1	13,8228942	14
4	K3a		120	2,0	1905	1,89	0,0630		3,8	16,9618431	16
5	K3b		120	2,0	1969	1,83	0,0609		3,7		
6	K4a		107	1,8	1969	1,83	0,0543		3,3		
7	K4b		107	1,8	1969	1,83	0,0543		3,3		
8	K5		64	1,1	1870	1,92	0,0342		2,1	14,6364291	15