

Maßnahmen zur Verbesserung der Radverkehrsqualität an Knotenpunkten

Ergebnisbericht

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das Projekt wird vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) aus Mitteln zur Umsetzung des Nationalen Radverkehrsplans 2020 gefördert.

Ergebnisbericht zum Projekt:

„Maßnahmen zur Verbesserung der Radverkehrsqualität an Knotenpunkten“

Zuwendungsempfänger:

Technische Universität Berlin, Fachgebiet Straßenplanung und Straßenbetrieb

Förderkennzeichen:

VB 1525

Vorhabenbezeichnung:

„Maßnahmen zur Verbesserung der Radverkehrsqualität an Knotenpunkten“

Laufzeit des Vorhabens:

01.02.2016 bis 31.01.2019

Projektleitung:

Thomas Richter, Prof. Dr. -Ing.

Bearbeitung und Berichterstattung:

Oliver Beyer, M.Sc.

Sarah Hampel, M.Sc.

Lisa Junghanns, M.Eng.

Berlin im April 2020

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	VI
Abkürzungsverzeichnis.....	VII
Glossar.....	VIII
1 Einleitung	1
1.1 Vorstellung des Projektes und der Projektziele.....	1
1.2 Kurzportrait der Projektpartner	2
1.3 Untersuchungsablauf	5
2 Grundlagenermittlung	6
2.1 Methodik der Grundlagenermittlung	6
2.2 Literaturanalyse.....	6
2.2.1 Richtlinien und Regelwerke	6
2.2.2 Abgeschlossene und laufende Forschung.....	7
2.3 Praxisbeispiele	8
2.3.1 Best-Practice-Lösungen	8
2.3.2 Expertise von kommunal Planenden und Entscheidungstragenden	10
2.4 Ermittlung der Untersuchungsschwerpunkte	11
2.5 Vorstellung und Auswahlkriterien der Knotenpunkte.....	13
2.5.1 Knotenpunkt F3 - Frankfurt am Main	13
2.5.2 Knotenpunkt F4 - Frankfurt am Main	14
2.5.3 Knotenpunkt H1 - Hannover	16
2.5.4 Knotenpunkt L4 - Leipzig.....	18
2.5.5 Knotenpunkt L5 - Leipzig.....	20
2.5.6 Knotenpunkt O3 - Oldenburg.....	22
3 Methodik und Untersuchungsergebnisse des Ist-Zustandes der Knotenpunkte	24
3.1 Verkehrserhebung des Ist-Zustandes der Knotenpunkte.....	24
3.1.1 Methodik	24

3.1.2	Knotenpunkt F3 - Frankfurt am Main	25
3.1.3	Knotenpunkt F4 - Frankfurt am Main	26
3.1.4	Knotenpunkt H1 - Hannover	30
3.1.5	Knotenpunkt L4 - Leipzig.....	32
3.1.6	Knotenpunkt L5 - Leipzig.....	33
3.1.7	Knotenpunkt O3 - Oldenburg.....	34
3.2	Verkehrssimulation des Ist-Zustandes.....	36
3.2.1	Methodik	36
3.2.2	Knotenpunkt F3 - Frankfurt am Main	37
3.2.3	Knotenpunkt F4 - Frankfurt am Main	38
3.2.4	Knotenpunkt H1 - Hannover	39
3.2.5	Knotenpunkt L4 - Leipzig.....	39
3.2.6	Knotenpunkt L5 - Leipzig.....	40
3.2.7	Knotenpunkt O3 - Oldenburg.....	40
4	Empfehlung von Maßnahmen und Untersuchungsergebnisse	42
4.1	Empfehlung von Maßnahmen	42
4.1.1	Methodik	42
4.1.2	Knotenpunkt F3 - Frankfurt am Main	42
4.1.3	Knotenpunkt F4 - Frankfurt am Main	42
4.1.4	Knotenpunkt H1 - Hannover	43
4.1.5	Knotenpunkt L4 - Leipzig.....	45
4.1.6	Knotenpunkt L5 - Leipzig.....	46
4.1.7	Knotenpunkt O3 - Oldenburg.....	48
4.2	Ergebnisse der Verkehrssimulation der Maßnahmen	49
4.2.1	Methodik	49
4.2.2	Knotenpunkt F4 - Frankfurt am Main	50
4.2.3	Knotenpunkt H1 - Hannover	51
4.2.4	Knotenpunkt L4 - Leipzig.....	52
4.2.5	Knotenpunkt O3 - Oldenburg.....	53

4.3	Ergebnisse der umgesetzten Maßnahmen	54
4.3.1	Methodik	54
4.3.2	Auswertung der Videoerhebungen am Knotenpunkt F4 in Frankfurt am Main	54
4.3.3	Auswertung der Befragungen am Knotenpunkt F4 in Frankfurt am Main	59
5	Zusammenfassung der Ergebnisse und Empfehlungen.....	64
	Quellenverzeichnis	X
	Anhang I- Lagepläne der Knotenpunkte	XII
	Anhang II- Maßnahmenskizzen der Knotenpunkte	XIX
	Anhang III- Fragebogen.....	XXV

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Modal Split in Frankfurt am Main [TU Dresden].....	2
Abbildung 2: Modal Split 2017 in Hannover [Region Hannover].....	3
Abbildung 3: Modal Split 2015 in Leipzig [Stadt Leipzig].....	3
Abbildung 4: Modal Split 2009 in Oldenburg [Stadt Oldenburg]	4
Abbildung 5: Übersicht des Untersuchungsablaufes [TU Berlin]	5
Abbildung 6: Lageplan Knotenpunkt F3 [Stadt Frankfurt am Main]	13
Abbildung 7: Lageplan Knotenpunkt F4 [Stadt Frankfurt am Main, bearbeitet]	15
Abbildung 8: Lageplan Knotenpunkt H1, Teilknotenpunkt Königsworther Platz / Schlosswender Straße [Stadt Hannover]	16
Abbildung 9: Lageplan Knotenpunkt H1, Teilknotenpunkt Königsworther Platz / Königsworther Straße [Stadt Hannover]	17
Abbildung 10: Lageplan Knotenpunkt L4 [Stadt Leipzig, Verkehrs- und Tiefbauamt, bearbeitet] ...	19
Abbildung 11: Lageplan Knotenpunkt L5, Ausschnitt aus Signallageplanskizze [Stadt Leipzig, Verkehrs- und Tiefbauamt].....	21
Abbildung 12: Lageplan Knotenpunkt O3 [Stadt Oldenburg].....	23
Abbildung 13: Kfz- (links) und Radverkehrsströme (rechts) am Knotenpunkt F3 [TU Berlin].....	25
Abbildung 14: Überholen abseits der Radverkehrsfurten am Knotenpunkt F3 [TU Berlin]	25
Abbildung 15: Kfz- (links) und Radverkehrsströme (rechts) am Knotenpunkt F4 [TU Berlin].....	26
Abbildung 16: Aufstellverhalten am Knotenpunkt F4 [Stadt Frankfurt am Main, TU Berlin]	27
Abbildung 17: Rückstau von Radfahrenden am Knotenpunkt F4 [TU Berlin]	27
Abbildung 18: Anteil Grün- / Gelb- / Rotfahrten -Vorher- gesamt, F4 [TU Berlin]	28
Abbildung 19: Anteil Grün- / Gelb- / Rotfahrten -Vorher- differenziert, F4 [TU Berlin]	28
Abbildung 20: Geringe Zeitabstände am Konfliktpunkt infolge häufiger Rotfahrten, F4 [TU Berlin]	29
Abbildung 21: Zeitabstand zwischen räumendem Rad und einf. Kfz (PET) im Ist-Zustand, F4 [TU Berlin]	29
Abbildung 22: Kfz- (links) und Radverkehrsströme (rechts) am Knotenpunkt H1 [TU Berlin]	30
Abbildung 23: Ausweichen von Zweirichtungsfurt auf der Brühlstraße, H1 [TU Berlin]	31
Abbildung 24: Nicht bedarfsgerechte Radverkehrsanlagen am Knotenpunkt H1 [TU Berlin]	31
Abbildung 25: Kfz- (links) und Radverkehrsströme (rechts) am Knotenpunkt L4 [TU Berlin].....	32

Abbildung 26: Beengende Platzverhältnisse für Rad und Kfz am Knotenpunkt L4 [TU Berlin].....	33
Abbildung 27: Kfz- (links) und Radverkehrsströme (rechts) am Knotenpunkt L5 [TU Berlin].....	33
Abbildung 28: Nicht bedarfsgerechte Aufstellfläche am Knotenpunkt L5 [TU Berlin].....	34
Abbildung 29: Kfz- (links) und Radverkehrsströme (rechts) am Knotenpunkt O3 [TU Berlin].....	35
Abbildung 30: Kreuzen starker Ströme auf engem Raum am Knotenpunkt O3 [TU Berlin].....	35
Abbildung 31: Lageplan F4 mit umgesetzten Maßnahmen [Stadt Frankfurt am Main, TU Berlin]...	43
Abbildung 32: Maßnahmenskizze am nördlichen Teilknoten H1 [Stadt Hannover, TU Berlin].....	44
Abbildung 33: Maßnahmenskizze am südlichen Teilnoten H1 [Stadt Hannover, TU Berlin].....	45
Abbildung 34: Maßnahmenskizze am Knotenpunkt L4 [Stadt Leipzig, TU Berlin]	46
Abbildung 35: Maßnahmenskizze am Knotenpunkt L5 [Stadt Leipzig, TU Berlin]	47
Abbildung 36: Maßnahmenskizze am Knotenpunkt O3 [Stadt Oldenburg, TU Berlin]	49
Abbildung 37: Maßnahmenumsetzung am Knotenpunkt F4 [Stadt Frankfurt am Main].....	55
Abbildung 38: Anteile gesamt, Grün-/Gelb-/Rotfahrten im Vorher-Nachher-Vergleich [TU Berlin]..	57
Abbildung 39: Anteile differenziert, Grün-/Gelb-/Rotfahrten im Vorher-Nachher-Vergleich [TU Berlin]	57
Abbildung 40: Vorher-Nachher-Vergleich der Post-Encroachment-Time [TU Berlin].....	58
Abbildung 41: Altersangaben der befragten Radfahrenden [TU Berlin].....	59
Abbildung 42: Häufigkeit der Nutzung [TU Berlin].....	60
Abbildung 43: Wahrgenommene Änderungen am Knotenpunkt durch die Befragten.....	60
Abbildung 44: Bewertung der Maßnahmen durch alle Nutzergruppen, gesamt [TU Berlin].....	61
Abbildung 45: Bewertung durch die Nutzergruppen nach Häufigkeit der Nutzung [TU Berlin]	62
Abbildung 46: Bewertung durch die Nutzergruppen nach Alter [TU Berlin]	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der initial diskutierten Knotenpunkte [TU Berlin]	12
Tabelle 2: Übersicht über der priorisierten Knotenpunkte [TU Berlin].....	12
Tabelle 3: Übersicht der potentiellen Ersatzknotenpunkte [TU Berlin].....	12
Tabelle 4: Simulationsauswertung des Ist-Zustandes am Knotenpunkt F3 [TU Berlin]	37
Tabelle 5: Simulationsauswertung des Ist-Zustandes am Knotenpunkt F4 [TU Berlin]	38
Tabelle 6: Simulationsauswertung des Ist-Zustandes am Knotenpunkt H1 [TU Berlin]	39
Tabelle 7: Simulationsauswertung des Ist-Zustandes am Knotenpunkt L4 [TU Berlin].....	40
Tabelle 8: Simulationsauswertung des Ist-Zustandes am Knotenpunkt L5 [TU Berlin].....	40
Tabelle 9: Simulationsauswertung des Ist-Zustandes am Knotenpunkt O3 [TU Berlin].....	41
Tabelle 10: Simulationsauswertung der verkehrabhängigen Steuerung am Knotenpunkt F4 [TU Berlin]	51
Tabelle 11: Simulationsauswertung der Maßnahme am Knotenpunkt H1 [TU Berlin]	51
Tabelle 12: Simulationsauswertung der Maßnahme am Knotenpunkt L4 [TU Berlin].....	52
Tabelle 13: Simulationsauswertung der Maßnahme am Knotenpunkt O3 [TU Berlin]	53
Tabelle 14: Anteile der Umlauffreigabezeit innerhalb einer Signalisierungsstunde ¹	55

Abkürzungsverzeichnis

ARAS	aufgeweiteter Radaufstellstreifen
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
ERA	Empfehlungen für Radverkehrsanlagen
FG	Fußgänger
HBS	Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen
HSRa	Hinweise zur Signalisierung des Radverkehrs
Kfz	Kraftfahrzeug
LSA	Lichtsignalanlage
MIV	Motorisierter Individualverkehr
ÖPNV	Öffentlicher Personennahverkehr
QSV	Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes
RF	Radfahrende
RVA	Radverkehrsanlage
s	Sekunde
SZP	Signalzeitenplan
UBA	Umweltbundesamt
VA	Verkehrsabhängige Steuerung der Lichtsignalanlage

Glossar

Festzeit-Signalprogramm	Lichtsignalsteuerung eines Signalprogrammes mit festgelegten Signalzeiten, ohne Beeinflussung durch den Verkehr.
Freigabezeit (= Grünzeit)	Zeitdauer eines Freigabesignals für einen Verkehrsstrom.
Furt	Durch Markierung gekennzeichnete Querungsstelle für zu Fuß Gehende und/oder Radfahrende auf der Fahrbahn.
Haltezahl	Anzahl der Stopps auf einem Streckenabschnitt.
Haltlinie	Durchgehende breite Markierung quer zum Fahrstreifen, an der Verkehrsteilnehmende aufgrund von Verkehrszeichen oder Lichtsignalanlagen anhalten müssen.
Maßgebender Strom	Radverkehrsströme, die im Rahmen der Untersuchung des Ist-Zustandes besonders auffällige Defizite im Kontext der gesamten Knotenpunktumgebung aufweisen.
Post-Encroachment-Time (PET)	Zeitabstand, zwischen dem Verlassen des potentiellen Konfliktpunktes des ersten Verkehrsteilnehmenden auf einem Pfad und dem Erreichen des potentiellen Konfliktpunktes des zweiten Verkehrsteilnehmenden auf einem kreuzenden Pfad.
Progressionsgeschwindigkeit	Geschwindigkeit, die dem Entwurf von Grünen Wellen zugrunde gelegt ist.
Radfahrstreifen	Auf der Fahrbahn markierte Radverkehrsanlage, die durch ein Verkehrszeichen gekennzeichnet und für Radfahrende Benutzungspflichtig ist.
Radweg	Straßenbegleitender oder selbstständig geführter Fahrweg für Radfahrende. Dieser kann ohne Benutzungspflicht oder nach Straßenverkehrs-Ordnung durch Verkehrszeichen mit Benutzungspflicht ausgewiesen sein.
Schutzstreifen	Im Seitenbereich der Fahrbahn durch eine Leitlinie markiert. Dieser ist vorrangig dem Radverkehr vorbehalten, darf jedoch bei Bedarf durch den Kraftfahrzeugverkehr überfahren werden.
Signalprogramm	Festgelegte Signalzeiten bezüglich Dauer und Zuordnung einer Lichtsignalanlage.
Signalsteuerung, verkehrsabhängig	Lichtsignalsteuerung eines Signalprogrammes wird durch den Verkehr beeinflusst.
Umlauf	Einmalige Durchführung eines Signalprogrammes.
Verlustzeit	Zeitdifferenz, die durch das Durchfahren eines Knotenpunktes (aufgrund der Signalisierung, anderen Fahrzeugen, usw.) gegenüber der idealen Fahrt ohne Knotenpunkt resultiert.
Wartezeit	Zeitdauer in der ein Verkehrsmittel/Fahrzeug nicht in Bewegung ist.
Zeitbedarfswert	Zeitlücke zwischen zwei aufeinanderfolgenden Fahrzeugen

1 Einleitung

Zunehmender Radverkehr spielt insbesondere in urbanen Räumen eine bedeutende Rolle. Die Verlagerung der Verkehrsmittelanteile zugunsten des Umweltverbundes aus ÖPNV, Fuß- und Radverkehr stellt dabei eine durchaus wünschenswerte Entwicklung dar. Aus Sicht der Verkehrsplanung kommt es in diesem Zusammenhang nicht nur darauf an, Anreize für die Nutzerinnen und Nutzer zu schaffen auf umweltverträgliche Verkehrsmittel wie das Fahrrad umzusteigen. Auch sehen sich die Kommunen der Herausforderungen gegenüber, die Verkehrsinfrastruktur im Sinne der steigenden Bedarfe zu ertüchtigen.

Wurden Radverkehrsanlagen vielerorts bislang nach Flächenverfügbarkeit und demnach angebotsorientiert angelegt, so zeigt sich nun, dass gerade an wichtigen Radverkehrsverbindungen die Verkehrsanlagen so geplant werden müssen, dass sie den Qualitätsansprüchen einer guten und sicheren Verkehrsflussabwicklung auch aus Sicht des Radverkehrs entsprechen.

1.1 Vorstellung des Projektes und der Projektziele

Ziel des Modellprojekts „Maßnahmen zur Verbesserung der Radverkehrsqualität an Knotenpunkten“ war es daher zum Erkenntnisgewinn bedarfs- und qualitätsorientierter Knotenpunktgestaltungen beizutragen. Im Januar 2016 als Verbundvorhaben der Stadt Leipzig mit der Technischen Universität Berlin gestartet, wurde das Modellprojekt vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) im Rahmen des Nationalen Radverkehrsplans (NRVP) gefördert und dem Umweltbundesamt (UBA) als Projektträger begleitet.

In Kooperation mit den Partnerstädten Frankfurt am Main, Hannover, Leipzig und Oldenburg initiiert, konnten vor Ort für den Radverkehr auffällige Knotenpunkte wissenschaftlich untersucht und Vorschläge zu deren Verbesserung erarbeitet werden. Mithilfe von Verkehrserhebungen, multi-modalen Verkehrssimulationen des Ist-Zustandes sowie der Simulation von empfohlenen Pilotmaßnahmen wurden Erkenntnisse gewonnen, die zur Steigerung der Radverkehrsqualität¹ beitragen können. Dabei wurden insbesondere Fragestellungen zu Optimierungspotentialen untersucht. Der Fokus lag dabei auf dem Einfluss der radverkehrlichen Kapazitäten, der Dimensionierung und Führung der Radverkehrsanlage sowie dem Einfluss der betrieblichen Abwicklung auf die Verkehrsqualität. Wechselwirkungen mit anderen Verkehrsteilnehmergruppen wurden gleichermaßen betrachtet, wie Möglichkeiten zur Optimierung des Radverkehrsflusses, ohne stark belastete Kraftfahrzeugströme nennenswert zu beeinträchtigen. Im Rahmen der Projektlaufzeit war es exemplarisch in der Partnerstadt Frankfurt am Main möglich, die entwickelten Maßnahmen umzusetzen und zu evaluieren.

¹ Im Kontext des Projekts und des vorliegenden Berichts wird unter „Radverkehrsqualität“ ein primärer Fokus der Untersuchungen auf der Kapazität des Radverkehrs, dem Radverkehrsfluss und Wartezeiten verstanden. Auswirkungen auf die objektive Sicherheit sowie das subjektive Sicherheitsempfinden standen nicht im Vordergrund der Untersuchungen.

1.2 Kurzportrait der Projektpartner

Stadt Frankfurt am Main - Projektpartnerstadt

Die Stadt Frankfurt am Main ist mit ihren rund 730.000 Einwohnerinnen und Einwohner im Bundesland Hessen verortet. Als Messestadt, Finanz- und Handelszentrum bekannt, wird ihr städtebauliches Bild insbesondere durch die Skyline am Main geprägt. Die Stadt gilt als Drehkreuz mehrerer europäischer Handelsstraßen und ist verkehrsgünstig gelegen. Kennzeichnend dafür sind der größte Personenbahnhof Deutschlands, bei täglich rund 331.000 Kraftfahrzeugen eines der beanspruchtesten Autobahnkreuze Deutschlands, mehrere Binnenhäfen, sowie einem der größten europäischen Flughäfen. Rund 334.000 Pendlerinnen und Pendler bewegen sich Tag für Tag durch in die Stadt [1, 2].

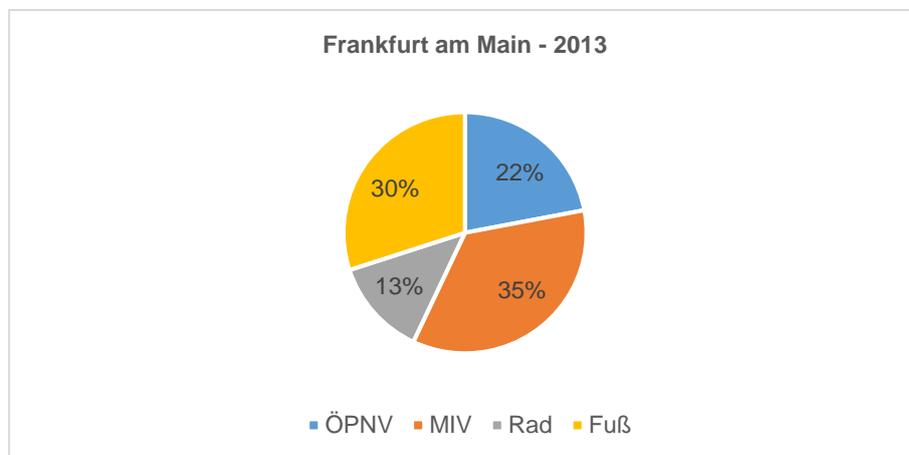


Abbildung 1: Modal Split in Frankfurt am Main [TU Dresden]

Wie in Abbildung 1 dargestellt, ist der Radverkehr am Modal Split der Stadt mit 13 Prozent vertreten und legte seit 1998 um mehr als die Hälfte zu [3, 4]. Um den Radverkehr zu begünstigen, wird das Frankfurter Radverkehrsnetz ausgebaut, so dass eine Verbindung von städtischen und regionalen Routen entsteht. Zudem sind Radschnellwege geplant, insbesondere um pendelnde Personen anzusprechen [5].

Stadt Hannover - Projektpartnerstadt

Hannover ist die Hauptstadt Niedersachsens und zählt rund 535.000 Einwohnerinnen und Einwohner. Sie ist nicht nur als Messe- und Universitätsstandort, sondern auch als eine der grünsten Städte des Landes bekannt [6]. Der Radverkehrsanteil am Modal Split lag im Jahr 2017 bei rund 19 % (siehe Abbildung 2) [7].

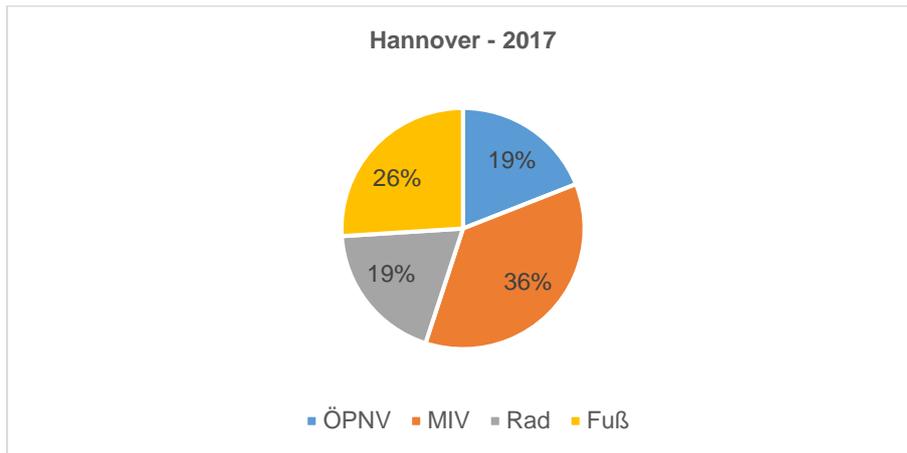


Abbildung 2: Modal Split 2017 in Hannover [Region Hannover]

Bis zum Jahr 2025 sind von der Stadt 25 % angestrebt. Aktionsprogramme mit Initiativen unter dem Motto "Lust auf Fahrrad" und Fahrradinfrastrukturförderung sollen zur Steigerung des Radverkehrsanteils am Gesamtverkehr beitragen [8].

Stadt Leipzig - erst Verbundpartnerstadt, dann Projektpartnerstadt

Leipzig - Ideengeber bzw. Initiator des Projektes und zeitweilig Verbundpartner - zählt mit rund 601.740 Einwohnerinnen und Einwohnern zur größten Stadt Sachsens. Bekannt ist sie seit dem Mittelalter als Universitäts- und Handelsstadt, heute gilt sie als dynamisch und kreativ [9,10]. Der Radverkehr ist am Modal Split mit 17,6% vertreten (siehe Abbildung 3) [11].

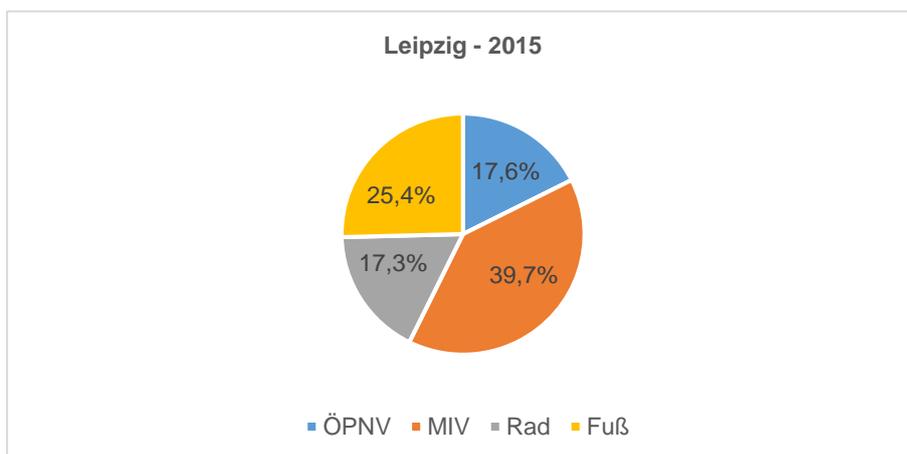


Abbildung 3: Modal Split 2015 in Leipzig [Stadt Leipzig]

Gute Bedingungen weist die Stadt Leipzig durch die durchmischte und kompakte Stadtstruktur, geringe Steigungen sowie zahlreiche Grünverbindungen auf, die für Radfahrende freigegeben sind. Radverkehrsanlagen stehen im öffentlichen Verkehrsraum mit einer Gesamtlänge von rund 400 Kilometern zur Verfügung. Bis zum Jahr 2020 ist von der Stadt eine Steigerung des Radverkehrsanteils auf 20% angestrebt [12].

Stadt Oldenburg - Projektpartnerstadt

Oldenburg befindet sich in Niedersachsen, verzeichnet etwa 169.140 Einwohnerinnen und Einwohner sowie rund 250.000 Fahrräder [13]. Wie in Abbildung 4 dargestellt, zeigen jüngste Zahlen vom Modal Split aus dem Jahr 2009 einen Radverkehrsanteil von 42,7 % am Gesamtaufkommen [14]. Durch die hohe Bedeutung des Radverkehrs in der Stadt hat Oldenburg den Ruf als „Fahrradstadt“ und kann als Vorreiter in Sachen Radverkehrsförderung gelten. Mit dem entsprechenden Programm zur Radverkehrsförderung, das auf Qualitätsverbesserung des Radverkehrs abzielt, wurde die Universitätsstadt im Jahr 2016 als "Fahrradfreundliche Kommune Niedersachsen" zertifiziert [15].

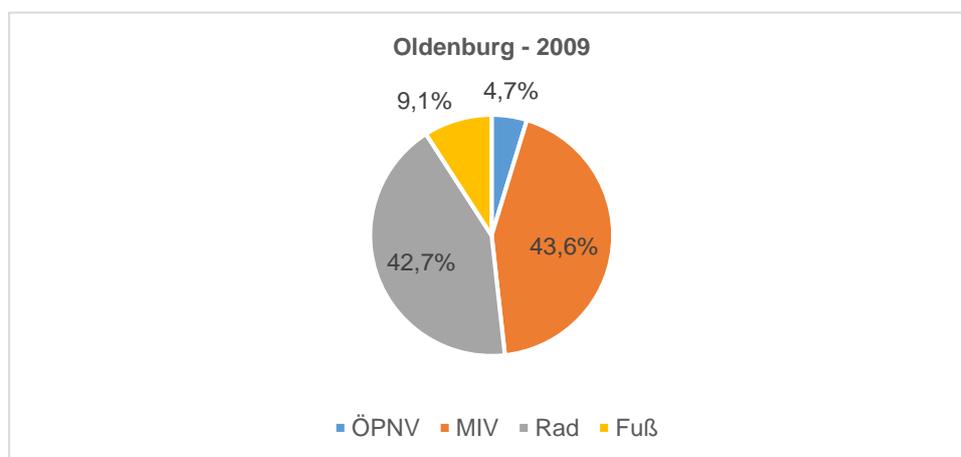


Abbildung 4: Modal Split 2009 in Oldenburg [Stadt Oldenburg]

TU Berlin - Forschungspartner und Koordinierung

Am Fachgebiet Straßenplanung und Straßentrieb der Technischen Universität Berlin wurde das vorliegende Forschungsprojekt verkehrswissenschaftlich begleitet und im letzten Jahr der Projektlaufzeit koordiniert. Unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Richter beschäftigt sich das Fachgebiet im Rahmen der Lehre und Forschung seit vielen Jahren mit der Planung, dem Entwurf und dem Betrieb von Straßenverkehrsanlagen. Besondere Themen wie die Entwicklung von nachhaltigen Verkehrskonzepten, elektrifiziertes und automatisiertes Fahren sowie die Förderung des Umweltverbundes sind dabei ein wichtiger Baustein in der inhaltlichen Ausrichtung der Forschung und der Lehre am Fachgebiet.

1.3 Untersuchungsablauf

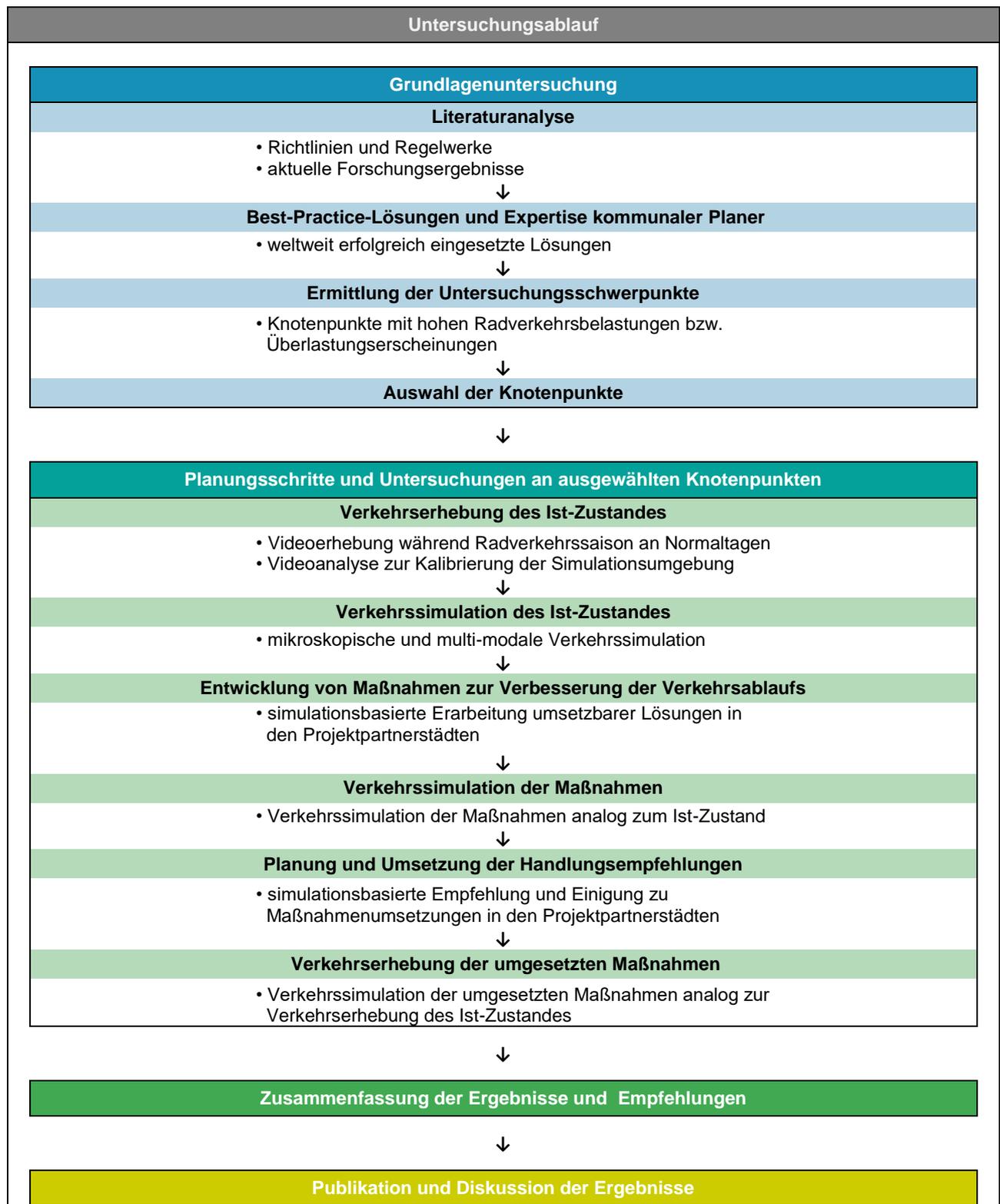


Abbildung 5: Übersicht des Untersuchungsablaufes [TU Berlin]

2 Grundlagenermittlung

2.1 Methodik der Grundlagenermittlung

Im Rahmen der Literaturanalyse wurden zunächst relevante Richtlinien und Regelwerke im Kontext der Radverkehrsqualität an Knotenpunkten sowie der aktuelle Stand der Forschung analysiert (siehe Kapitel 2.2). Anschließend konnten weltweit erfolgreich eingesetzte Best-Practice-Lösungen erörtert und auf die Expertise kommunaler Planer und Entscheider im Umgang mit hohen Radverkehrsbelastungen an Knotenpunkten zurückgegriffen werden (siehe Kapitel 2.3).

Darauf aufbauend erfolgte die Ermittlung der jeweiligen Untersuchungsschwerpunkte (siehe Kapitel 2.4.). Die Projektpartnerstädte wurden daher gebeten eine Vorauswahl der potentiell relevanten Knotenpunkte zu treffen und diese beim ersten Projekttreffen vorzustellen. Der Fokus lag dabei auf Knotenpunkten mit einer hohen Radverkehrsbelastung beziehungsweise das Auftreten von Überlastungserscheinungen am jeweiligen Knotenpunkt. Überlastungen äußern sich beispielsweise durch einen Rückstau des Radverkehrs am Ende der Freigabezeit, häufige Haltezahlen oder zähflüssigen Radverkehr.

Insgesamt 18 Knotenpunkte konnten dabei zunächst hinsichtlich ihrer Eignung betrachtet werden, jede Projektpartnerstadt stellte mindestens drei Knotenpunkt vor. Die Basis dafür stellten Knotenpunktsteckbriefe dar, aus denen bestehende Kenntnisse der Städte zu den maßgebenden Richtungsbeziehungen und bestimmten Kenngrößen an den Knotenpunkten hervorgehen. Zusammen mit den weiteren Grundlagendaten und -plänen dienen sie der weiteren Bearbeitung. Zur vertiefenden Untersuchung wurden schließlich sechs Knotenpunkte anhand bestimmter Auswahlkriterien festgelegt, zwei davon dienen als Ersatz für potentielle Ausfälle (siehe Kapitel 2.4 und 2.5).

2.2 Literaturanalyse

2.2.1 Richtlinien und Regelwerke

Die Analyse der Richtlinien und Regelwerke zeigt, dass bisher keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen der Radverkehrsqualität oder Leistungsfähigkeit von Radverkehrsanlagen (RVA) und deren Gestaltung oder Dimensionierung beschrieben werden. Auch existieren keine konkreten Angaben zur Gestaltung oder Dimensionierung in Abhängigkeit der Radverkehrsbelastung. Dies gilt sowohl für Quellen aus Deutschland als auch für jene aus dem deutschsprachigen Ausland. Beim derzeit üblichen angebotsorientierten Entwurf werden daher Radverkehrsanlagen gestaltet, die auf Basis des gegenwärtigen Wissensstandes als sicher zu beurteilen sind. Nachfrageorientierte Entwurfsparameter oder Dimensionierungen entsprechend verschiedener Belastungsniveaus sind bislang nicht vorgesehen. Das Abweichen von den Regelmaßen hin zu breiteren Anlagen wird relativ

unspezifisch für Radfahrstreifen im Zusammenhang mit hohen Kraftfahrzeug (Kfz)- und Radverkehrsstärken, Kfz-Geschwindigkeiten von über 50 km/h sowie dem häufigen Auftreten von Fahrrädern mit Anhängern erwähnt. So wird in den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA) bei den beschriebenen Fällen der Einsatz von überbreiten Radverkehrsanlagen, also mindestens 2,00 Meter Breite statt 1,85 Meter inklusive Breitstrich-Markierung nahegelegt. Jedoch ist nicht nachvollziehbar definiert, ab wann eine Radverkehrsstärke als hoch einzustufen ist [16].

Im Hinblick auf die Abwicklung des Radverkehrs im Bereich von Knotenpunkten werden sowohl in der ERA als auch in den Hinweisen zur Signalisierung des Radverkehrs (HSRa) Möglichkeiten wie aufgeweitete Radaufstellstreifen (ARAS) oder das direkte Linksabbiegen mit Radverkehrsschleusen aufgezeigt. Konkrete Handlungsempfehlungen für die Praxis, worin Schwellenwerte zu Rad- und Kfz-Verkehrsstärken, Schwerverkehrsanteilen oder Geschwindigkeitsniveaus und entsprechende gestalterische Lösungen beinhaltet sind, bleiben jedoch aus. Zudem mangelt es an Aussagen zur Leistungsfähigkeit einzelner Ansätze oder der resultierenden Radverkehrsqualität.

Das Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) ermöglicht zwar die Bewertung des Radverkehrsablaufes an Knotenpunkten sowie die Einordnung in eine von sechs Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV), allerdings werden dabei nur wenige Einflussfaktoren berücksichtigt. So werden die QSV laut HBS 2015 lediglich anhand der maximalen Wartezeit des Radverkehrs bemessen, welche der Sperrzeit des jeweiligen Stroms entspricht. Ferner wird davon ausgegangen, dass bei Ende der Freigabezeit kein Rückstau des Radverkehrs auftritt [17]. Andere Einflussfaktoren wie beispielsweise die Art und Breite der Radverkehrsanlage haben keinen Einfluss auf die Bemessung und werden folglich nicht berücksichtigt. Eine Bewertung der Radverkehrsqualität an Knotenpunkten ist auf Basis des HBS 2015 so zwar theoretisch möglich, allerdings ist die Aussagekraft der Bewertung als alleiniger Parameter aufgrund der genannten Einschränkungen fragwürdig.

2.2.2 Abgeschlossene und laufende Forschung

Die Analyse der abgeschlossenen und laufenden Forschung weist deutlich auf weiteren Forschungsbedarf hin. Dies begründet sich insbesondere damit, dass abgeschlossene Untersuchungen rar sind und folglich der Zusammenhang zwischen der Radverkehrsqualität, der Kapazität von Radverkehrsanlagen sowie ihrer Gestaltung oder Dimensionierung bislang unzureichend untersucht ist.

In einer Untersuchung von Chen und Shao (2014), mit dem Schwerpunkt der Radverkehrsqualität, wurde das indirekte Linksabbiegen des Radverkehrs im Vergleich mit dem direkten Abbiegen analysiert. Dabei wurde deutlich, dass indirektes Linksabbiegen vor allem bei hohen Radverkehrsstärken und gleichzeitig geringem Kfz-Aufkommen zu einer deutlich geringeren Radverkehrsqualität führt. Dies ist auf Verlustzeiten beim Überqueren von Knotenpunkten zurückzuführen, die beim in-

direkten Abbiegen signifikant ansteigen. Gleichzeitig wird angemerkt, dass die Akzeptanz des indirekten Linksabbiegens seitens des Radverkehrs vergleichsweise gering ausfällt. Radfahrende tendieren folglich auch bei ausgewiesenem indirekten Linksabbiegen zum direkten Abbiegen, wenn das Kfz-Verkehrsaufkommen es zulässt [18].

Im Rahmen des dänischen Forschungsprojektes „Microsimulation of cyclists in peak hour traffic, Copenhagen, Denmark“ wurde die Möglichkeit einer realistischen Radverkehrsabbildung sowie erforderliche Anpassungen in der Simulations-Software PTV VISSIM analysiert. Das Projekt war Bestandteil einer Initiative der Stadt Kopenhagen, wobei die Weiterentwicklung hoch belasteter Radverkehrsanlagen auf Basis von Mikrosimulationen im Hinblick auf höhere Kapazitäten und reduzierte Reisezeiten untersucht wurde. Diese Erkenntnisse konnten im Rahmen des vorliegenden Projektes aufgegriffen werden und dienen als Ausgangspunkt für die Kalibrierung der Simulationen [19]. Einige laufende Forschungsvorhaben beschäftigen sich ebenfalls mit Belangen der Radverkehrsqualität sowie einer Verkehrsflussmodellierung, die auch Aspekte des Radverkehrs reflektieren soll. Dazu gehören die Projekte „Verkehrsablauf an signalisierten Knotenpunkten mit hohem Radverkehrsaufkommen“ und „Empfehlungen zur Breite von hoch-frequentierten Radverkehrsanlagen unter Berücksichtigung der Verkehrsqualität“ der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und das EU-Projekt „Furthering Less Congestion by Creating Opportunities For More Walking and Cycling (FLOW)“. Zwischenergebnisse der laufenden Forschungsvorhaben liegen dazu nicht vor.

2.3 Praxisbeispiele

2.3.1 Best-Practice-Lösungen

Bei der Auswertung weltweit erfolgreich eingesetzter Lösungen fallen Analogien zu Vorgaben in den deutschen Richtlinien und Regelwerken auf. Als prägnantestes Beispiel seien hierbei ARAS genannt, die international allerdings deutlich flexibler gestaltet eingesetzt werden als in den deutschen Regelwerken ERA oder HSRa vorgesehen. So werden ARAS - international als Bike Box bezeichnet - in anderen Ländern auch in übergeordneten Knotenpunktzufahrten sowie breiteren und mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen eingesetzt [20]. ARAS mit Breiten von zwei oder gar drei Fahrstreifen sind dabei nicht unüblich. Die aus der großen Aufstellfläche resultierende Priorisierung des Radverkehrs bewirkt, dass der Rückstau des Radverkehrs überschaubar bleibt und wartende Radfahrende den Knotenpunkt in einem Umlauf passieren können. Der Radverkehr fährt nach Freigabe der Lichtsignalanlage nebeneinander in das Knotenpunkttinnere ein und sortiert sich im Zuge der Durchfahung des Knotenpunktes - auch wegen der unterschiedlichen Geschwindigkeiten der Radfahrenden im freigegebenen Strom - wieder hintereinander ein.

Darüber hinaus ermöglichen derartig gestaltete aufgeweitete Radaufstellstreifen bei mehrstreifigen Richtungsfahrbahnen das direkte und damit zeitsparende Linksabbiegen. Neben den verkehrlichen Aspekten ist davon auszugehen, dass ARAS zu positiven Sicherheitseffekten beitragen, da die Sichtbarkeit des Radverkehrs erhöht und so Konflikte reduziert werden [21].

Kombinationsfahrstreifen stellen einen weiteren, ebenso verbreiteten wie erfolgreich eingesetzten Lösungsansatz bei hohen Radverkehrsbelastungen dar. Dabei dient der äußere Fahrstreifen sowohl als Abbiegefahrstreifen für den motorisierten Verkehr als auch als Fahrstreifen und Aufstellbereich für den Radverkehr. Derartige Kombinationsfahrstreifen sind vor allem dann sinnvoll einsetzbar, wenn die verkehrliche Zusammensetzung aus einem starken, geradeausfahrenden Radverkehrsstrom und einem schwachen, abbiegenden Kfz-Strom besteht. Bei starken Kfz-Abbiegeströmen sollten sie wegen des potentiell größeren Konfliktpotentials mit dem Radverkehr kritisch hinterfragt und gegebenenfalls vermieden werden [22]. Ähnlich den ARAS bewirken Kombinationsfahrstreifen durch die Priorisierung des Radverkehrs nicht nur eine Zunahme an Verkehrsqualität, sondern bewirken bei korrektem Einsatz durch die verbesserte Sichtbarkeit auch ein höheres Maß an Sicherheit.

Neben gestalterischen Lösungen sind auch betriebliche Herangehensweisen weit verbreitet. Diese manifestieren sich üblicherweise in einer radverkehrsfreundlichen Signalisierung einzelner oder mehrerer Knotenpunkte. Besonders die Signalisierung mehrerer Knotenpunkte entlang eines hoch belasteten Streckenzuges wird oft derart koordiniert, dass eine Grüne Welle für den Radverkehr entsteht. Auf die Radverkehrsqualität wirkt sich dies außerordentlich positiv aus, da die Verlustzeiten sowie die Zahl der Halte an den einzelnen Knotenpunkten minimiert werden und eine hohe Durchschnittsgeschwindigkeit des Radverkehrs erreicht wird. Da sich der Radverkehr üblicherweise mit einer niedrigeren Progressionsgeschwindigkeit - meist werden Geschwindigkeiten um 20 km/h bei der Implementierung gewählt [23] - fortbewegt als der motorisierte Verkehr, kann eine derartige Grüne Welle jedoch tendenziell negative Auswirkungen auf den Verkehrsfluss des Kfz-Verkehrs zur Folge haben.

In Kombination mit visuellen Hilfsmitteln kann dem Radverkehr die zu fahrende Geschwindigkeit vermittelt werden, so dass ein zu frühes oder zu spätes Eintreffen an Knotenpunkten und damit vermeidbare Verlustzeiten und Halte minimiert werden können. Zu diesen visuellen Hilfsmitteln zählen Restzeitanzeigen entlang koordinierte Streckenzüge bzw. im Boden eingelassene LEDs, die dem Radverkehr das Fahren „auf der Grünen Welle“ signalisieren. Derartige Konzepte werden in Kopenhagen erfolgreich eingesetzt [23].

Die radverkehrsfreundliche Weiterentwicklung einzelner Knotenpunkte erfolgt darüber hinaus mitunter in Form einer verkehrsabhängigen Steuerung (VA), wie sie auch beim Kfz-Verkehr üblich ist. Dabei werden die Sperr- und Freigabezeiten des Radverkehrs entsprechend der Detektion von Fahrrädern angepasst. Neben einer Verbesserung der Radverkehrsqualität durch eine Verkürzung der Wartezeiten und eine reduzierte Zahl der Halte sind durch derartige Steuerungen auch eine erhöhte Akzeptanz der Lichtsignalanlage und ein reduzierter Anteil an Rotlichtverstößen nachweisbar [24]. Eine Herausforderung stellt jedoch die Erfassung insbesondere moderner Fahrräder mit geringem Metallgehalt beziehungsweise die Position der Detektoren auf der Radverkehrsanlage dar, weil Fahrräder mitunter nicht erkannt werden.

Darüber hinaus kann die Qualität eines rechtsabbiegenden Radverkehrsstroms potentiell durch die Implementierung des freien Rechtsabbiegens (Grünpfeil für den Radverkehr) verbessert werden, da Verlustzeiten bei der Knotenpunktpassage stark reduziert werden. Die Untersuchung dieses Grünpfeils - vor allem hinsichtlich der Verkehrssicherheit - ist bereits Inhalt eines umfangreichen Pilotversuchs in neun deutschen Städten, der durch die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) initiiert wurde². Da die Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit derzeit noch untersucht werden und die Implementierung dieses Konzeptes Anpassungen der StVO erfordert, wird der Grünpfeil für den rechtsabbiegenden Radverkehr im Kontext dieses Forschungsprojektes nicht weiter berücksichtigt.

Wird die Verbesserung der Radverkehrsqualität entlang von Abschnitten bzw. im Netz angestrebt, eröffnen sich weitere Möglichkeiten. Dazu zählen Konzepte wie Radschnellwege oder Fahrradstraßen, die den Radverkehr beschleunigen und attraktiver machen können. Beiden gemein ist jedoch, dass sie nicht an einzelnen Knotenpunkten bzw. Knotenpunktzufahrten von Hauptverkehrsstraßen umsetzbar sind. Radschnellwege erfordern ferner entsprechend breite Räume im Straßenraum, die in eng bebauten Innenstädten häufig nicht gegeben sind. Radschnellwege und Fahrradstraßen erscheinen vor allem dann geeignet, wenn die Struktur der Stadt die Implementierung auf verfügbaren und ausreichend breiten Korridoren abseits der Hauptverkehrsachsen des Kfz-Verkehrs bzw. parallel zu selbigen ermöglicht, um den Kfz- und Radverkehr zu entflechten und letzteren auf separaten Routen zu bündeln. Da der Projektfokus auf Maßnahmen für einzelne Knotenpunkte bzw. Knotenpunktzufahrten liegt, sind derartige Ansätze im weiteren Verlauf nicht als zielführend anzusehen.

Ermöglichen die Randbedingungen am Knotenpunkt dies, kann auch die planfreie Führung des Radverkehrs ein Mittel zur Qualitätsverbesserung sein, da Verlustzeiten reduziert und Halte vermieden werden. Da der Investitionsaufwand für solche Ansätze jedoch beachtlich ist, sind vor dem Projektschwerpunkt auf vergleichsweise günstigen und leicht zu implementierenden Maßnahmen ungeeignet. Darüber hinaus stehen die Entwicklungslängen der notwendigen Rampen einer Umsetzung bei geringen Knotenpunktständen - in dicht bebauten Innenstädten typisch - entgegen. In Randgebieten können derartige Ansätze jedoch durchaus eine eindrucksvolle Lösung darstellen, wie z.B. der schwebende Kreisverkehr für den Rad- und Fußverkehr in Eindhoven zeigt.

2.3.2 Expertise von kommunal Planenden und Entscheidungstragenden

Um bereits bestehende Erkenntnisse berücksichtigen zu können, wurden Planende und Entscheidungstragende in Städten mit hohem Radverkehrsaufkommen um Ihre Expertise gebeten. Dazu gehörten sowohl Städte mit einem sehr hohen Modal Split des Radverkehrs (z.B. Groningen) als auch solche mit moderatem Modal Split bei gleichzeitig hoher Bevölkerung (z.B. Antwerpen).

² Gemäß Pressemitteilung Nr. 01/2019 der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) vom 07.01.2019 unter: https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Presse/Mitteilungen/2019/01-2019.html [Abruf: 20.02.2020]

Die Antworten der kontaktierten Planenden und Entscheidungstragenden legen dar, dass in diesen Städten größtenteils auf Lösungen zurückgegriffen wird, wie sie bereits in den vorangegangenen Kapiteln 2.2.1 und 2.3.1 angesprochen wurden. Dazu gehört der zahlreiche Einsatz von ARAS in Antwerpen oder Odense. In Antwerpen werden ARAS gar als Standardlösung betrachtet.

Der Rücklauf zeigt aber auch ungewöhnliche Ansätze, die erfolgreich praktiziert werden. Groningen setzt so beispielsweise an 28 durch den Radverkehr hoch belasteten Knotenpunkten auf die Simultanfreigabe aller Radverkehrsströme in einer eigenen Signalisierungsphase. In Groningen hat sich diese Art der Signalisierung als leistungsfähig und sicher herausgestellt, da Konfliktpotenziale mit dem Kfz- oder Fußgängerverkehr umgangen werden. Die Erfahrungen vor Ort machen deutlich, dass der Radverkehr untereinander auch bei gleichzeitiger Freigabe aller Ströme konfliktarm abläuft, da Radfahrende nur aufeinander achten müssen und dies auch tun.

Beachtlich ist darüber hinaus die Strategie der Vermeidung von Belastungsspitzen, um komplexe Problemlösungen zu umgehen. So setzt Antwerpen beispielsweise auf eine Belastungsverteilung durch eine gleichmäßig hochwertige Radverkehrsinfrastruktur. Das Radverkehrsaufkommen in Antwerpen wird so auf das gesamte Netz und parallele Strecken verteilt. Dies hat zur Folge, dass es in Antwerpen kaum Knotenpunkte gibt, an denen die Belastung derart hoch ausfällt, dass sie ein Problem darstellt und besondere Lösungen notwendig werden.

2.4 Ermittlung der Untersuchungsschwerpunkte

Zur Ermittlung der Untersuchungsschwerpunkte wurde zunächst eine Vorauswahl der potentiell für die Projektziele relevanten Knotenpunkte getroffen, wie sie in Tabelle 1 dargestellt sind. Kennzeichnend für diese von den Projektpartnerstädten vorgestellten Knotenpunkte sind hohe Radverkehrsbelastungen oder das Auftreten von Überlastungserscheinungen.

Mithilfe der Ortskenntnis der Ansprechpartner/innen aus den Projektpartnerstädten konnten erste Aussagen über infrastrukturelle und betriebliche Randbedingungen sowie die maßgebenden Verkehrsströme gewonnen werden. Gemeinsam mit Plangrundlagen, wie Lageplänen und den signaltechnischen Unterlagen, wurden die Parameter miteinander verglichen und diskutiert. Anhand bestimmter Auswahlkriterien konnten schließlich sechs Knotenpunkte zur vertiefenden Untersuchung festgelegt werden (siehe Kapitel 2.5). Für die Auswahl entscheidend waren Angaben der Projektpartnerstädte zur geschätzte Nachfrage vor Ort durch Radfahrende sowie die Möglichkeiten der praktischen Umsetzung einer Erhebung und der darauf aufbauenden Simulation. Die Größe und Komplexität der Knotenpunkte wurde genauso betrachtet wie vorhandene Fahrbeziehung, Einsehbarkeiten der Kameras und die Grenzen der Simulationen. Von Bedeutung war zudem ein beabsichtigtes Budget von rund 5.000 € pro Projektpartnerstadt für die Planerkosten zur Umsetzung der Maßnahmen sowie eventuell entstehende finanzielle oder organisatorische Hürden, wie etwa, wenn komplexere Belange der Stadtbahn berührt würden. Zudem spielte die Übertragbarkeit der erkannten Problematiken auf andere Knotenpunkte eine zentrale Rolle im Auswahlverfahren.

Tabelle 1: Übersicht der initial diskutierten Knotenpunkte [TU Berlin]

Stadt		Knotenpunkt
Frankfurt am Main	F1	Eschenheimer Tor / Hochstraße / Bleichstraße
Frankfurt am Main	F2	Eckenheimer Landstraße / Scheffelstraße / Eschenheimer Anlage
Frankfurt am Main	F3	Bockenheimer Landstraße / Ulmenstraße / Liebigstraße
Frankfurt am Main	F4	Untermainkai / Neue Mainzer Straße / Hofstraße / Untermainbrücke
Hannover	H1	Königsworther Platz / Schloßwender Straße
Hannover	H2	Friedrichswall / Willy-Brandt-Allee / Osterstraße
Hannover	H3	Geibelstraße / Sallstraße
Hannover	H4	Jakobistraße / Voßstraße
Hannover	H5	Jakobistraße / Kollenrodtstraße
Leipzig	L1	Augustusplatz
Leipzig	L2	Dittrichring / Thomaskirchhof
Leipzig	L3	Tröndlinring / Gerberstraße
Leipzig	L4	Karl-Liebnecht-Straße / Richard-Lehmann-Straße
Leipzig	L5	Martin-Luther-Ring / Lotterstraße
Leipzig	L6	Roßplatz
Oldenburg	O1	Bloherfelder Straße / Uhlhornsweg
Oldenburg	O2	Ofener Straße / Auguststraße
Oldenburg	O3	Alexanderstraße / Nadorster Straße / Heiligengeiststraße

Bei der Auswahl war das Augenmerk weniger auf die Knotenpunktgeometrie, sondern auf die Problematiken gerichtet, mit denen kommunale Planer und Entscheider konfrontiert sind. Abschließend wurde darauf Wert gelegt ein Repertoire möglichst verschiedener Radverkehrsanlagen (Radwege, Radfahrstreifen, Schutzstreifen) zu bearbeiten, um eine hohe Übertragbarkeit sicherzustellen.

Auf dieser Basis erfolgte die Auswahl der priorisierten Knotenpunkte (siehe Tabelle 2) sowie jene der potentiellen Ersatzknotenpunkte (siehe Tabelle 3) für die weitere Untersuchung:

Tabelle 2: Übersicht über der priorisierten Knotenpunkte [TU Berlin]

Stadt		Knotenpunkt
Frankfurt am Main	F3	Bockenheimer Landstraße / Ulmenstraße / Liebigstraße
Hannover	H1	Königsworther Platz / Schloßwender Straße
Leipzig	L4	Karl-Liebnecht-Straße / Richard-Lehmann-Straße
Oldenburg	O3	Alexanderstraße / Nadorster Straße / Heiligengeiststraße

Tabelle 3: Übersicht der potentiellen Ersatzknotenpunkte [TU Berlin]

Stadt		Knotenpunkt
Frankfurt am Main	F4	Untermainkai / Neue Mainzer Straße / Hofstraße / Untermainbrücke
Leipzig	L5	Martin-Luther-Ring / Lotterstraße

2.5 Vorstellung und Auswahlkriterien der Knotenpunkte

Nachfolgend werden die ausgewählten Knotenpunkte näher beschrieben. Fotos der örtlichen Situation und Informationen zur Verkehrsbelastung der Spitzenstunde im Kfz- und Radverkehr können der Beschreibung des Ist-Zustandes in Kapitel 3.1, eine tabellarische Übersicht inkl. Lösungsansätze und Wirksamkeit der Zusammenfassung in Kapitel 5 entnommen werden.

2.5.1 Knotenpunkt F3 - Frankfurt am Main

Der Knotenpunkt F3 (Bockenheimer Landstraße / Ulmenstraße / Liebigstraße) ist im Frankfurter Bezirk Innenstadt I verortet. Er ist ein nahezu klassisch vier-armiger Knotenpunkt (siehe Abbildung 6). Im Untersuchungskollektiv zeichnet er sich durch beidseitig angelegte, benutzungspflichtige Einrichtungsradwege entlang der Hauptverkehrsachse Bockenheimer Landstraße aus. Ferner ermöglicht er die Untersuchung der Auswirkungen einzelner Maßnahmen auf den öffentlichen Busverkehr.

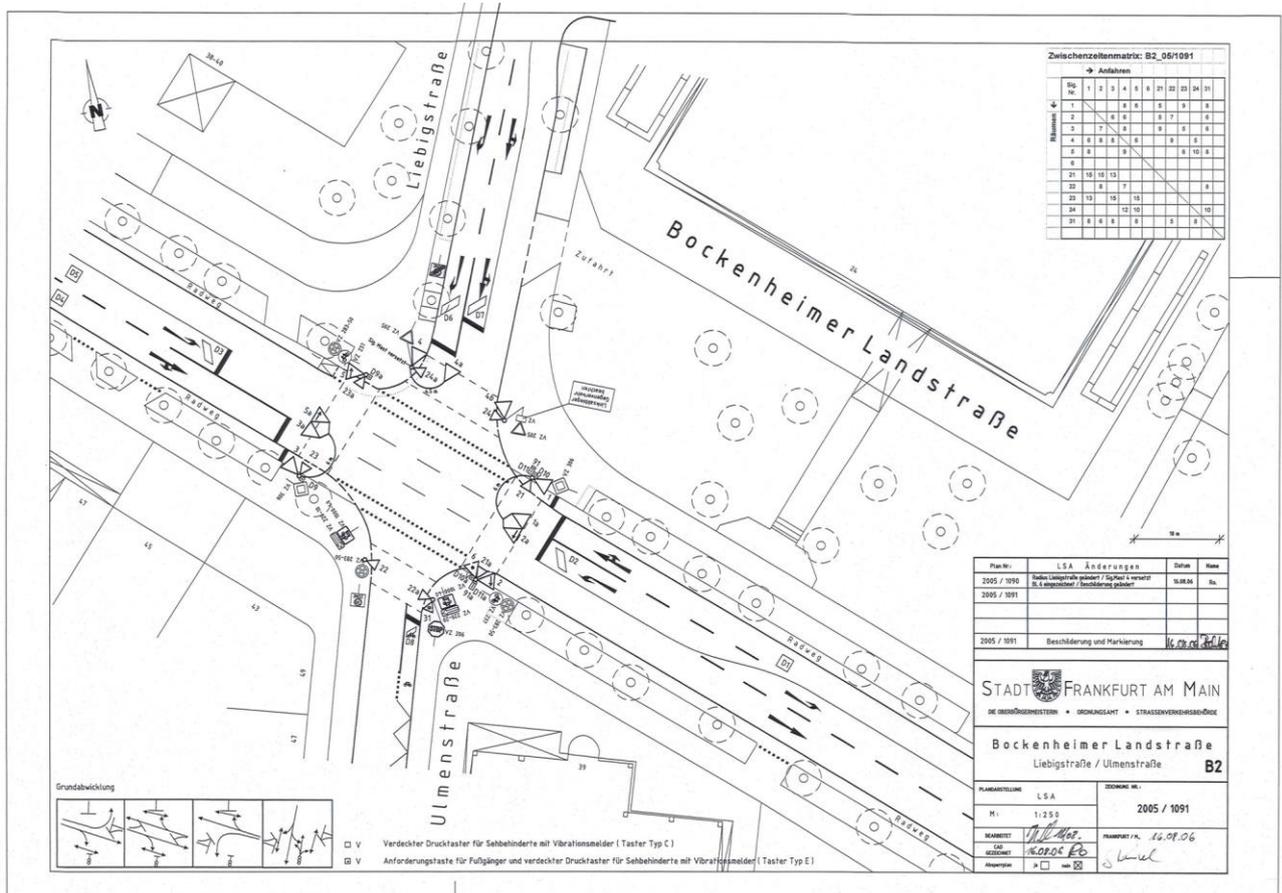


Abbildung 6: Lageplan Knotenpunkt F3 [Stadt Frankfurt am Main]

Die Fahrbahn der Bockenheimer Landstraße ist in diesem Streckenabschnitt mit jeweils einem Fahrstreifen und einer Fahrstreifenaddition im Knotenpunktbereich aufgebaut, wobei je ein Linksabbiegefahrstreifen sowie ein Geradeaus- und Rechtsabbiegefahrstreifen den Kfz-Verkehr leiten. Parken ist nur in den Nebenstraßen vorgesehen.

Die Radwege im Seitenraum der Bockenheimer Landstraße stellen den maßgebenden radverkehrlichen Strom dar und sind mit 1,5 Metern Breiten deutlich unterdimensioniert. Zur Fahrbahn hin fehlt der Sicherheitstrennstreifen, zum Seitenraum hin begrenzt die Einfriedung der Begrünung den Radweg. Für den Radverkehr ist eine separate Signalisierung vorgesehen. Schilderungen der Stadt zufolge stellen diese schmalen Radwege eine bedeutsame Pendlerstrecke mit entsprechend hoher Nachfrage durch Radfahrende im Berufsverkehr dar.

Während die Fahrbahn der nördlichen Knotenpunktzufahrt - Liebigstraße - für Kfz wie die Bockenheimer Landstraße aufgeteilt ist, leitet im südlichen Knotenpunktarm - Ulmenstraße - eine Einbahnstraße den Kfz-Verkehr ab. In der Liebigstraße werden Radfahrende im Mischverkehr geführt. Entlang der Ulmenstraße ist Zweirichtungsverkehr durch Radfahrende erlaubt. Dabei befindet sich am Knotenpunkt eine Radaufstellfläche mit separater Signalisierung, wie in der Bockenheimer Landstraße.

Mit einem Radverkehrsaufkommen von rund 1.900 Radfahrenden pro Tag, ist der Knotenpunkt F3 für die Stadt Frankfurt am Main von hoher radverkehrlicher Bedeutung.

2.5.2 Knotenpunkt F4 - Frankfurt am Main

Der Knotenpunkt F4 (Untermainkai / Neue Mainzer Straße / Hofstraße / Untermainbrücke) befindet sich im Frankfurter Bezirk Innenstadt II unweit des Main. Hier stellen Kapazitätsprobleme aufgrund geringer Freigabezeiten eine nicht unübliche Herausforderung für kommunale Verkehrsplanungen dar.

Der Knotenpunkt F4 ist vierarmig aufgebaut (siehe Abbildung 7). Die Ost-West-Achse bildet der Untermainkai. Er ist in diesem Streckenabschnitt in den Knotenpunktzufahrten in zwei Fahrstreifen, jeweils geradeaus und rechts, sowie einem Fahrstreifen in den Knotenpunktausfahrten unterteilt. Radverkehrsanlagen sind auf dem Untermainkai nicht vorgesehen, sie werden im nahegelegenen Grünzug geführt. Die Untermainbrücke ist in der Zufahrt zweistreifig unterteilt, mit einem Geradeausfahrstreifen und einem Mischfahrstreifen für den Geradeaus- und Rechtsabbiegeverkehr. Im Seitenraum der Zufahrt verläuft ein mit dem Kfz signalisierter Radweg. Die Knotenpunktausfahrt der Untermainbrücke ist gleichermaßen zweistreifig mit einem Radweg im Seitenraum aufgebaut.

Der nördliche Knotenpunktarm ist durch eine bauliche Mitteltrennung der Knotenpunktzufahrt Hofstraße und der Knotenpunktausfahrt Neue Mainzer Straße unterteilt, hier ist eine Verkehrsinsel ausgebildet. Die Fahrstreifen der angegliederten Hofstraße sind in einen Geradeausfahrstreifen und einen Geradeaus- und Rechtsabbiegefahrstreifen unterteilt, an dessen Seite ein nicht separat signalisierter Schutzstreifen verläuft. In der Neuen Mainzer Straße sind drei Kfz-Fahrstreifen durch einen Radfahrstreifen ergänzt.

2.5.3 Knotenpunkt H1 - Hannover

Der Knotenpunkt H1 (Königsworther Platz) liegt im Hannoveraner Bezirk Mitte. Er setzt sich aus zwei Teilknotenpunkten zusammen, dem Königsworther Platz Ecke Schlosswender Straße im Norden und dem Königsworther Platz Ecke Königsworther Straße im Süden.

Der nördliche Teilknotenpunkt an der Schlosswender Straße ist vierarmig aufgebaut (siehe Abbildung 8). Die Kfz-Fahrbahn vom Königsworther Platz, achtstreifig in Summe, ist durch einen unpassierbaren Grünstreifen unterteilt. An der Teilknotenpunktzufahrt führen dort zwei Linksabbiegestreifen in den Bremer Damm, der als Zubringer zur anschließenden Bundesstraße dient, ein Geradeausfahrstreifen in die Nienburger Straße und ein Rechtsabbiegestreifen in die Schloßwender Straße. Beidseits des Königsworther Platzes sind etwa 2 Meter breite Zweirichtungsradwege angelegt. Nach den Empfehlungen für Radverkehrsanlagen entspricht dies dem Mindestmaß, das nur bei geringem Radverkehrsaufkommen anzuwenden ist [1].

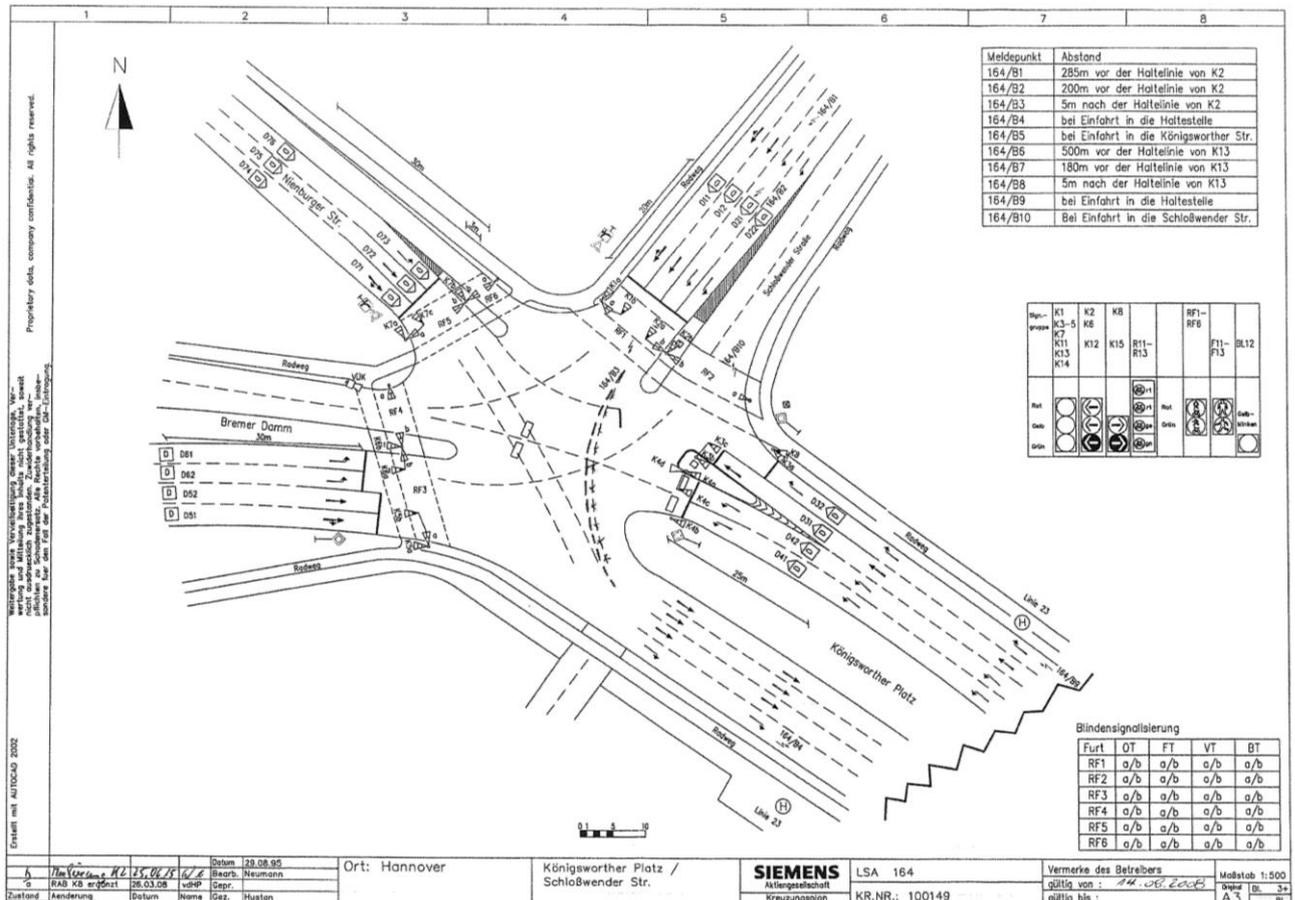


Abbildung 8: Lageplan Knotenpunkt H1, Teilknotenpunkt Königsworther Platz / Schlosswender Straße [Stadt Hannover]

Die vierstreifige Fahrbahn der Schlosswender Straße wird im Bereich der Knotenpunktzufahrt durch zwei Fahrstreifenadditionen ergänzt. So leiten zwei Linksabbiegestreifen auf den Königsworther

Platz, ein Fahrstreifen geradeaus auf den Bremer Damm und ein Geradeaus- und Rechtsabbiegestreifen ebenso in die Nienburger Straße. Auch diesen Knotenpunktarm begleiten beidseitig Zweirichtungsräderwege. Die gemeinsame Radverkehrs- und Fußgängerfurt ist durch eine Mittelinsel zweiseitig geteilt. Radfahrende und Fußgänger werden gleichermaßen über die Nienburger Straße geleitet, dabei ist die Mittelinsel jedoch so schmal gehalten, dass sich Radfahrende nur nebeneinander gefahrlos aufhalten können. Dem Kfz-Verkehr steht dort eine zweistreifige Fahrbahn zu Verfügung, die in der Knotenpunktzufahrt durch zwei Fahrstreifenadditionen ergänzt wird. Ein Rechtsabbiegestreifen, ein Geradeausstreifen und ein Geradeaus- und Rechtsabbiegestreifen leiten den motorisierten Verkehr. Bündig zur Knotenpunktausfahrt verläuft ein Zweirichtungsräderweg. Südlich der Knotenpunktzufahrt leiten weitere Radverkehrsanlagen durch den angrenzenden Georgengarten zum Königsworther Platz.

Der Bremer Damm ist durch eine vierstreifige Fahrbahn gekennzeichnet, die auch hier in der Knotenpunktzufahrt durch zwei Fahrstreifenadditionen erweitert wird. Ein Grünstreifen unterteilt die Fahrbahn, der mit der Mittelinsel der Furt endet. Auch auf dieser Furt sind Radfahrende und Fußgänger gemeinsam in beide Richtungen signalisiert, Zweirichtungsräderwege schließen beidseits des Bremer Damms an.

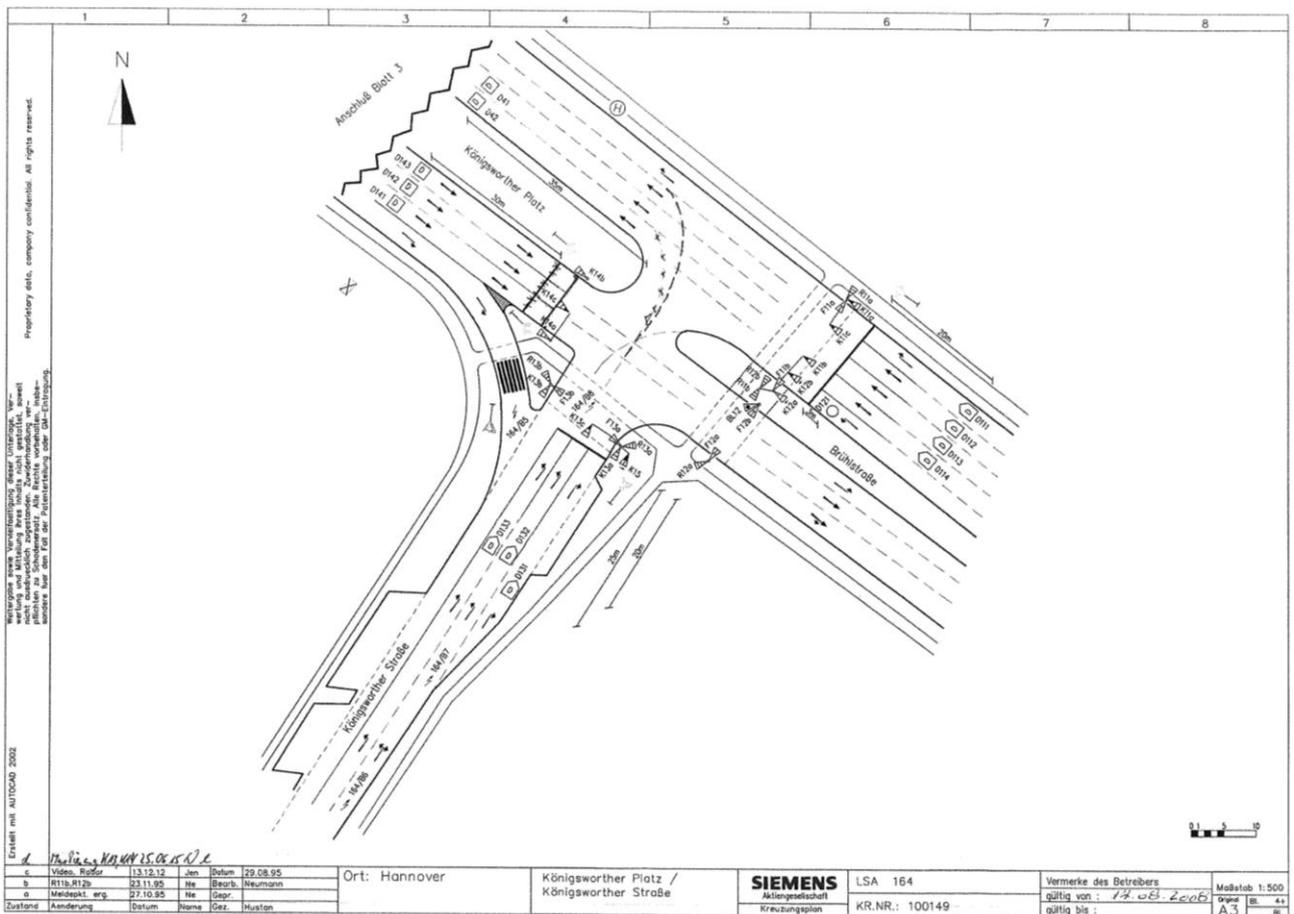


Abbildung 9: Lageplan Knotenpunkt H1, Teilknotenpunkt Königsworther Platz / Königsworther Straße [Stadt Hannover]

Im südlichen Teilknoten vom Königsworther Platz bestehen drei Arme (siehe Abbildung 9). Die vierstreifige Zufahrt am Königsworther Platz ist durch drei Geradeaus- und einen Rechtsabbiegestreifen entlang einer Dreiecksinsel gekennzeichnet. Eine unsignalisierte Radfurt sowie ein Fußgängerüberweg leiten Passanten und Radfahrende dort über den Rechtsabbiegestreifen hinweg. Der südwestliche Zweirichtungsradweg des Königsworther Platzes wird in die Königsworther Straße hinein als Einrichtungsradweg weitergeführt. Auch auf der anderen Seite der Fahrbahn ist das Rad fahren nur in eine Richtung vorgesehen.

Den Kfz-Verkehr der Königsworther Straße leitet eine zweistreifige Fahrbahn. In der Knotenpunktzufahrt wird sie durch zwei Fahrstreifenadditionen, insgesamt zwei für Linksabbiegestreifen auf den Königsworther Platz und eine für Rechtsabbiegender in die Brühlstraße, ergänzt. Entlang In der Königsworther Straße sind Parkmöglichkeiten für Kfz vorgesehen, im gesamten verbleibenden Knotenpunktbereich beider Teilabschnitte ist das Parken untersagt.

Die Fahrbahn der Brühlstraße setzt sich im Knotenpunktbereich aus acht Fahrstreifen zusammen. Fünf davon leiten der Verkehr in den Knotenpunkt hinein, eine für Linksabbiegender, drei für den Geradeausverkehr und ein Rechtsabbiegestreifen zum vorbereitenden Abbiegen in die Schlosswender Straße. Die drei Verbleibenden bilden die Knotenpunktausfahrt. Getrennt ist die Fahrbahn durch einen Grünstreifen. Separate Furten und Signalisierungen für Fußgänger und Radfahrende sind dabei vorhanden, entlang der Brühlstraße schließen Zweirichtungsradwege neben Fußwegen an.

Der Königsworther Platz stellt eine der wichtigen Verkehrsachsen der Stadt dar und ist mit Bus und Bahn auch via ÖPNV erreichbar. Mit rund 5.000 Radfahrenden und als Universitätsstandort ist er von hohem öffentlichem Interesse und von radverkehrlicher Bedeutung. Dieser Knotenpunkt ist gekennzeichnet durch eine Mehrzahl von Zweirichtungsradwegen, die das Spektrum des Untersuchungskollektives sinnvoll ergänzen. Sie sind zwar mit rund 2 bis 2,35 Metern Breite sehr schmal dimensioniert und grundsätzlich aus Sicherheitsgründen nicht empfehlenswert, haben sich jedoch, Schilderungen der Stadt zufolge, vor Ort etabliert. Als maßgebende Radverkehrsströme werden für den H1 Ecke Schlosswender Straße die Bereiche entlang der Universitätsstandorte am nördlichen Königsworther Platz und der Nienburger Straße sowie die Übereckbeziehung nördlicher Königsworther Platz zum Georgengarten angegeben. Am südlichen Teilknotenpunkt ist dieser Strom zwischen Königsworther Platz und Königsworther Straße angegeben. Der Fokus der Untersuchung wird zudem auf die langen Furten mit baulicher, teils sehr schmaler Mitteltrennung gelegt, bei denen bis zu acht Fahrstreifen gequert werden müssen.

2.5.4 Knotenpunkt L4 - Leipzig

Einer der beiden Untersuchungsschwerpunkte in Leipzig ist der Knotenpunkt L4 (Karl-Liebknecht-Straße / Richard-Lehmann-Straße). Er befindet sich an der Grenze der Szeneviertel Südvorstadt und Connewitz, unweit der Hochschule für Technik, Wirtschaft und Kultur entfernt. Angaben der

Stadt zufolge weist er mit rund 2.700 Radfahrenden pro Tag eine durchaus hohe Belastung auf, als Formen der Radverkehrsführung sind Radfahrstreifen, Radfahrstreifen in Mittellage und Mischverkehr vorzufinden. Beengende Platzverhältnisse sowie die Gleisanlagen in drei der vier Knotenpunktarme sowie notwendige Abbiegebeziehungen des Kfz-Verkehrs stellen an diesem Knotenpunkt eine Herausforderung für Verkehrsplaner dar.

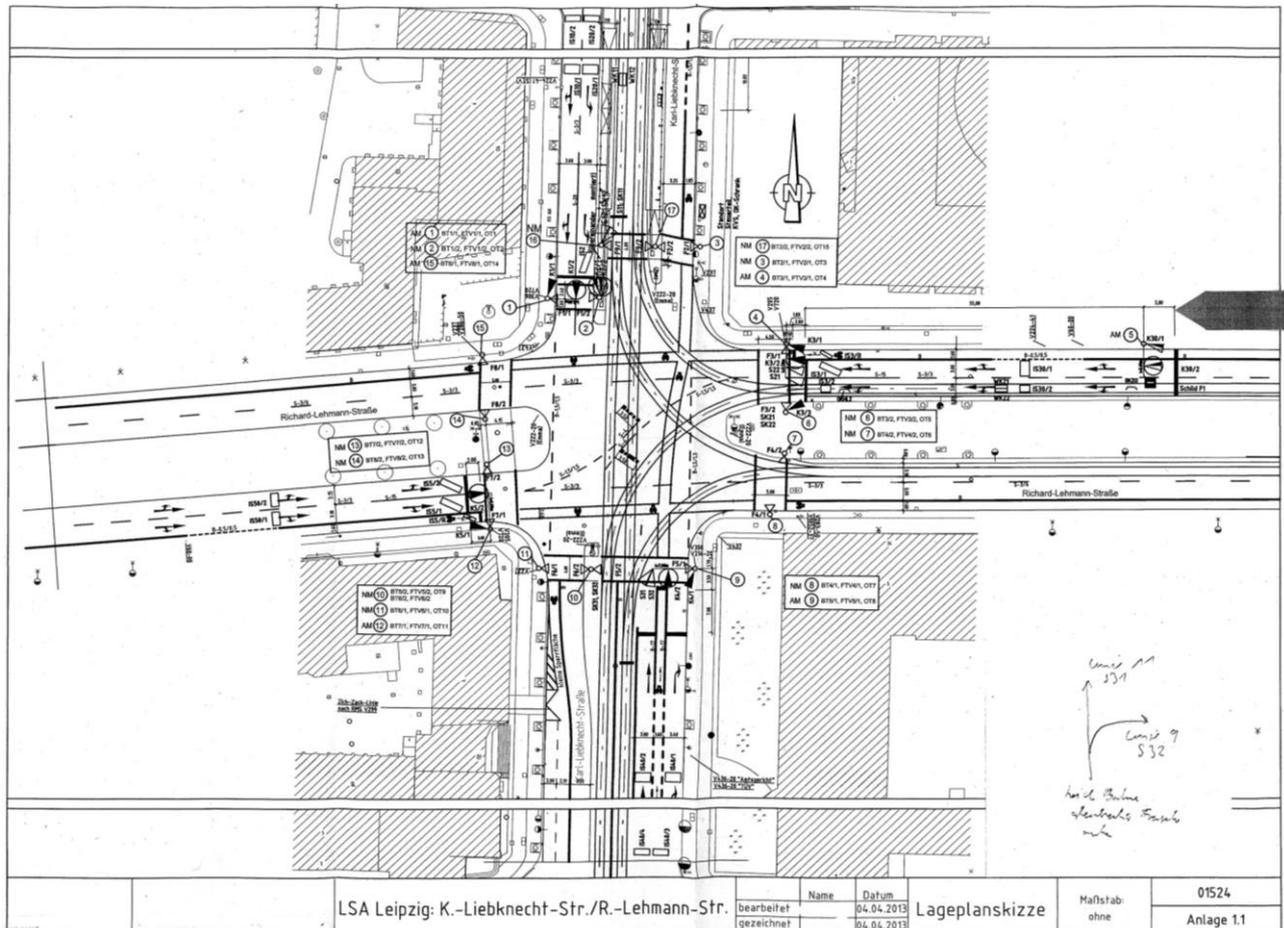


Abbildung 10: Lageplan Knotenpunkt L4 [Stadt Leipzig, Verkehrs- und Tiefbauamt, bearbeitet]

Die Nord-Süd-Achse bildet die Karl-Liebnecht-Straße, deren Fahrbahn durch die Gleisanlagen der Tram unterteilt wird. In der nördlichen Knotenpunktzufahrt wird die Tram über ein separiertes Gleisbett zur Haltestelle in Mittellage des Knotenpunktes geführt. Die nördliche Zufahrt ist zweistreifig aufgebaut. Linksabbiegende werden auf einem separaten Fahrstreifen geführt, Rechtsabbiegende und Geradeausfahrende auf einem gemeinsamen. Stromaufwärts existiert ein Radfahrstreifen, der jedoch ab dem Nachbarknotenpunkt Ecke Kantstraße im Zusammenhang mit der Tram-Haltestelle ersatzlos entfällt. Radfahrende werden hier im Mischverkehr an den Knoten herangeführt, sie bilden hier den maßgebenden Strom. Die nördliche Knotenpunktausfahrt ist für Kfz einstreifig mit einem Radfahrstreifen aufgebaut.

Gleichermaßen ist die südliche Zufahrt der Karl-Liebnecht-Straße mit einem Fahrstreifen für Kfz und einem Radfahrstreifen aufgebaut. In unmittelbarer Knotenpunktnähe wird der Kfz-Fahrstreifen

um eine Fahrstreifenaddition für Rechtsabbiegender ergänzt, der Radverkehr wird auf einen Radfahrstreifen in Mittellage an den Knoten herangeführt. Die südliche Ausfahrt ist für Kfz mit einem Fahrstreifen aufgebaut, für den Radverkehr ist hier entlang von Parkständen eine Führungsform vorgesehen, die nicht der ERA entspricht. Zwar ist diese Führung vom Kfz-Verkehr mit einem Breitstrich (Zeichen 295 StVO) abgegrenzt und mit dem Sinnbild Fahrrad markiert, zum Parkstreifen hin ist jedoch nur eine unterbrochene Schmalstrichmarkierung gesetzt. Mittig der Fahrbahn verläuft der Bahnkörper hier nahezu straßenbündig, mit einem niedrigen Bord von der Fahrbahn getrennt.

Die Ost-West-Achse des Knotenpunktes bildet die Richard-Lehmann-Straße, eine Bundesstraße. Sie verläuft in den Knotenpunktzufahrten mit jeweils einem Geradeaus- und Linksabbiegestreifen sowie einem Geradeaus- und Rechtsabbiegestreifen. Auch die Knotenpunktausfahrten sind für den Kfz-Verkehr zweistreifig vorgesehen. Radverkehr wird dabei auf Radfahrstreifen mit nicht separater Signalisierung geführt. Die Fahrbahn ist ebenfalls baulich getrennt. Hier verläuft ein mit Großbäumen gesäumter Grünstreifen, der zudem vom ruhenden Verkehr genutzt wird. Im östlichen Abschnitt der Richard-Lehmann-Straße wird die Tram straßenbündig auf dem jeweils inneren Fahrstreifen geführt.

Bei eingehender Analyse des Knotenpunktes hinsichtlich der Radverkehrsqualität fallen insbesondere die beengten Verhältnisse in der nördlichen Knotenpunktzufahrt auf. Zwischen Straßenbahnhaltestelle und dem mit Baumpflanzungen gesäumten Gehweg, stehen dem Mischverkehr auf zwei Fahrstreifen insgesamt 6 Meter Breite zu Verfügung. Dabei wird vonseiten der Stadt festgehalten, dass der Linksabbiegestreifen obligatorisch ist. Zudem wurde die Vermutung von maßgebenden Belastungszeichen auf dem südlich in den Knotenpunkt führenden Radfahrstreifen in Mittellage geäußert, da dessen Nettofläche regelwidrig schmal ausfällt. Dies konnte anhand der späteren Verkehrserhebung jedoch nicht bestätigt werden, hierbei wurde die Brisanz für den Radverkehr in der nördlichen Zufahrt als maßgebender Strom verdeutlicht (siehe Kapitel 3.1.5).

2.5.5 Knotenpunkt L5 - Leipzig

Der Knotenpunkt L5 (Martin-Luther-Ring / Lotterstraße/ Rudolphstraße) befindet sich im Leipziger Bezirk Mitte unmittelbar am Leipziger Rathaus. Die hoch frequentierte Radverkehrsverbindung von Ost (Lotterstraße) nach West (ehem. Weststraße im Apels Park) stellt die Verkehrsplaner vor Herausforderungen und fordert neue Lösungen.

Der Knotenpunkt ist vier-armig aufgebaut, wobei der Arm der Lotterstraße zugunsten der Rathauszufahrt gen Norden versetzt ist (siehe Abbildung 11).

Der Martin-Luther-Ring, eine Hauptstraße, bildet eine wichtige Nord-Süd Verbindung der Stadt. Im Norden weist seine Knotenpunktzufahrt drei Fahrstreifen auf, einen für Geradeaus- und Rechtsabbiegeverkehr, einen Geradeausfahrstreifen sowie den inneren Fahrstreifen, der als additiver Aufstellstreifen für Linksabbiegender in die Lotterstraße fungiert. Radfahrenden ist die Fahrbahnnutzung untersagt, sie werden im Seitenraum auf einem alten Radweg geführt. Mittig der Fahrbahn existieren

Gleisanlagen der Tram, im südlichen Knotenpunktarm befinden sich die Haltestellen beider Fahrtrichtungen, nördlich ist die Gleisbettanlage durch einen Breitstrich von der Fahrbahn separiert, aber straßenbündig angelegt.

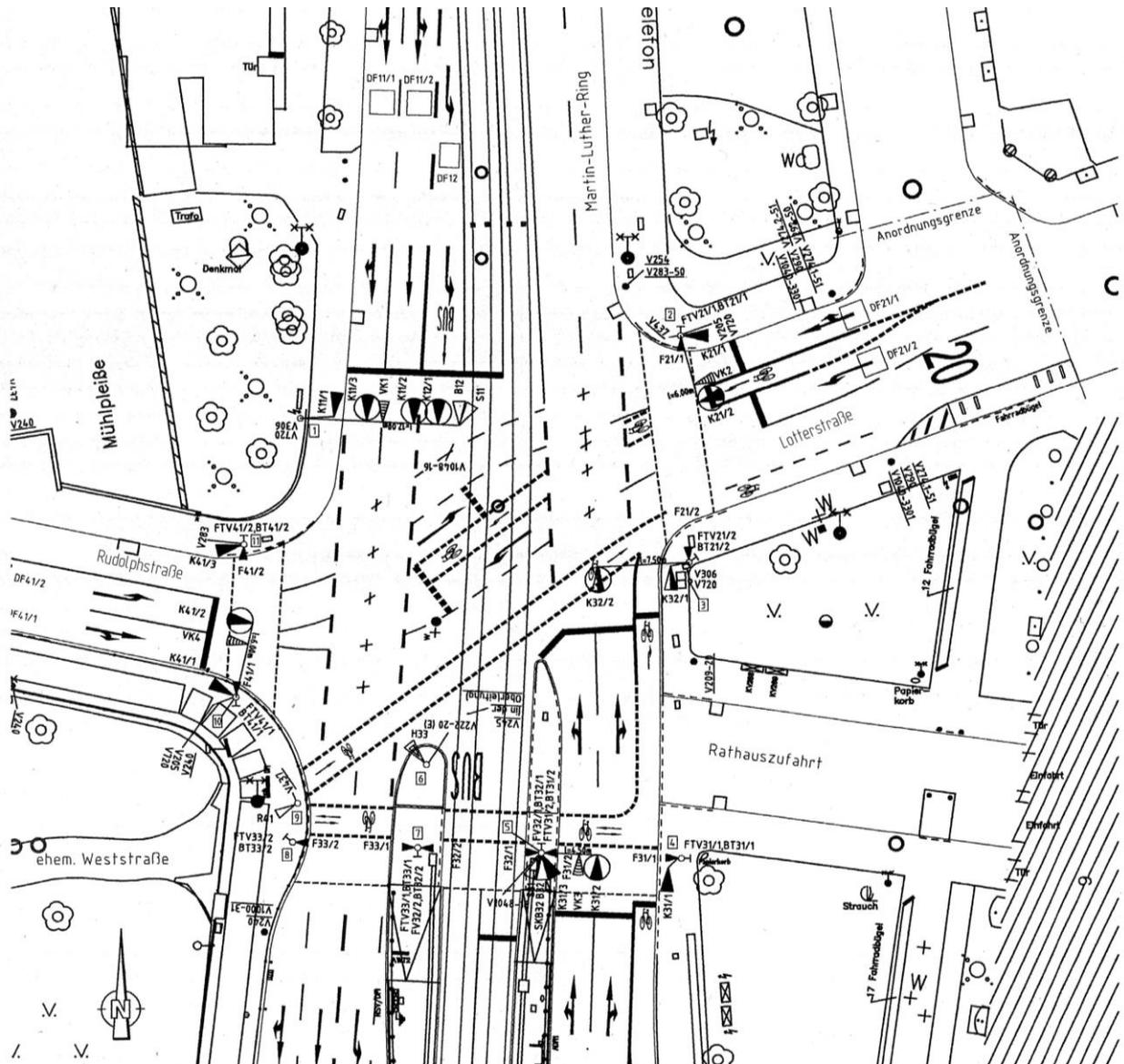


Abbildung 11: Lageplan Knotenpunkt L5, Ausschnitt aus Signallageplanskizze [Stadt Leipzig, Verkehrs- und Tiefbauamt]

Von Süden führen zwei Fahrstreifen den Kfz-Verkehr in den Knotenpunkt, dabei ist sowohl ein Fahrstreifen für den Geradeaus- und Linksabbiegeverkehr als auch für den Geradeaus- und Rechtsabbiegeverkehr vorgesehen. Straßenbegleitend ist ein Radfahrstreifen Richtung Knotenpunkt angelegt. Er leitet Radfahrende im Anschluss an die erste Furt der Zufahrt zum Rathaus rechts in die Lotterstraße. Eine weiterführende Strecke findet sich in der Nebenstraße, parallel zum Martin-Luther-Ring.

Zwei Furten führen über den südlichen Teil der Fahrbahn vom Martin-Luther-Ring. Rechtwinklig zur Fahrbahn ist eine Furt für den Fuß- und Radverkehr vorgesehen. Sie bedient zudem die Haltestellen

der Tram. Diagonal vom Parkausgang der ehemaligen Weststraße, Ecke Rudolphstraße, in die Lotterstraße ist darüber hinaus eine signalisierte Radverkehrsfurt vorhanden.

Die Lotterstraße ist in der Zufahrt zweistreifig unterteilt, einer Geradeaus und Links sowie ein Fahrstreifen für den Linksabbiegeverkehr auf den Martin-Luther-Ring. In der Ausfahrt ist zunächst ein Fahrstreifen mit einem Schutzstreifen ergänzt, der sich dann im Mischverkehr auflöst. Die Knotenpunktzufahrt ist für linksabbiegende Radfahrende um einen, lagebedingt sehr kurzen, Radfahrstreifen in Mittellage ergänzt. Sie werden direkt über das Knotenpunkttinnere hinweg in den anliegenden Park auf die ehemalige Weststraße geleitet.

Die Rudolphstraße bildet den westlichen Knotenpunktarm. Die Zufahrt ist für den Mischverkehr in zwei Fahrstreifen unterteilt, einen separaten Linksabbiegefahrstreifen, sowie einen Geradeaus- und Rechtsabbiegefahrstreifen. Die Knotenpunktausfahrt ist einstreifig aufgebaut. Anders als im restlichen Knotenpunktabschnitten, ist Parken entlang der Rudolphstraße erlaubt.

Schilderungen der Stadt zufolge mangelt es insbesondere an Radverkehrsqualität für den direkt geführten Linksverkehr aus der Lotterstraße in die ehemalige Weststraße der Parkanlage. Nicht nur ist der Radfahrstreifen in Mittellage lagebedingt an sich schon sehr kurz und bietet daher wenig Aufstellfläche. Auch werden Radfahrende zunächst in das Knotenpunkttinnere zwischen Kfz geleitet, wo die Tramgleise queren, bevor sie auf dem Weg in die Parkanlage noch den Fußgängerverkehr auf der Westseite des Martin-Luther-Rings durchsetzen müssen.

2.5.6 Knotenpunkt O3 - Oldenburg

Der Knotenpunkt O3 (Alexanderstraße / Nadorster Straße / Heiligengeiststraße) liegt im Oldenburger Stadtteil Bürgerfelde, direkt an der Südspitze vom Gertrudenkirchhof. Mit rund 13.000 Radfahrenden pro Tag ist dieser Knotenpunkt von hoher radverkehrlicher Bedeutung.

Er weist eine recht komplexe Knotenpunktstruktur auf. Die von Norden kommenden Hauptstraßen - Alexanderstraße und Nadorster Straße - treffen am Knotenpunkt aufeinander und bilden eine stark ausgeprägte Dreiecksspitze am südlichen Gertrudenkirchhof. Im weiteren Verlauf führen die Zufahrten beider Straßen in die Heiligengeiststraße. Dabei ist die aus Nordwesten kommende Alexanderstraße als eine Fahrbahn mit je einem Richtungsfahrstreifen ohne Abbiegebeziehung aufgeteilt. Gleichermäßen ausschließlich für den Geradeausverkehr bestimmt, führen zwei Fahrstreifen aus der nordöstlich gelegenen Nadorster Straße in den Knotenpunkt. Auch die Knotenpunktausfahrt der Nadorster Straße ist einstreifig aufgebaut.

Diese zwei Hauptstraßen werden von beidseits angelegten Einrichtungsradswegen begleitet. Jeweils auf der zum Gertrudenkirchhof liegenden Straßenseite sind Gehwege nur innerhalb der ummauerten Parkanlage vorgesehen. Zu- und Ausgang der Parkanlage befindet sich ebenfalls auf der Dreiecksspitze die, Schilderungen der Stadt zufolge, besonders radverkehrlich belastet ist.

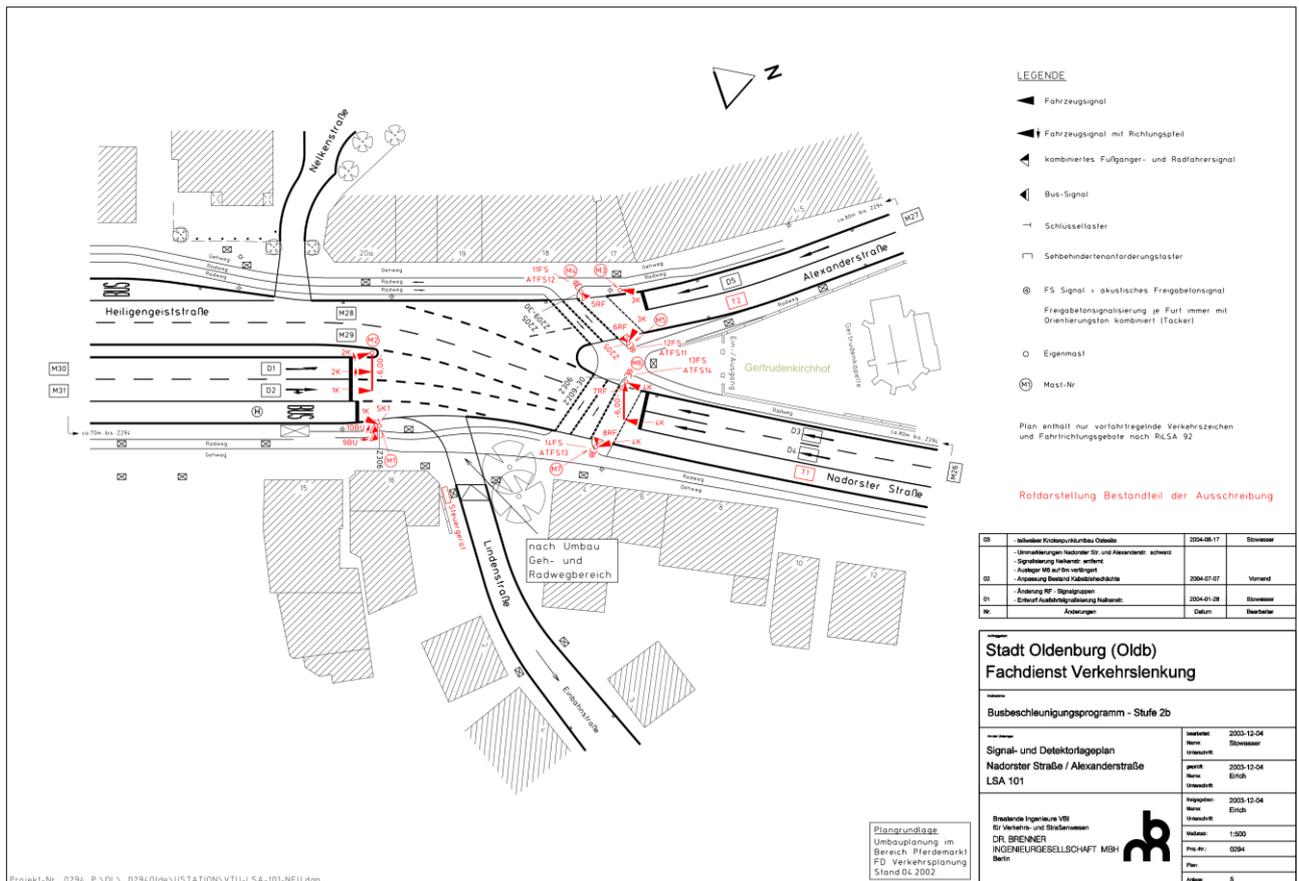


Abbildung 12: Lageplan Knotenpunkt O3 [Stadt Oldenburg]

Als Ursache dieser Belastung wurde nicht nur der Strom aus der Nadorster Straße in die Heiligengeiststraße benannt, auch wurde eine radverkehrlich bedeutsame Verbindung zwischen der Alexanderstraße und der östlich im Knotenpunkt von der Heiligengeiststraße abgehenden Lindenstraße angenommen. Hier können Radfahrende zum östlich gelegenen Hauptbahnhof gelangen. Für Kfz ist die Lindenstraße als Einbahnstraße angedacht, auf dem Rad ist Zweirichtungsverkehr erlaubt.

Die Heiligengeiststraße ist fünfstreifig aufgebaut und mittig durch einen unbegehbaren Grünstreifen baulich getrennt. Zwei Fahrstreifen bilden dabei die Knotenpunktausfahrt. Drei Fahrstreifen führen in den Knotenpunkt hinein, einer für linksabbiegende in die Alexander Straße, ein Fahrstreifen für den geradeaus- und Rechtsverkehr in Nadorster und Lindenstraße sowie ein Busfahrstreifen, der an der südlichen Zufahrt mit einer Haltestelle bedient wird. Beidseits der Fahrbahn sind dort Zweirichtungsradwege vorhanden, die regelkonform gestaltet sind.

Im Knotenpunktbereich, wo die Heiligengeiststraße auf die Alexanderstraße und Nadorster Straße trifft, leitet ausschließlich die signalisiert Furt über die Dreiecksspitze zu Fuß gehende und Radfahrende auf die gegenüberliegende Straßenseite. Die nächstgelegene weitere Furt liegt rund 150 Meter weiter südlich am Pferdemarkt. Schilderungen der Stadt zufolge, weist der Knotenpunkt hohe Kfz-Belastungen auf, weshalb keine Beschränkungen der Kfz-Freigaben im Signalzeitenplan erwünscht sind.

3 Methodik und Untersuchungsergebnisse des Ist-Zustandes der Knotenpunkte

3.1 Verkehrserhebung des Ist-Zustandes der Knotenpunkte

3.1.1 Methodik

Die Verkehrserhebungen fanden stets während der Radverkehrssaison an Normaltagen statt. Die Radverkehrssaison ist üblicherweise unter den hiesigen Wetterbedingungen im Zeitraum von März bis Oktober definiert. Der Begriff Normaltage bezeichnet die Tage von Dienstag bis Donnerstag in einer Woche ohne gesetzliche Feiertage oder Schulferien. Bei Relevanz lokaler Hochschulen wurden zum Zwecke der Untersuchungen auch Semesterferien beachtet, um den hochschulinduzierten Verkehr berücksichtigen zu können.

Bei den Erhebungen werden im Straßenseitenraum vom Knotenpunktbereich mehrere Kamerakästen montiert, um das Verkehrsgeschehen im Knotenpunkttinneren und in den Zufahrten nachvollziehbar dokumentieren zu können. Zur Identifikation der verkehrlichen Spitzenstunde des Radverkehrs, erfolgen die Videoaufnahmen üblicherweise von 7:00 Uhr bis 19:00 Uhr.

Anschließend folgt die Auswertung der Videodaten mit Fokus auf die maßgebenden Radverkehrsströme. Hierbei wird das Material zunächst durch Schnitt und Synchronisierung der einzelnen Videospuren aufbereitet und die radverkehrliche Spitzenstunde bestimmt. Weitere Zählungen innerhalb der Spitzenstunde liefern dann vertiefende Ergebnisse zu den Belastungen der einzelnen Knotenströme verschiedener Verkehrsmodi, wodurch auch ein Abgleich mit den vorhandenen Angaben zu maßgebenden Radverkehrsströmen möglich ist. Zudem werden die Videodaten hinsichtlich bestimmter Verhaltensparameter zur Kalibrierung der Simulationsumgebungen ausgewertet. So werden beispielsweise Geschwindigkeitsverteilungen des Radverkehrs - je auf Basis von 50 frei und ungehindert Radfahrenden-, aber auch Parameter für die seitlichen Abstände bei Überholvorgängen sowie das Aufstellverhalten ermittelt. Die Beschränkung auf frei und ungehindert Radfahrende bei den Geschwindigkeitsmessungen dient der Ableitung eines Geschwindigkeitsprofils für die mikroskopischen Simulationen, dass nicht durch Interaktionen mit anderen Verkehrsteilnehmenden oder ein Ausrollen auf ein rotes Signal beeinträchtigt ist. Eine Untersuchung von auffälligen Verhaltensmustern der Radfahrenden zielt darauf ab Ausprägungen von Qualitätsdefiziten am Knotenpunkt abzuleiten. Zusammenfassend ermöglicht diese Vorgehensweise eine realitätsnahe Arbeitsgrundlage für die anschließende multimodale Verkehrsfluss-Simulation.

Anhand der gewählten Knotenpunkte wurden im weiteren Verfahren vor allem solche Radverkehrsströme und Ursachen detailliert untersucht, die im Ist-Zustand besonders auffällige Defizite im Kontext der gesamten Knotenpunktumgebung aufweisen. Sie werden im Rahmen der vorliegenden Untersuchung als maßgebender Strom bezeichnet.

3.1.2 Knotenpunkt F3 - Frankfurt am Main

Die Auswertung der Erhebungsdaten am Knotenpunkt F3 (Bockenheimer Landstraße / Ulmenstraße / Liebigstraße) zeigt den Verlauf der maßgebenden Ströme entlang der Bockenheimer Landstraße innerhalb einer radverkehrlichen Spitzenstunde von 08:15 Uhr bis 09:15 Uhr (siehe Abbildung 13). Ein- und abbiegende Ströme sind im Kfz- und Radverkehr nur schwach ausgeprägt.

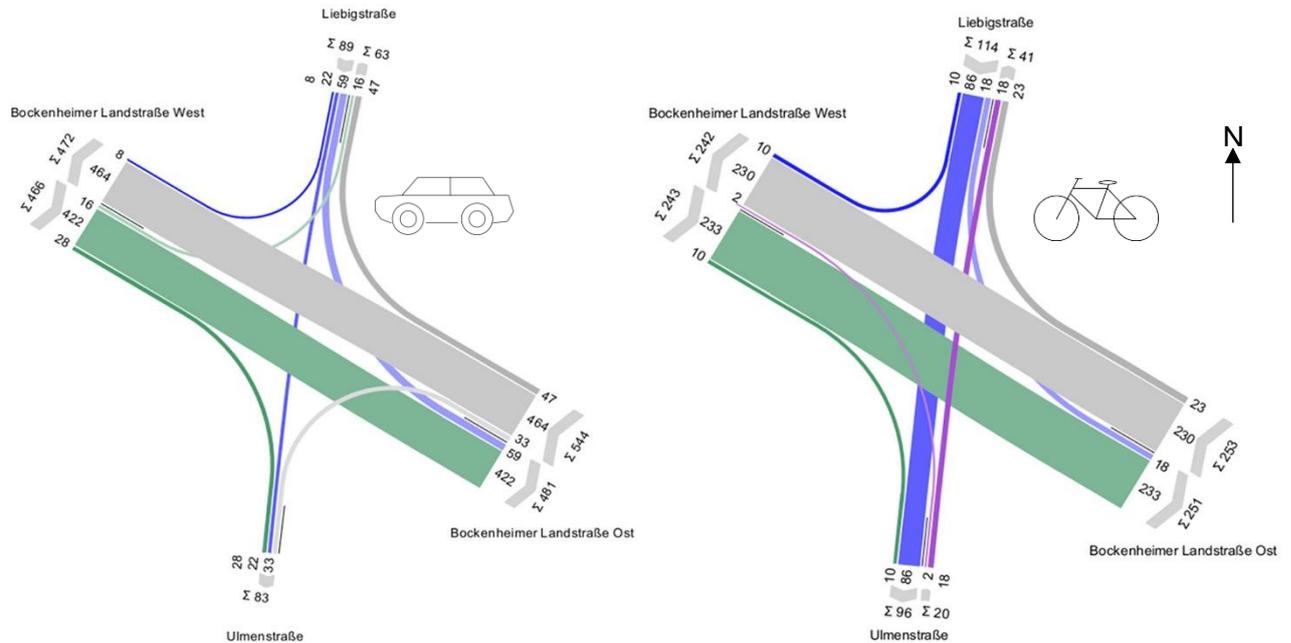


Abbildung 13: Kfz- (links) und Radverkehrsströme (rechts) am Knotenpunkt F3 [TU Berlin]

Die Durchschnittsgeschwindigkeit des unbehindert fahrenden Radverkehrs liegt mit 20 km/h und einer Spanne von 14 km/h bis 29 km/h im Vergleich zu den anderen Städten auf einem mittleren Niveau.



Abbildung 14: Überholen abseits der Radverkehrsfurten am Knotenpunkt F3 [TU Berlin]

Die Radverkehrsinfrastruktur vor Ort basiert auf schmalen Radwegen (Breite 1,50 m) zwischen Begrünung im Seitenraum und Bord. Es konnte verstärkt beobachtet werden, dass Radfahrende sich

erst im Knotenpunktbereich überholen und mitunter die markierten Furten verlassen (siehe Abbildung 14). Dies lässt den Schluss zu, dass das Überholen im Radverkehr auf den schmalen Streckenabschnitten zwischen den Knotenpunkten erschwert ist, zudem ließ sich eine verstärkte regelwidrige Gehwegnutzung der Radfahrenden beobachten.

In der nördlichen Zufahrt, welche ebenfalls eine relevante Radverkehrsbelastung aufweist, fehlen Radverkehrsanlagen völlig. Es ist anzunehmen, dass dies die beobachtete Gehwegnutzung durch Radfahrende begünstigt.

3.1.3 Knotenpunkt F4 - Frankfurt am Main

In der ermittelten abendlichen Spitzenstunde von 18:00 Uhr bis 19:00 Uhr verdeutlichen die Untersuchungen am Knotenpunkt F4 (Untermainkai / Neue Mainzer Straße / Hofstraße / Untermainbrücke) eine Spitzenbelastung des maßgebenden Radverkehrsstroms aus der Neuen Mainzer Straße über die Verkehrsinsel der Hofstraße und deren diagonale Furt zur Untermainbrücke von mehr als 300 Radfahrenden pro Stunde (siehe Abbildung 15). Die Gesamtfreigabezeit für den maßgebenden Radverkehrsstrom beträgt 200 Sekunden pro Stunde und resultiert aus einem LSA-Umlauf von 90 Sekunden, bei einer Mindestfreigabezeit des entsprechenden Radverkehrsstromes von nur 5 Sekunden pro Umlauf.

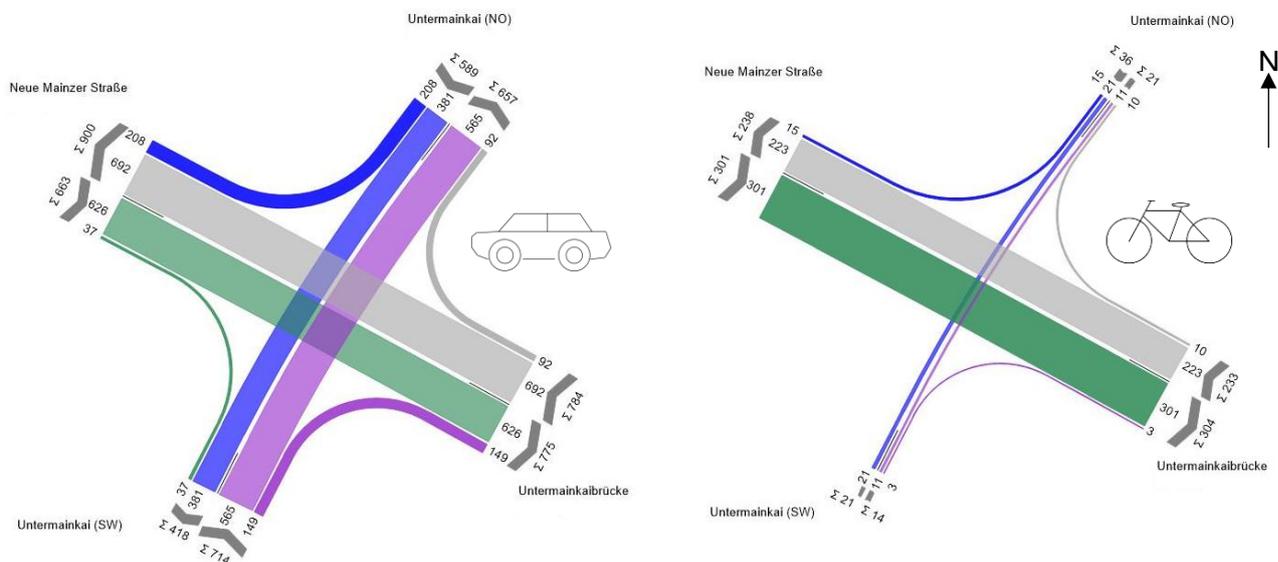


Abbildung 15: Kfz- (links) und Radverkehrsströme (rechts) am Knotenpunkt F4 [TU Berlin]

Die Durchschnittsgeschwindigkeit des frei fahrenden Radverkehrs beträgt 17 km/h mit einer Spanne von 11 km/h bis 26 km/h. Somit fällt an diesem Knotenpunkt das Geschwindigkeitsniveau im Radverkehr am niedrigsten aus. Im Fokus der Untersuchungen am Knotenpunkt F4 stehen das Aufstellverhalten, der Anteil der Gelb- und Rotfahrten sowie die Post-Encroachment-Time (PET) zwischen dem räumenden Radverkehr und dem einfahrenden Kfz-Verkehr am jeweiligen Konfliktpunkt.

Zur Auswertung des Aufstellverhaltens wurde der Bereich vor der Haltlinie in Zonen eingeteilt (siehe Abbildung 16), wobei Zone 0 in Fahrtrichtung bereits hinter der Haltlinie liegt. Die regulären Zonen 1 bis 3 bilden den Bereich zwischen Haltlinie und dem Fußgängerüberweg ab. Zone 4 kennzeichnet den Bereich des Fußgängerüberwegs und Zone 5 den Bereich davor. Maßgebend für die Zuordnung zu den fünf Zonen ist jeweils die Vorderkante des Vorderrades der Fahrräder in Warteposition.

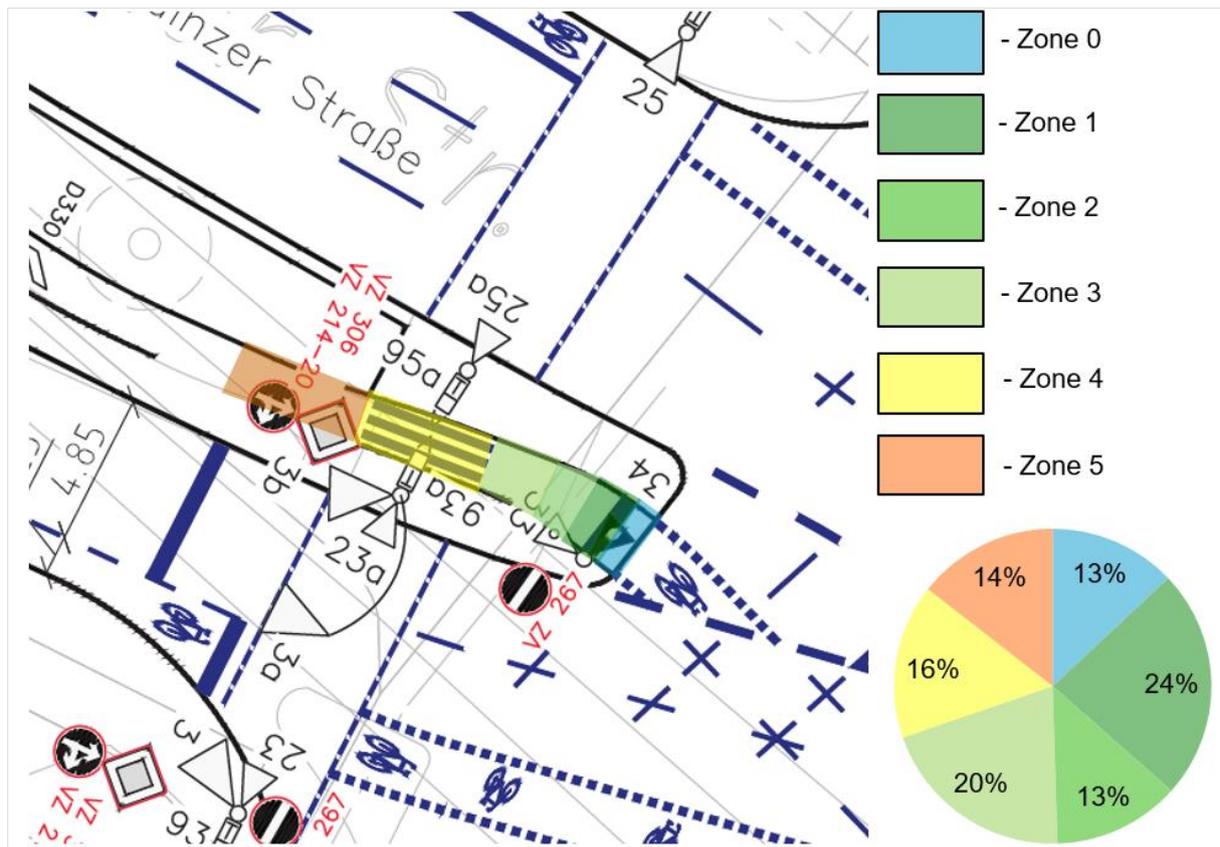


Abbildung 16: Aufstellverhalten am Knotenpunkt F4 [Stadt Frankfurt am Main, TU Berlin]

Es zeigt sich, dass bei auftretendem Rückstau fast ein Drittel der Radfahrenden in den Zonen 4 und 5 warten (siehe Abbildung 17). In Zone 4 ist dies problematisch, da der Fußverkehr behindert wird, obwohl der vorhandene Fußgängerüberweg ein Vorrecht für zu Fuß Gehende kennzeichnet.



Abbildung 17: Rückstau von Radfahrenden am Knotenpunkt F4 [TU Berlin]

Zone 5 ist ebenfalls kritisch zu bewerten, weil der hier wartende Radverkehr nach Freigabe der Lichtsignalanlage die Haltlinie aufgrund der kurzen Grünzeit häufig erst bei Rot erreicht. In den Verhaltensbeobachtungen der Radfahrenden können dementsprechend zahlreiche Rotlichtverstöße vernommen werden. Die räumliche Kapazität der vorderen Zonen 1 bis 3 reicht für etwa fünf wartende Radfahrende aus. Bei acht Wartenden stellen sich bereits 40 % der Radfahrenden in den Zonen 4 und 5 auf. Bei zehn und mehr wartenden Radfahrenden beträgt dieser Anteil sogar 60 %.

Der Anteil von Gelb- und Rotfahrten des implementierten Festzeit-Signalprogrammes steigt entsprechend dem zunehmenden Anteil an Radfahrenden. Im Schnitt fahren 75 % bei Grün, rund 14 % der Radfahrenden passieren die Haltlinie noch bei Gelb und Rotfahrten sind in rund 11 % der Fälle zu beobachten (siehe Abbildung 18).

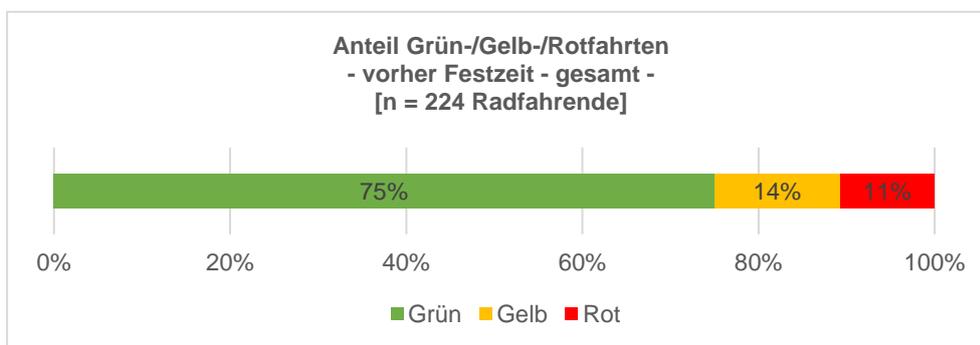


Abbildung 18: Anteil Grün- / Gelb- / Rotfahrten -Vorher- gesamt, F4 [TU Berlin]

Bei einer differenzierten Betrachtung des Radverkehrsaufkommens am Knotenpunkt werden die Unterschiede der anteiligen Grün-, Gelb- und Rotfahrten deutlich. Bei einem geringeren Aufkommen von 1-3 Radfahrenden während eines Umlaufes liegt der Anteil der Grünfahrten bei 90 % und bei mehr als 4 Radfahrenden sinkt dieser auf bis zu 73 % (siehe Abbildung 19).

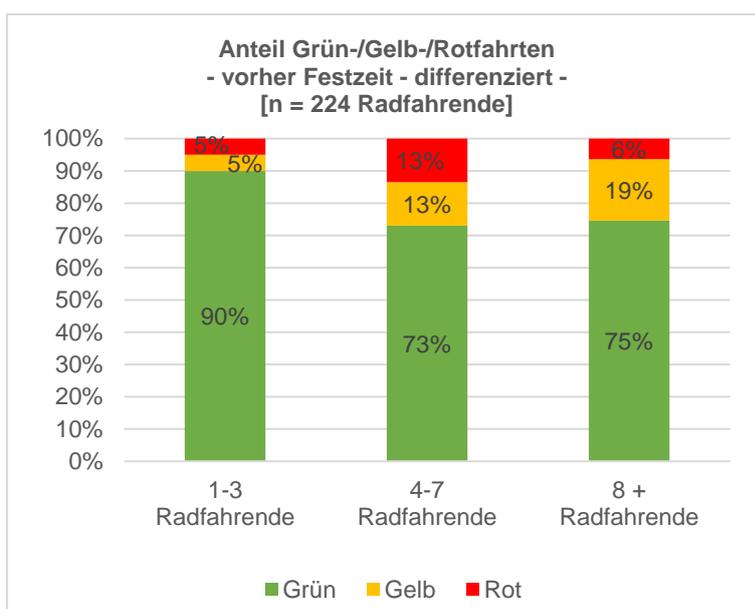


Abbildung 19: Anteil Grün- / Gelb- / Rotfahrten -Vorher- differenziert, F4 [TU Berlin]

Bezüglich der Signalbilder Grün, Gelb und Rot ist bei der Gruppe mit 4-7 Radfahrenden und der Gruppe mit 8 und mehr Radfahrenden ein ähnliches Verhalten ersichtlich, jedoch sind mit 13 % mehr Rotfahrten in der Gruppe mit 4-7 Radfahrenden zu verzeichnen, als bei einem größeren Radverkehrsaufkommen. Hinsichtlich der zusammengefassten Gelb- und Rotfahrten bei 4 und mehr Radfahrenden sind die Anteile mit 25 % und 26 % mehr als doppelt so groß wie der bei der Gruppe mit 1-3 Radfahrenden. Es liegt die Vermutung nahe, dass eine Pulkung von Radfahrenden das Mitziehen aller mitfließenden Radfahrenden fördert, die den Knotenpunkt noch während eines Umlaufes passieren wollen. In Folge der zahlreichen Gelb- und Rotfahrten - die Haltlinie wird auch noch in der 3. oder 4. Rotsekunde überfahren - treten teils sehr geringe Zeitabstände zwischen räumendem Rad- und einfahrendem Kfz-Verkehr am Konfliktpunkt auf (siehe Abbildung 20).



Abbildung 20: Geringe Zeitabstände am Konfliktpunkt infolge häufiger Rotfahrten, F4 [TU Berlin]

Die Post-Encroachment-Time (PET), somit der Zeitabstand zwischen dem Verlassen des potentiellen Konfliktpunktes des Radfahrenden und dem Erreichen des potentiellen Konfliktpunktes durch den Kraftfahrzeugführenden liegt in den 40 ausgewerteten LSA-Umläufen (entspricht einer Stunde) im Mittel bei 5,1 Sekunden. In 20 % der Umläufe liegt die PET bei durchaus sicherheitsbedenklichen 3 Sekunden und weniger (siehe Abbildung 21).

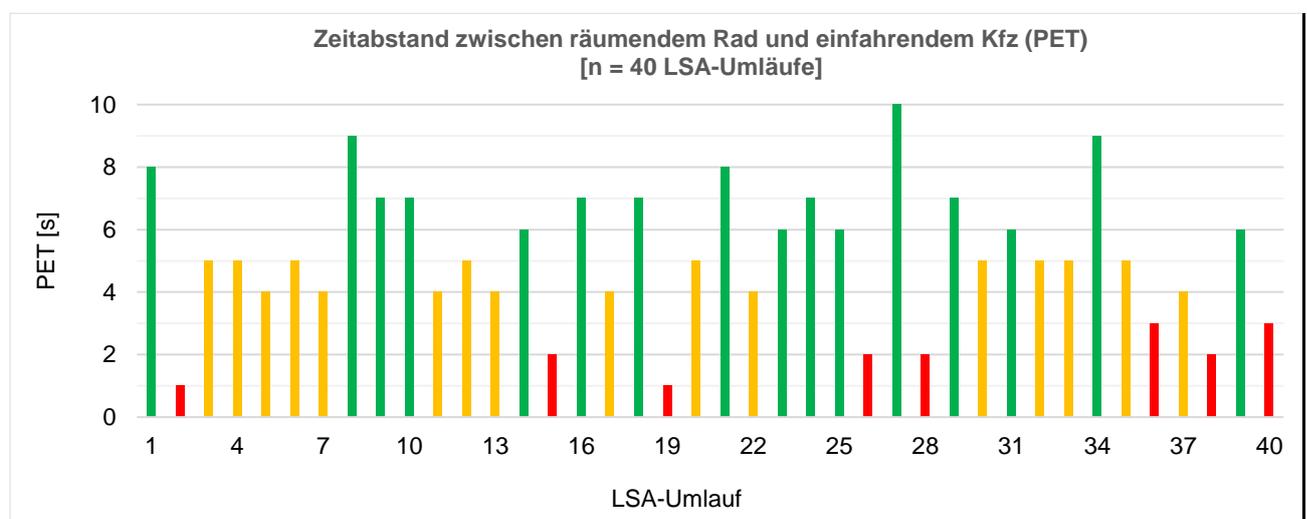


Abbildung 21: Zeitabstand zwischen räumendem Rad und einf. Kfz (PET) im Ist-Zustand, F4 [TU Berlin]

3.1.4 Knotenpunkt H1 - Hannover

Am Knotenpunkt H1 (Königsworther Platz) fällt in der radverkehrlichen Spitzenstunde von 17:00 Uhr bis 18:00 Uhr grundsätzlich eine sehr hohe Kfz-Belastung auf, die trotz verkehrsabhängiger LSA-Steuerung zu langen Rückstaus führt. Besonders ausgeprägt zeigt sich dies in der Brühlstraße und der Königsworther Straße. Die Radverkehrsbelastung kann gleichermaßen als hoch eingestuft werden. Dabei stellen sich die Ströme vom Königsworther Platz in die Nienburger Straße und den Bremer Damm besonders problematisch dar (siehe Abbildung 22). Letzterer verläuft vom Königsworther Platz durch indirektes Linksabbiegen Richtung Bremer Damm, wo der Georgengarten anschließt.

Es muss angemerkt werden, dass der Knotenpunkt wegen seiner Komplexität in zwei Teilen erhoben werden musste und das Areal zwischen beiden Teilknoten nicht komplett abgedeckt ist. Die Auswertung erfolgte daher für beide Teilknoten separat, da die Verfolgung einzelner Verkehrsteilnehmer durch den gesamten Knoten nicht möglich war. Daraus resultieren geringe Diskrepanzen zwischen beiden Teilknoten, wie sie in Abbildung 22 für den Kfz- und Radverkehr dargestellt sind. Für die Simulation wurde ein Mengenausgleich angewandt, den die Abbildung nicht zeigt.

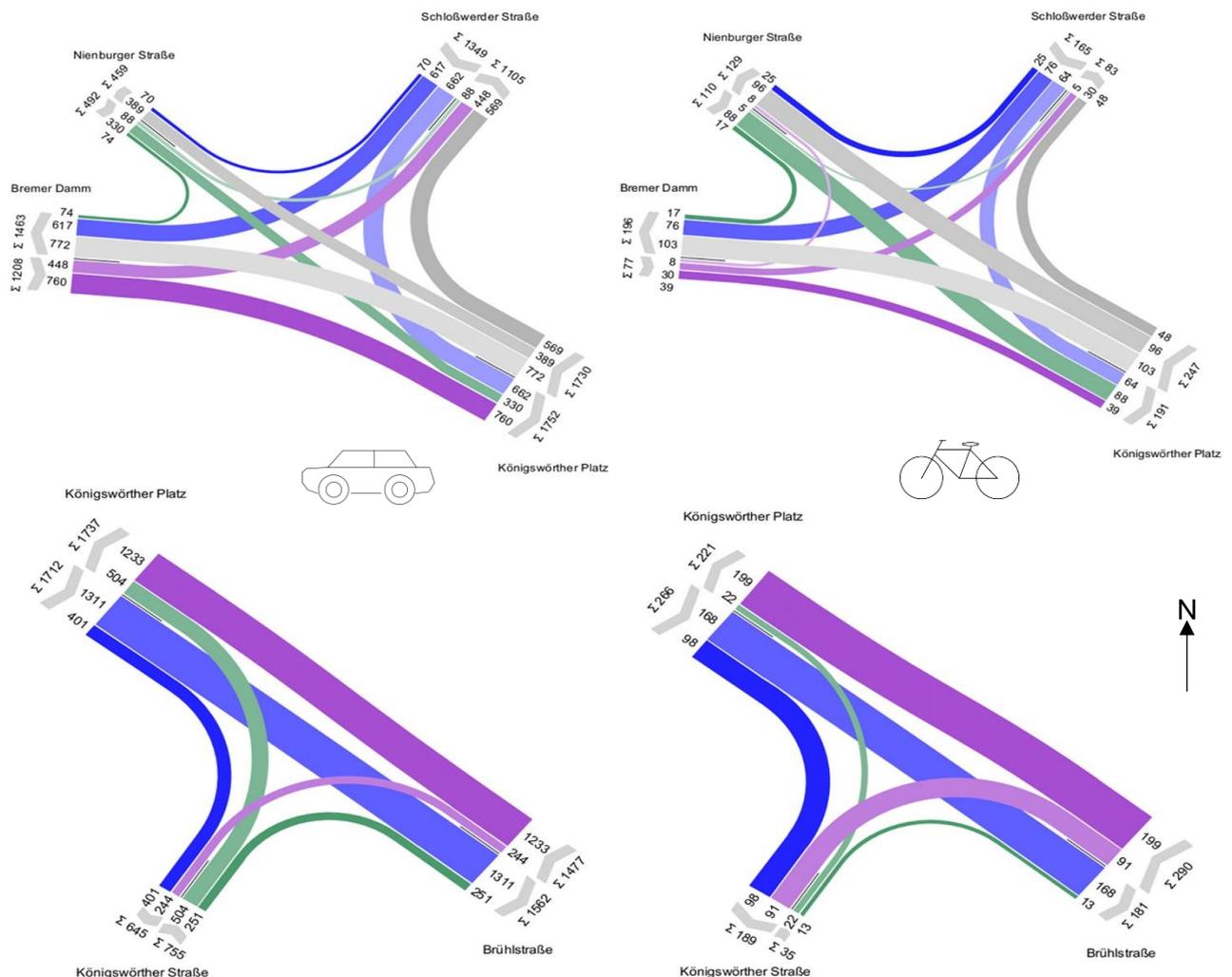


Abbildung 22: Kfz- (links) und Radverkehrsströme (rechts) am Knotenpunkt H1 [TU Berlin]

Die Durchschnittsgeschwindigkeit des Radverkehrs liegt bei 18 km/h, mit einer Spanne von 10 km/h bis 26 km/h, auf einem vergleichsweise niedrigen Niveau.

Auf den Radverkehrsanlagen beider Teilknoten, vorrangig 2 Meter breite Zweirichtungsradswege, lässt sich immer wieder gegenseitige Behinderung der Radfahrenden untereinander beobachten. Gleichermäßen zeigt sich dies auf den maßgebend beeinträchtigten Furten der Brühlstraße, Schloßwender Straße und Nienburger Straße. Radfahrende weichen daher auf nicht für sie vorgesehene Bereiche, etwa die Gehwege und Fußgängerfurten aus (siehe Abbildung 23).



Abbildung 23: Ausweichen von Zweirichtungsfurt auf der Brühlstraße, H1 [TU Berlin]

Das Verhalten der Radfahrenden verdeutlicht zudem, dass die Radverkehrsanlagen am Knotenpunkt nicht bedarfsgerecht gestaltet sind. So fehlt es unter anderem an Aufstellfläche an den Lichtsignalanlagen (siehe Abbildung 24). Auch können die für den Bedarf unterdimensionierten Furten und Mittelinseln der Schloßwender und Nienburger Straße bemerkt werden. Auf den Mittelinseln war ferner häufiger ein Stranden von Radfahrenden zu beobachten, was aufgrund der geringen Größe nicht nur aus qualitativer Hinsicht ungünstig ist, sondern auch Sicherheitsrisiken mit sich bringt.



Abbildung 24: Nicht bedarfsgerechte Radverkehrsanlagen am Knotenpunkt H1 [TU Berlin]

3.1.5 Knotenpunkt L4 - Leipzig

Am Knotenpunkt L4 (Karl-Liebknecht-Straße / Richard-Lehmann-Straße) zeigen sich in der Spitzenstunde von 17:00 Uhr bis 18:00 Uhr vorwiegend Geradeausverkehre, ab- und einbiegende Ströme sind schwach ausgeprägt (siehe Abbildung 25). Dabei liegt die Hauptverkehrsachse für Radfahrende in der Karl-Liebnecht-Straße, wohingegen sich Kfz in der Richard-Lehmann-Straße häufen.

Das Geschwindigkeitsniveau des Radverkehrs fällt an diesem Leipziger Untersuchungsschwerpunkt mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 24 km/h und einer Spanne von 14 km/h bis 35 km/h deutlich höher aus als jene der anderen Knotenpunkte. Dabei ist zu bedenken, dass nur frei und ungehindert Radfahrende ausgewertet wurden, um ein unbeeinflusstes Geschwindigkeitsprofil des Radverkehrs ableiten zu können. Geschwindigkeitsreduktionen durch Interaktionen mit anderen Radfahrenden bzw. ein Ausrollen auf ein rotes Signal sind darin nicht enthalten.

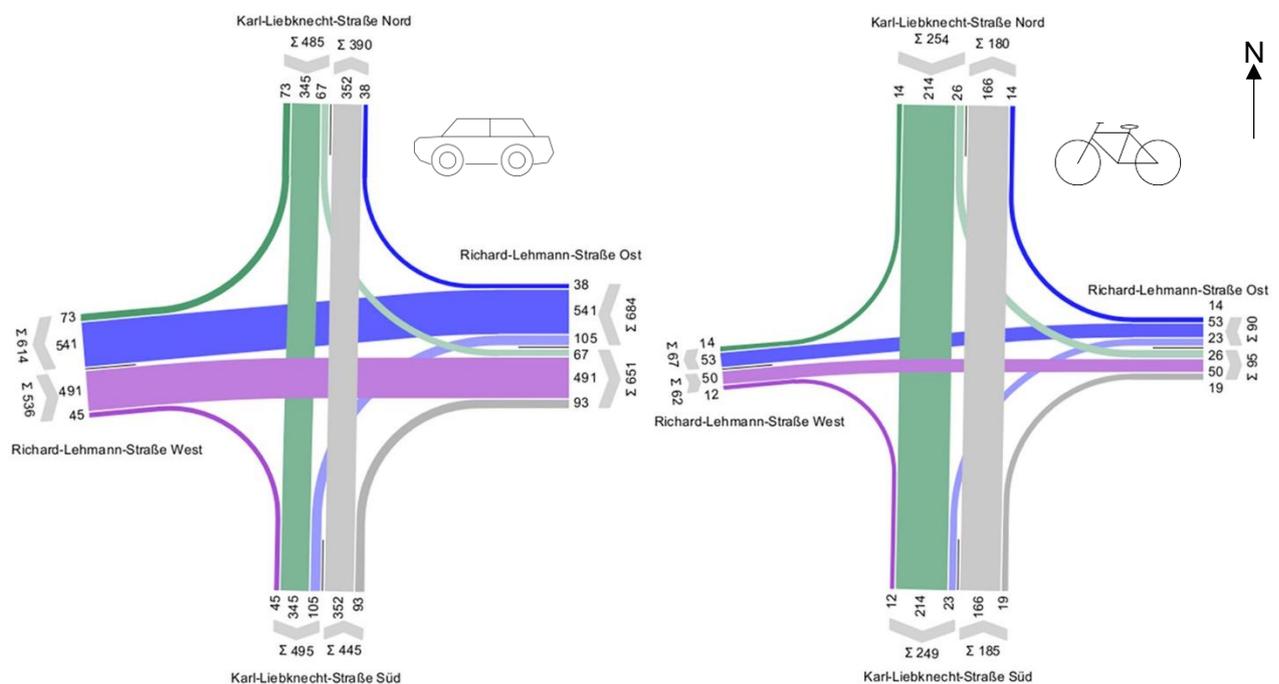


Abbildung 25: Kfz- (links) und Radverkehrsströme (rechts) am Knotenpunkt L4 [TU Berlin]

Hinsichtlich der Auswertung der Radverkehrsinfrastruktur zeigt sich der Knotenpunkt L4 inkonsistent. Während in der südlichen Zufahrt der Karl-Liebnecht-Straße ein gut ausgebauter Radfahrstreifen in Mittellage zu finden ist und auch keine auffälligen Probleme zu beobachten waren, stellt sich die Mischverkehrslösung in der nördlichen Zufahrt aus qualitativer Sicht höchst ungünstig dar. Hier existiert zwar stromaufwärts eine Radverkehrsanlage, jedoch entfällt sie im weiteren Straßenverlauf mit der Tram-Haltestelle ab dem Nachbarknoten der Kantstraße ersatzlos.

Auf der schmalen Fahrbahn der nördlichen Zufahrt - bei 6,0 Metern Breite für zwei Fahrstreifen im Mischverkehr - sind immer wieder Konflikte zwischen Kfz- und Radverkehr zu beobachten, unter denen die Radverkehrsqualität stark leidet. Aufgrund der beiden obligatorischen Kfz-Fahrstreifen,

einer für Rechtsabbiegender und einer für den Geradeaus- und Linksabbiegeverkehr, sowie des geringen Platzes verbleibt dem Radverkehr kaum eine Möglichkeit um zügig zur Haltlinie zu gelangen. Stattdessen ist als Standardfall zu beobachten, wie sich Radfahrende sukzessive mit einem gen Null gehenden Seitenabstand an wartenden Fahrzeugen entlang vorarbeiten (siehe Abbildung 26). Diese Situation begünstigt auch die zu beobachtende Gehwegnutzung.



Abbildung 26: Beengende Platzverhältnisse für Rad und Kfz am Knotenpunkt L4 [TU Berlin]

3.1.6 Knotenpunkt L5 - Leipzig

Am Knotenpunkt F5 (Martin-Luther-Ring / Lotterstraße) zeigt sich in der radverkehrlichen Spitzenszene von 16:45 Uhr bis 17:45 Uhr vor allem der starke Linksabbiegestrom von der Lotterstraße in die ehemalige Weststraße (Parkanlage). Andere Ströme im Radverkehr sind vergleichsweise gering ausgeprägt (siehe Abbildung 27).

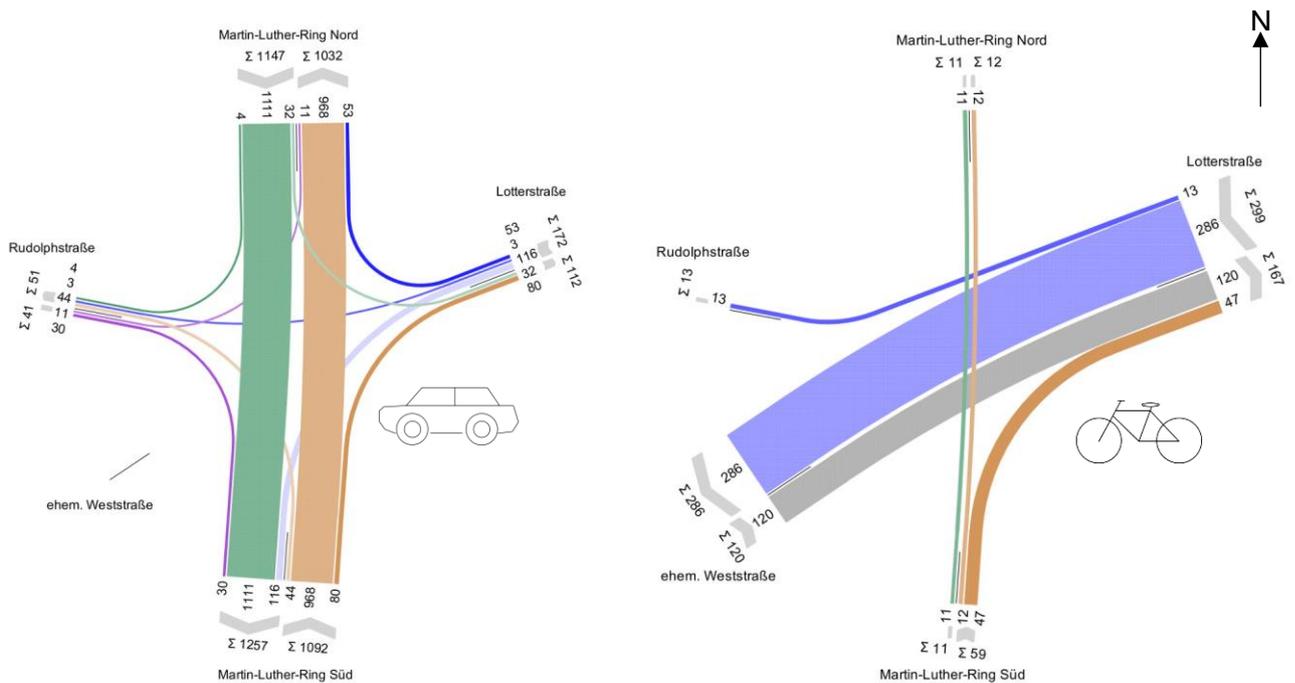


Abbildung 27: Kfz- (links) und Radverkehrsströme (rechts) am Knotenpunkt L5 [TU Berlin]

Dieser stark belastete Strom steht insbesondere im Bereich der Einfahrt in den Park auf der Westseite des Martin-Luther-Rings im Konflikt mit Fußgängerverkehr. Die mittlere Geschwindigkeit des unbehindert fahrenden Radverkehrs beträgt 19,4 km/h mit einer Spanne von 10 km/h bis 31 km/h. Im Hinblick auf die Radverkehrsinfrastruktur finden sich vor Ort in erster Linie Radfahrstreifen. In der schwerpunktmäßig betrachteten Knotenpunktzufahrt (Lotterstraße) ist er in Mittellage ausgeführt.

Ein von der Stadtverwaltung Leipzig als qualitativ problematisch beschriebener Aspekt - das Aufstellen großer Radverkehrsmengen im Knotenpunkttinneren zwischen den abbiegenden Kfz - konnte bei der Erhebung und Auswertung des Ist-Zustandes nicht nachgewiesen werden. Dennoch wird dieses Problem im Rahmen der späteren Maßnahmenvorschläge nicht außer Acht gelassen.

Die Auswertungen der Verkehrserhebung verdeutlicht, dass die Dimensionierung der Aufstellflächen in der Lotterstraße der Radverkehrsnachfrage nicht angemessen ist. Dies führt dazu, dass in der Spitzenstunde wiederholt lange Rückstaus auf dem sehr kurzen Radfahrstreifen in Mittellage beobachtet werden können. Teilweise warten bis zu 15 Radfahrende auf die Freigabe, auch stellen sich Radfahrende, ungeachtet der Fahrtrichtung, gehäuft neben der Radverkehrsanlage an der Haltlinie des Kfz-Fahrstreifens auf (siehe Abbildung 28). Dies wird als Zeichen des tatsächlichen Bedarfs in die weiteren Diskussionen zu Lösungsvorschlägen aufgenommen.



Abbildung 28: Nicht bedarfsgerechte Aufstellfläche am Knotenpunkt L5 [TU Berlin]

3.1.7 Knotenpunkt O3 - Oldenburg

Die radverkehrliche Spitzenstunde am Knotenpunkt O3 (Alexanderstraße / Nadorster Straße / Heiligengeiststraße) ist im Zeitraum von 07:15 Uhr bis 08:15 Uhr zu beobachten. Bei rund 20 km/h und einer Spanne von 12 km/h bis 32 km/h liegt die Durchschnittsgeschwindigkeit des Radverkehrs im Vergleich zu den anderen Städten auf einem mittleren Niveau.

Die Knotenstromerhebungen verdeutlichen insbesondere maßgebende Ströme der Radverkehrsbeziehungen aus den Hauptstraßen Alexanderstraße sowie Nadorster Straße in die Heiligengeiststraße, aber auch die Lindenstraße wird rege befahren (siehe Abbildung 29). Im Resultat führen fast zwei

Drittel aller Radverkehrsbeziehungen über die Furten der Dreiecksspitze am südlichen Gertrudenkirchhof. Konflikte sich kreuzender Ströme der Radfahrenden und zu Fuß Gehenden wirken sich negativ auf die Radverkehrsqualität aus. Negative Auswirkungen derartiger Konflikte auf die Fußverkehrsqualität sind ebenfalls plausibel, standen jedoch nicht im Fokus des Projektes.

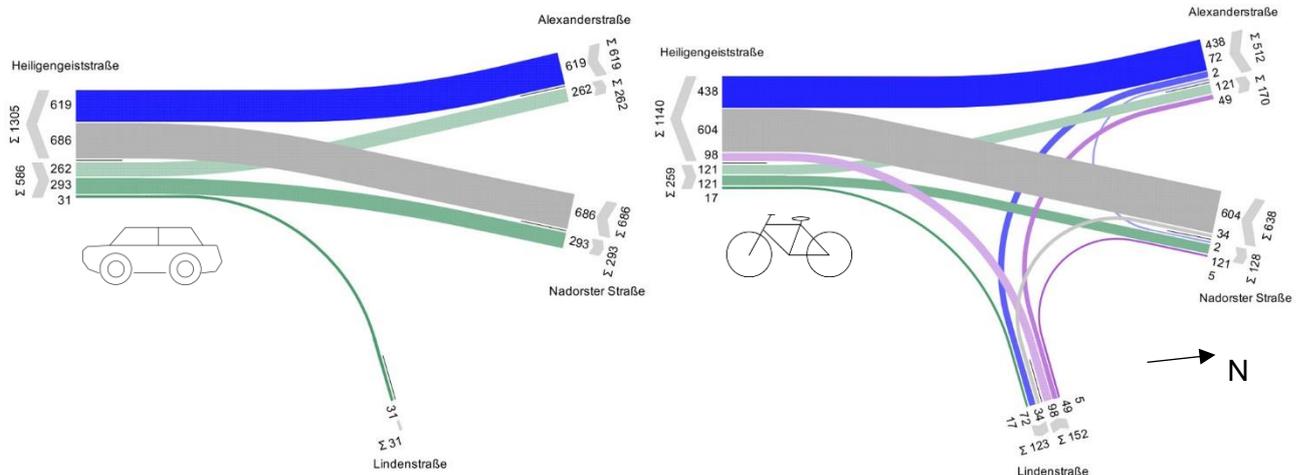


Abbildung 29: Kfz- (links) und Radverkehrsströme (rechts) am Knotenpunkt O3 [TU Berlin]

Einer der wichtigen Ströme, aus der Alexanderstraße in die Lindenstraße in Richtung Bahnhof, ist zwar per sé nicht sehr stark belastet, muss aber den markanten Strom von der Nadorster Straße in die Heiligengeiststraße auf beengtem Raum durchsetzen (siehe Abbildung 30). Dabei bedarf es der Querung beider Furten der Dreiecksspitze, was mitunter hohe Verlustzeiten mit sich bringt. Es kann immer wieder beobachtet werden, wie Radfahrende die Dreiecksspitze vermeiden und den Knotenpunkt diagonal überfahren. Dies ist aufgrund der langen Strecke durch den Knotenpunkt und der fehlen Signalisierung nicht ungefährlich. Ebenfalls auffällig, und von qualitativer Bedeutung, sind die Ergebnisse der Verhaltensbeobachtungen auf den regelkonform gestalteten Zweirichtungsradwegen beidseits der Heiligengeiststraße. Hier ist mitunter zu beobachten, dass Radfahrende bei hoher Radverkehrsbelastung abseits der Radwege fahren und auf den Gehweg ausweichen. Die Einrichtungsradwege zeigen sich größtenteils unauffällig. Lediglich auf der Westseite der Alexanderstraße ist teilweise regelwidriges Linksfahren entgegen der vorgesehenen Fahrtrichtung zu beobachten.



Abbildung 30: Kreuzen starker Ströme auf engem Raum am Knotenpunkt O3 [TU Berlin]

3.2 Verkehrssimulation des Ist-Zustandes

3.2.1 Methodik

Für die Simulation des Ist-Zustandes wurde eine multimodale, mikroskopische Verkehrssimulationssoftware von PTV Vissim in der Version 9 angewandt. Grundlegende Strukturen der Simulationsumgebungen sind dabei auf Basis der von den Partnerstädten zur Verfügung gestellten Daten implementiert. Dazu gehören Lagepläne und verkehrstechnische Unterlagen, inklusive der Signalzeitpläne.

Die Verkehrsflusssimulationen konnten zudem um Daten und Parameter aus Knotenstromerhebungen aller relevanten Verkehrsmodi erweitert werden, die sich aus den erhobenen Videodaten ableiten lassen (siehe Kapitel 3.1.1). Dabei werden die maßgebenden Radverkehrsströme und Problemstellen der jeweiligen Knotenpunkte fokussiert.

Von besonderer Bedeutung für eine realitätsnahe Simulation des Ist-Zustandes sind die Geschwindigkeit der Radfahrenden, das Verhalten untereinander sowie eingehaltene Seitenabstände beim gegenseitigen Überholen und das Aufstellen in den Knotenpunktzufahrten. Dabei konnte auf Erkenntnissen aus Dänemark aufgebaut werden, wo bereits erste Erfahrungen mit der Simulation von Radverkehr in Knotenpunktbereichen gemacht wurden [4]. Die dort gewonnenen Erkenntnisse wurden aufgegriffen und entsprechend der lokalen Gegebenheiten modifiziert, um die Eigenheiten des hiesigen Radverkehrs möglichst realitätsnah abzubilden. Grundsätzlich ist dabei jedoch anzumerken, dass sich Radfahrende in der Simulation, anders als in der Realität, ausschließlich regelkonform verhalten. Darüber hinaus erweisen sich die Erfahrungen aus Dänemark als nützlich, da die Wirkungsbeschreibungen der einzelnen Parameter in PTV VISSIM genutzt werden können, um das Verhalten des simulierten Radverkehrs in die gewünschten Bahnen zu lenken. In der Kalibrierungsphase erfolgt ein ständiger Abgleich zwischen den Simulationen und an den Knotenpunkten erhobenen Videos. Ziel dieser innovativen Vorgehensweise ist es, ein möglichst detailliertes und realitätsnahes Abbild des Knotenpunktes in der Verkehrssimulation zu erzeugen in dem auch Radfahrende und ihre spezifischen Verhaltensweisen berücksichtigt sind.

Zudem finden relevante stromaufwärts gelegene Pförtner-Lichtsignalanlagen in der Simulation Berücksichtigung, um beobachtete Effekte der Pulkung des eintreffenden Rad- und Kfz-Verkehrs hervorgerufen und berücksichtigen zu können. Pförtneranlagen dienen somit der kontrollierten und realitätsnahen Einspeisung von Fahrzeugen und Radfahrenden in das Netz, die das Eintreffen des Verkehrs als Fahrzeugkolonne oder im Pulk nachbilden.

Zur Gewährleistung einer Bewertungsmöglichkeit der vorzuschlagenden Verbesserungsmaßnahmen sind darüber hinaus erweiterte Messungen implementiert, die sich eignen, die Radverkehrs-

qualität zu beschreiben. Im Usus der Verkehrsplanung bemisst sich die Radverkehrsqualität an Knotenpunkten nach dem Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS) 2015 lediglich nach der maximalen Wartezeit, die der Sperrzeit des Stromes entspricht. Jedoch wird dabei davon ausgegangen, dass kein Rückstau zum Ende der Freigabezeit auftritt. Auch ist das HBS-Verfahren zur Ermittlung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (QSV) unter bestimmten Randbedingungen nicht anwendbar, wie beispielsweise im Fall der Querung mehrerer Furten beim indirekten Linksabbiegen [9, S4-48 f.]. Das Verfahren ist zudem nur unzureichend zur alleinigen Bewertung der Untersuchungsschwerpunkte geeignet. Dies begründet sich damit, dass einerseits das Erreichen der gegenüberliegenden Ecke die maßgebende Situation zur Bewertung darstellen würde und andererseits die Auswirkungen gestalterischer Änderungen nicht beurteilt werden können, da diese nicht automatisch mit einer Änderung der Sperrzeit einhergehen. Um die Radverkehrsqualität realitätsnah abbilden zu können, sind daher die mittlere reine Wartezeit und die mittlere Verlustzeit gegenüber der freien und unbehinderten Fahrt sowie die Anzahl der Halte in den zu untersuchenden Radverkehrsströmen in den Simulationen mitberücksichtigt.

Die Auswertung des Mittels dieser Bewertungsparameter basiert auf 20 Simulationsdurchläufen in der jeweiligen Spitzenstunde. Die Belastung der Zuflüsse innerhalb der Spitzenstunde wird dabei anhand der Zählungen aller relevanten Verkehrsmodi am Knotenpunkt definiert. Die 20 Simulationsdurchläufe unterscheiden sich nur in der Startzufallszahl. Sie steuert die Verteilung der immer gleichen Belastung der Zuflüsse über die simulierte Stunde.

In den folgenden Kapiteln finden sich die Auswertungen zu den genannten Bewertungsparametern anhand der evaluierten maßgebenden Radverkehrsströme.

3.2.2 Knotenpunkt F3 - Frankfurt am Main

Am Knotenpunkt F3 (Bockenheimer Landstraße / Ulmenstraße / Liebigstraße) zeigt sich, dass die Radverkehrsqualität besser ist, als auf Basis der Eingangsdaten und Schilderungen aus der Stadt zu vermuten war (siehe Tabelle 4). Nach HBS 2015 weist der Knotenpunkt für den Radverkehr bereits die Qualitätsstufe C auf, die weiteren Bewertungsparameter zeichnen hingegen ein günstigeres Bild. Radfahrende sind folglich nur von vergleichsweise geringen Warte- und Verlustzeiten betroffen und nur ein Drittel muss überhaupt am Knotenpunkt anhalten.

Tabelle 4: Simulationsauswertung des Ist-Zustandes am Knotenpunkt F3 [TU Berlin]

Parameter	NW → SO (stadteinwärts)	SO → NW (stadtauswärts)
mittlere Wartezeit je RF [s]	7,3	5,6
mittlere Verlustzeit je RF [s]	10,2	7,6
mittlere Haltezahl je RF [-]	0,3	0,2
QSV laut HBS 2015	C (Sperrzeit 46 s)	C (Sperrzeit 54 s)

An diesem Knotenpunkt führt die Auswertung der Simulationen zur Erkenntnis, dass hier die Radverkehrsqualität negativ beeinflussenden Faktoren nur schwer in der Simulation abbildbar sind. Beispielsweise kommen problematische Überholmöglichkeiten auf den Abschnitten zwischen den Knotenpunkten in der Simulation nur in sehr geringem Maße zum Tragen. Verbesserungsmaßnahmen, die für diese Problematik nötig wären, könnten ferner auch nicht isoliert an einem einzigen Knotenpunkt der Bockenheimer Landstraße umgesetzt werden. Daher wird der Knotenpunkt F3 im Rahmen des Projekts nicht weiter betrachtet. Anstelle dessen tritt der Knotenpunkt F4 in den Fokus der Untersuchungen in Frankfurt am Main.

3.2.3 Knotenpunkt F4 - Frankfurt am Main

Die Simulationsauswertung am Knotenpunkt F4 (Untermainkai / Neue Mainzer Straße / Hofstraße / Untermainbrücke) bestätigt bereits im Vorlauf vermutete lange Warte- und Verlustzeiten der Radfahrenden, welche aus der kurzen Freigabezeit des Radverkehrs auf der Verkehrsinsel resultieren (siehe Kapitel 2.5.2). Deren mittlere Wartezeit beträgt über 34 Sekunden, die Verlustzeit im Mittel sogar über 46 Sekunden (siehe Tabelle 5). Aufgrund der langen Sperrzeit im Signalzeitenplan kann der Radverkehrsstrom von der Verkehrsinsel der Hofstraße auf die Untermainbrücke nach HBS 2015 nur mit der Qualitätsstufe E bewertet werden.

Tabelle 5: Simulationsauswertung des Ist-Zustandes am Knotenpunkt F4 [TU Berlin]

Parameter	Neue Mainzer Straße → Untermainbrücke (stadtauswärts)
mittlere Wartezeit je RF [s]	34,3
mittlere Verlustzeit je RF [s]	46,3
mittlere Haltezahl je RF [-]	2,7
QSV laut HBS 2015	E (Sperrzeit 82 s)

Entgegen der Beobachtungen aus der videobasierten Auswertung des Ist-Zustandes, lassen sich Rückstaus in der Simulation nicht beobachten. Das ist darauf zurückzuführen, dass die Radverkehrseinspeisung in der Simulation zwar volumenmäßig den erhobenen Daten entspricht, der Zeitpunkt der Einspeisung jedoch nur bedingt gesteuert werden kann. In der Realität sehr selten auftretende, große Pulks mit mehr als zehn Radfahrenden, welche auffällige Rückstaus zur Folge haben, lassen sich in der Simulation nicht so gezielt verursachen, wie es zur realitätsnahen Abbildung wünschenswert wäre. Auch im Versuch, die Pulkung mittels vorgelagerter LSA als Pfortneranlage hervorzurufen, ist der in der Videoauswertung beobachtete Effekt in der Simulation nicht im erforderlichen Maße abbildbar. Der Effekt lässt sich erst bei deutlich gesteigerten Radverkehrseinspeisungen erzielen. Die resultierende Simulation weicht dann jedoch durch das höhere Radverkehrsaufkommen deutlich vom Ist-Zustand ab und liefert folglich keine nutzbaren Messwerte. Hier ist festzuhalten, dass die Simulation an ihre Grenzen stößt.

3.2.4 Knotenpunkt H1 - Hannover

Die Simulationsauswertung des Knotenpunktes H1 (Königsworther Platz) zeigt deutliche Beeinträchtigungen der Radverkehrsqualität. Auch wenn der Radverkehrsstrom vom Königsworther Platz in die Nienburger Straße nach HBS 2015 noch die Qualitätsstufe des C erreicht, zeigen sich hier durchaus auffällige Warte- und Verlustzeiten. Radfahrende in diesem Strom verlieren, an der LSA stehend, über eine halbe Minute Zeit.

Der indirekt linksabbiegende Strom in den Bremer Damm ist infolge noch auffälliger. Hier ist eine Qualitätseinstufung nach HBS 2015 nicht zulässig, da mehrere Zufahrten gequert werden. Die weiteren Bewertungsparameter verdeutlichen, dass sehr lange Warte- und Verlustzeiten auftreten. Radfahrende müssen bei der Knotenpunktpassage zwei bis drei Mal anhalten. Insbesondere auf der Mittelinsel der Nienburger Straße bilden sich mitunter auffällige Staus, da viele Radfahrende hier stranden. Rechnerisch ist der Rückstau auf dieser Mittelinsel in diesen Fällen deutlich länger als der verfügbare Platz. In der Praxis weicht der Radverkehr auf die Fußgängerfurt der Mittelinsel aus. Im Hinblick auf die Radverkehrsqualität sind diese Mittelinseln daher als höchst ungünstig zu bewerten.

Tabelle 6: Simulationsauswertung des Ist-Zustandes am Knotenpunkt H1 [TU Berlin]

Parameter	Königsworther Platz → Nienburger Straße	Königsworther Platz → Bremer Damm
mittlere Wartezeit je RF [s]	24,5	48,3
mittlere Verlustzeit je RF [s]	28,8	60,3
mittlere Haltezahl je RF [-]	0,7	2,5
QSV laut HBS 2015	C (Sperrzeit 53 s)	nicht bewertbar

3.2.5 Knotenpunkt L4 - Leipzig

Am Knotenpunkt L4 (Karl-Liebknecht-Straße / Richard-Lehmann-Straße) zeigt sich, dass der stadteinwärts gerichtete Strom wegen der langen Sperrzeit nach HBS 2015 die Qualitätsstufe D erreicht (siehe Tabelle 7). Die übrigen Parameter weisen im Mittel lange Warte- und Verlustzeiten auf, welche sich negativ auf die Qualität der Radverkehrsanlage auswirken. Die positiv zu bewertende geringe mittlere Haltezahl resultiert aus dem hier markierten Radfahrstreifen in Mittellage. Er ermöglicht ein zügiges Heranfahen an die Haltlinie ohne negativ wirkende Zwischenhalte.

Der maßgebende stadtauswärts gerichtete Strom verdeutlicht ein weniger wünschenswertes Bild. Dieser Strom erreicht nach HBS 2015 die gleiche Qualitätsstufe D, jedoch ist die Sperrzeit wesentlich geringer. Auswertungen der vor Ort aufgenommenen Videos und der Simulationen verdeutlichen, dass die Radverkehrsqualität in diesem Strom deutlich schlechter ist. Hier werden die Grenzen des HBS-Verfahrens besonders ersichtlich. Die Haltezahl des Radverkehrs ist in dieser Zufahrt mehr als doppelt so hoch, jede Rad fahrende Person muss bei der Knotenpunktpassage im Mittel 1,5 Mal anhalten. Auch treten höhere Warte- und Verlustzeiten auf. Diese Parameter finden jedoch keinen Eingang in die HBS-Bewertung.

Tabelle 7: Simulationsauswertung des Ist-Zustandes am Knotenpunkt L4 [TU Berlin]

Parameter	N → S (stadtauswärts)	S → N (stadteinwärts)
mittlere Wartezeit je Rf [s]	25,8	22,4
mittlere Verlustzeit je Rf [s]	40,4	33,2
mittlere Haltezahl je Rf [-]	1,5	0,7
QSV laut HBS 2015	D (Sperrzeit 56 s)	D (Sperrzeit 70 s)

3.2.6 Knotenpunkt L5 - Leipzig

Auch die Auswertung der Simulation des Ist-Zustandes am Knotenpunkt F5 (Martin-Luther-Ring / Lotterstraße) verdeutlicht mit mehr als 32 Sekunden bzw. 38 Sekunden lange Warte- und Verlustzeiten im Radverkehr (siehe Tabelle 8). Dies ist der kurzen Freigabezeit des Radverkehrs in der Lotterstraße zuzuordnen. Dieser Effekt zeigt lässt sich in der Bewertung der Qualitätsstufe nach HBS 2015 ermitteln, die aufgrund der langen Sperrzeit lediglich E beträgt.

Die mittlere Haltezahl in diesem Radverkehrsstrom ist mit 1,7 sehr hoch, jede Rad fahrende Person muss folglich bei der Knotenpunktspassage knapp 2 Mal anhalten. Auffällig ist dies in der Simulation vor allem im Bereich des Radfahrstreifens in Mittellage und wird durch die zahlreichen Interaktionen zwischen Rad- und Kfz-Verkehr hervorgerufen. Auf eine Bewertung des Rückstaus in der Lotterstraße wird bewusst verzichtet, da aufgrund der sehr kurzen Länge der Kfz- und Radfahrstreifen kein geordnetes Aufstellen in der Simulation möglich ist.

Tabelle 8: Simulationsauswertung des Ist-Zustandes am Knotenpunkt L5 [TU Berlin]

Parameter	Lotterstraße → ehemalige Weststraße (Park)
mittlere Wartezeit je Rf [s]	32,5
mittlere Verlustzeit je Rf [s]	38,1
mittlere Haltezahl je Rf [-]	1,7
QSV laut HBS 2015	E (Sperrzeit 76 s)

3.2.7 Knotenpunkt O3 - Oldenburg

Die Simulation des Knotenpunktes O3 (Alexanderstraße / Nadorster Straße / Heiligengeiststraße) verdeutlicht ein Bild des regen Treibens durch das etwa doppelt so hohes Radverkehrsaufkommen, im Vergleich mit den anderen Knotenpunkten. Die Bewertungsparameter können Tabelle 9 entnommen werden.

Der Strom von der Alexanderstraße in die Lindenstraße ist, wie auch am Knotenpunkt H1, nicht nach HBS 2015 bewertbar, da zwei Furten gequert werden müssen (siehe Kapitel 3.2.4). Die übrigen Parameter zeigen, dass selbst in diesem zahlenmäßig vergleichsweise wenig belasteten Strom hohe Warte- und Verlustzeiten auftreten können. Dies ist vor allem den geringen Freigabezeiten der Furten an der Knotenpunktspitze zwischen Alexanderstraße und Nadorster Straße geschuldet. Zudem zeigt sich, dass jede Rad fahrende Person dieses Stroms im Schnitt einmal zum Halten kommt.

Der zahlenmäßig hoch belastete Strom von der Nadorster Straße in die Heiligengeiststraße weist ebenfalls hohe Warte- und Verlustzeiten sowie eine markante Haltezahl auf. Obwohl hier nur eine einzige Furt gequert werden muss, kommt jede Rad fahrende Person etwa zwei Mal zum Stehen. Dies ist ein Resultat des insgesamt hohen Radverkehrsaufkommens, selbst bei freigegebener Furt tritt stockender Verkehr auf.

Tabelle 9: Simulationsauswertung des Ist-Zustandes am Knotenpunkt O3 [TU Berlin]

Parameter	Alexanderstraße → Lindenstraße	Nadorster Straße → Heiligengeiststraße
mittlere Wartezeit je RF [s]	26,3	20,2
mittlere Verlustzeit je RF [s]	34,5	32,8
mittlere Haltezahl je RF [-]	1,0	2,1
QSV laut HBS 2015	nicht bewertbar	D (Sperrzeit 56 s)

4 Empfehlung von Maßnahmen und Untersuchungsergebnisse

4.1 Empfehlung von Maßnahmen

4.1.1 Methodik

Nachfolgend werden solche Maßnahmen oder Verbesserungsvorschläge beschrieben, die entsprechend der Projektziele und nach Diskussion mit den Projektpartnern sowie dem wissenschaftlichen Beirat geeignet erscheinen, um die Radverkehrsqualität am jeweiligen Knotenpunkt positiv zu beeinflussen. Die Maßnahmenempfehlungen orientieren sich dabei insbesondere an den in Kapitel 3 ermittelten maßgebenden Defiziten der Knotenpunkte. Gestalterische Maßnahmen sind mithilfe von Ideenskizzen festgehalten, deren Darstellung keine speziell festgelegte Führungsform der Radverkehrsanlage veranschaulicht und als Diskussionsgrundlage dienen soll.

4.1.2 Knotenpunkt F3 - Frankfurt am Main

Im Laufe der Untersuchung und Simulation des Ist-Zustandes wurde festgestellt, dass die bestehenden Qualitätsdefizite im Radverkehr am Untersuchungsschwerpunkt F3 (Bockenheimer Landstraße / Ulmenstraße / Liebigstraße) nicht durch isoliert am Knotenpunkt umzusetzende Maßnahmen behoben werden können. Um die Radverkehrsqualität zu verbessern, ist eine Umgestaltung und Anpassung der Signalisierung des gesamten Straßenzuges erforderlich. Neben Gestaltungsempfehlungen zu größer dimensionierten Radverkehrsanlagen sei als Stichwort in diesem Kontext eine Grüne Welle für den Radverkehr zu nennen. Derartige Lösungen können abseits des Forschungsprojektes Anwendung finden, sind innerhalb des Projektrahmens jedoch nicht umsetzbar, so dass der Untersuchungsschwerpunkt F3 nicht weiter betrachtet wird.

4.1.3 Knotenpunkt F4 - Frankfurt am Main

Am Untersuchungsschwerpunkt F4 (Untermainkai / Neue Mainzer Straße / Hofstraße / Untermainbrücke) ist eine Kombination mehrerer Maßnahmen angestrebt. Da die Grünzeit der Radverkehrsfurt mit einer Mindestfreigabezeit von 5 Sekunden nicht dauerhaft im Rahmen der Festzeit-Signalsteuerung verlängert werden kann, ohne den Kfz-Verkehr einzuschränken, ist angeraten, die vorhandene Situation zunächst optimal auszunutzen. Dies bedeutet, dass das Aufstellverhalten der Radfahrenden dahingehend beeinflusst werden soll, dass sie möglichst nah an der Haltlinie und möglichst eng nebeneinander auf die Freigabe warten. Es wird empfohlen, den Effekt über entsprechend positionierte Haltegriffe und Fußtritte unmittelbar neben der Haltlinie anzuregen, auch ist eine Verbreiterung der Aufstellfläche angeraten. Es wird erwartet, dass durch den so reduzierten Zeitbedarfswert die Kapazität der vorhandenen Freigabezeit gesteigert werden kann und einer höheren Zahl an Radfahrenden das Passieren der Furt bei Grün ermöglicht wird.

Zudem wird empfohlen die Freigabezeit nur im Bedarfsfall zu verlängern, etwa bei Rückstau im Radverkehr oder dem Eintreffen eines Pulkes. Dazu ist die Implementierung einer verkehrsabhängigen Steuerung mit Fokus auf den Radverkehr erforderlich. Dies ist an diesem Knotenpunkt leicht umsetzbar, da erforderliche Detektoren bereits vorhanden sind. Sollte die Mindestfreigabezeit trotz der Anreize durch die genannten baulichen Maßnahmen nicht ausreichen, wird so im Bedarfsfall auf vorhandene Defizite reagiert. Die von der Stadt Frankfurt am Main umgesetzten baulichen Maßnahmen - Markierungen auf der Wartefläche sowie ein linksseitig von selbiger errichteter Fußtritt bzw. Haltegriff - sind im aktualisierten Lageplan der Stadt teilweise dargestellt (siehe Abbildung 31).

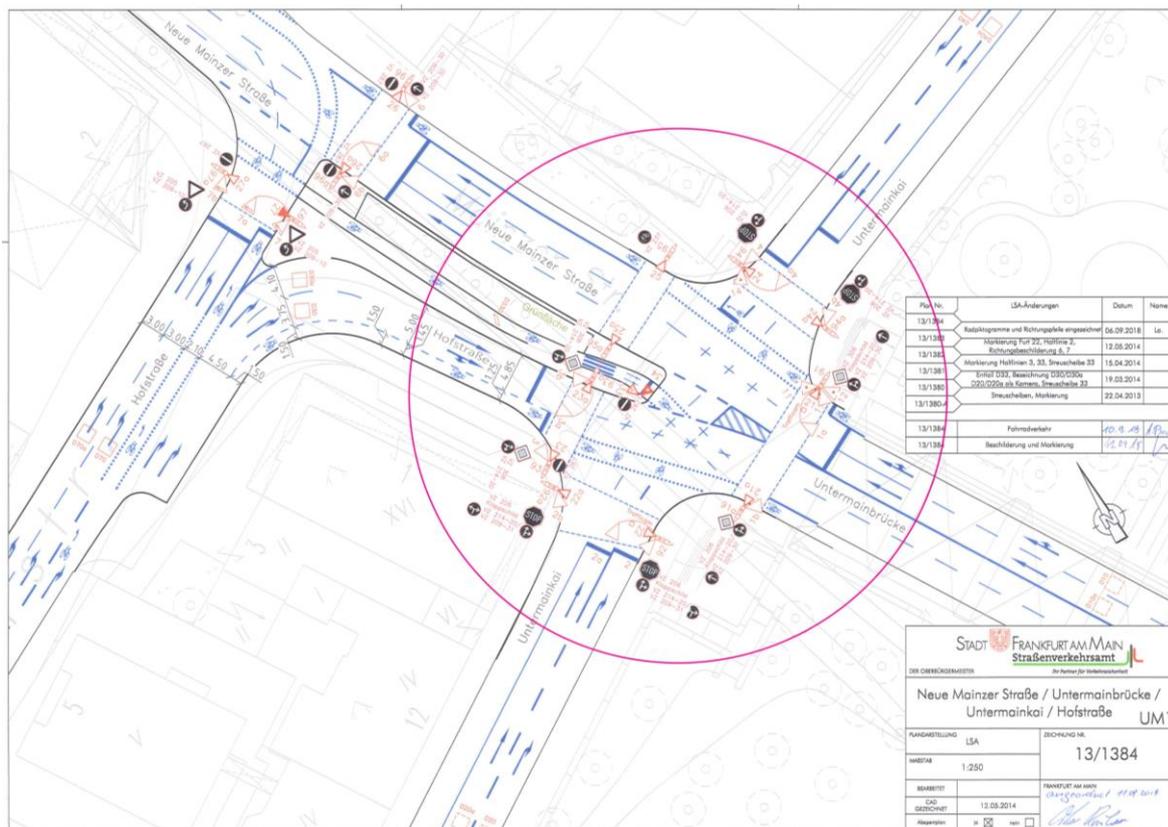


Abbildung 31: Lageplan F4 mit umgesetzten Maßnahmen [Stadt Frankfurt am Main, TU Berlin]

4.1.4 Knotenpunkt H1 - Hannover

Um den beobachteten und in der Simulation bestätigten Problemen zu begegnen, wird empfohlen, die Mittelinseln in der Schloßwender Straße und der Nienburger Straße am nordwestlichen Teilknoten vom Königsworther Platz (H1) derart zu modifizieren, dass der Radverkehr fortan auf einer durchgehenden Furt geführt wird (siehe Abbildung 32). Für den Fußgängerverkehr bleiben die Mittelinseln erhalten. Auf diese Weise soll das problematische Stranden von Radfahrenden auf den Mittelinseln vermieden werden. Für den Radverkehr ist fortan eine separate Signalisierung mit entsprechendem Signalgeber empfohlen. Umfangreichere Anpassungen am Signalzeitenplan sind dabei nicht erforderlich, da die Freigaben der durchgehenden Radverkehrsfurten synchron mit den Fußgängerfurten erfolgen können.

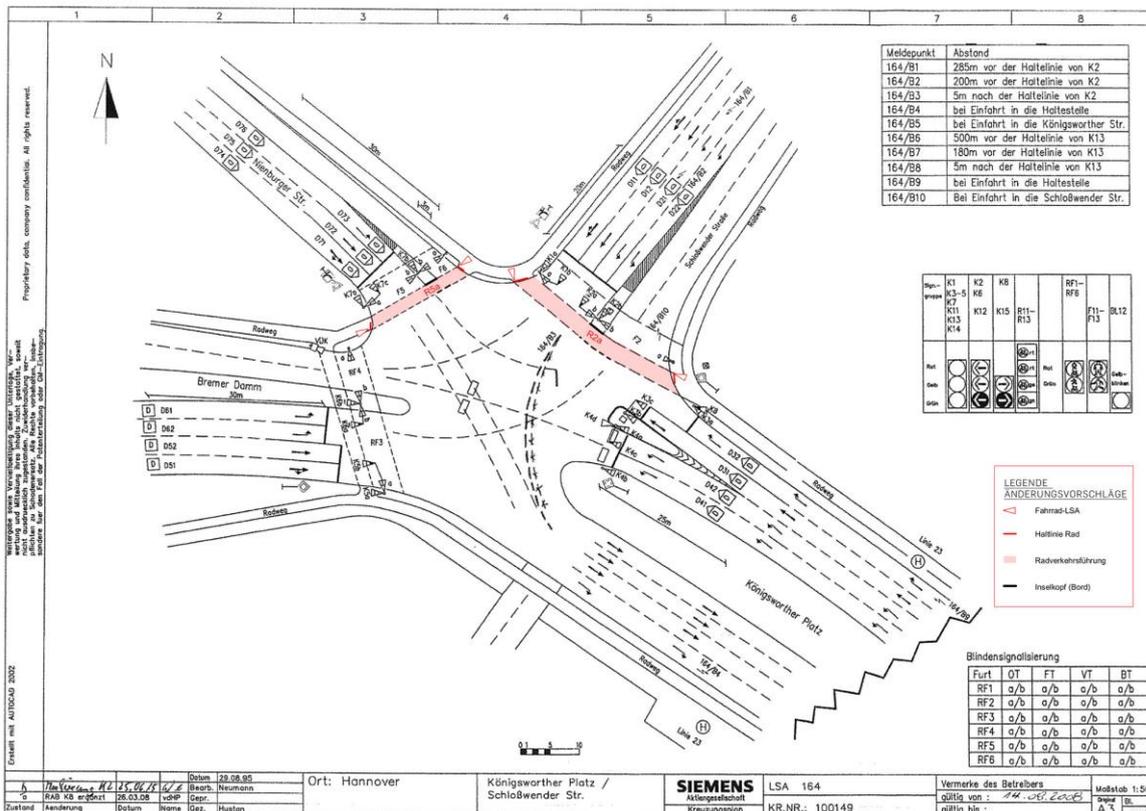


Abbildung 32: Maßnahmenskizze am nördlichen Teilknoten H1 [Stadt Hannover, TU Berlin]

Da im Radverkehr höhere Räumgeschwindigkeiten ansetzbar sind, bleibt der Fußgängerverkehr und dessen Räumzeit bis zum Erreichen der Mittelinseln maßgebend. Bei gleichem Freigabezeitende ist es dem Radverkehr möglich, die jeweils andere Straßenseite zu erreichen. Spätere Freigaben ein-fahrender Kfz-Ströme sind dabei nicht notwendig.

Darüber hinaus wird empfohlen, die Furt über die Brühlstraße am südöstlichen Teilknoten zu ver-breitern, um das Ausweichen des Radverkehrs auf die Fußgängerfurt im Begegnungsfall zu vermei-den. Eine Verbreiterung von derzeit 2,60 Meter auf 4,00 Meter ist hierbei ohne weiteres möglich, da die bestehende Furt bereits weit genug von der Einmündung der Königsworther Straße abgesetzt ist (siehe Abbildung 33). Aus baulicher Sicht sind nur geringe Anpassung an der Mittelinsel in Form einer Versetzung des Bordes notwendig. Da Räumwege und Räumzeiten durch die Verbreiterung der Radverkehrsfurt nicht beeinflusst werden, sind auch an diesem Teilknoten im Zusammenhang mit der Maßnahme keine Anpassungen im Signalzeitenplan erforderlich.

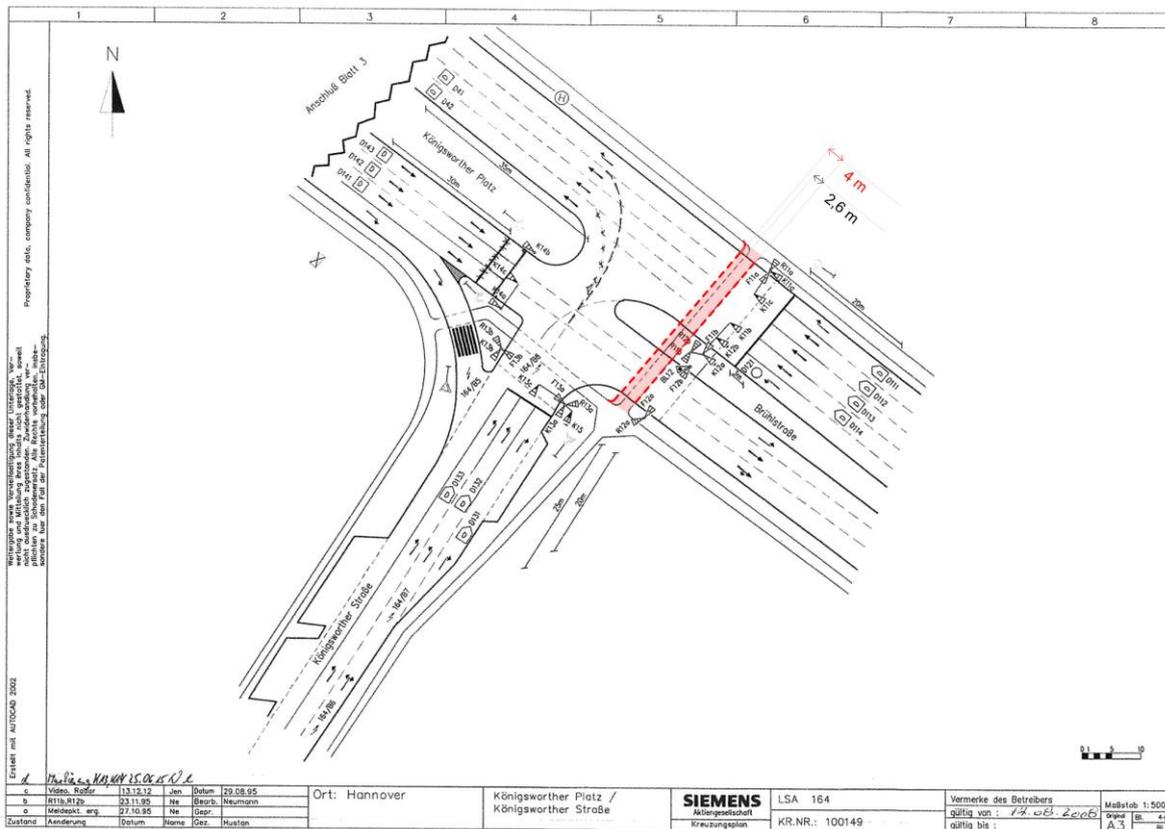


Abbildung 33: Maßnahmenskizze am südlichen Teilnoten H1 [Stadt Hannover, TU Berlin]

4.1.5 Knotenpunkt L4 - Leipzig

Wegen der beschränkten Platzverhältnisse in der nördlichen Knotenpunktzufahrt vom Knotenpunkt L4 (Karl-Liebnecht-Straße / Richard-Lehmann-Straße) ist eine durchgängige, räumliche Trennung der Rad- und Kfz-Verkehre über entsprechend separiert markierte Streifen nicht möglich. Die existenten Kfz-Fahrstreifen sind aus verkehrspolitischen Gründen obligatorisch, so muss beispielsweise der Linksabbiegestreifen trotz geringer Nachfrage bestehen bleiben, da das Einbiegen auf die Bundesstraße 2 (Richard-Lehmann-Straße) weiterhin erforderlich ist. Auch auf andere Weise kann die Fahrbahn nicht erweitert werden, da beispielsweise der Kostenrahmen einer Verlegung oder Umgestaltung der Straßenbahnhaltestelle östlich der Fahrbahn widerspricht und Bestandsbäume die Fahrbahn im Westen begrenzen.

Da eine räumliche Separation nicht realistisch umsetzbar ist, wird in dieser Zufahrt eine zeitliche Trennung von Rad- und Kfz-Verkehr empfohlen. Ziel ist es, zunächst den vorhandenen nördlich ankommenden Radfahrstreifen soweit wie möglich Richtung Knotenpunkt heranzuführen. Um Platz dafür zu generieren soll der bestehende Linksabbiegestreifen des Kfz-Verkehrs auf die zulässige Mindestlänge gekürzt werden. Am neu gestalteten Punkt der Fahrbahnverbreiterung von einem Kfz-Fahrstreifen auf die zusätzliche Fahrstreifenaddition, etwa 30 Meter vor der Haltlinie, wird der Radfahrstreifen in den Mischverkehr überführt. Hier ist eine Pfortnerung des Kfz-Verkehrs vorgesehen.

Entlang der existenten Haltlinie der unmittelbaren Knotenpunktzufahrt ist ein zweistreifiger, aufgeweiteter Radaufstellstreifen (ARAS) empfohlen. Folglich werden Kfz über einen zusätzlichen Signalgeber in jedem LSA-Umlauf zeitweise angehalten, um dem Radverkehr die ungehinderte Zufahrt zum ARAS oder dem Knotenpunkt zu ermöglichen (siehe Abbildung 34).

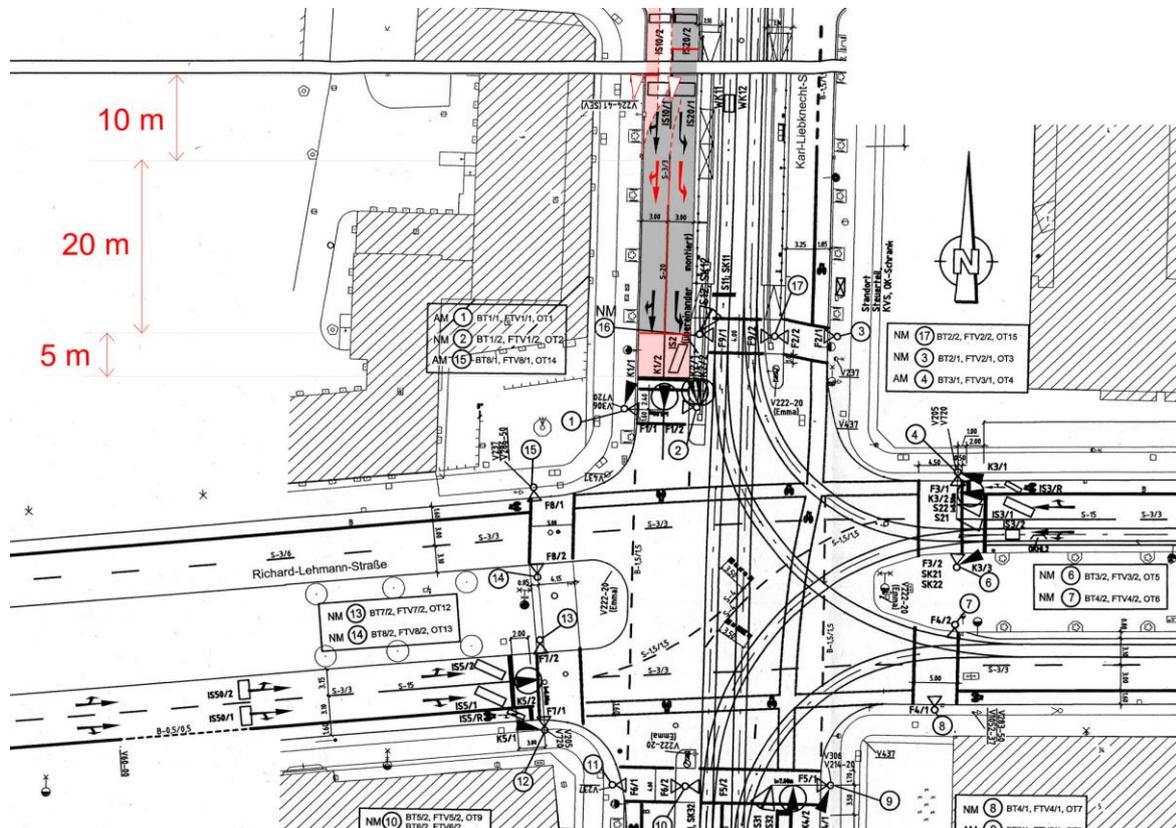


Abbildung 34: Maßnahmenskizze am Knotenpunkt L4 [Stadt Leipzig, TU Berlin]

Für den ARAS ist vorgesehen, ihn über die Breite beider Fahrstreifen zu markieren, um sowohl für den direkt linksabbiegenden als auch den geradeaus und rechtsfahrenden Radverkehr ausreichende Aufstellflächen bereitstellen zu können. Da die Lösung eine Rückversetzung der Kfz-Haltlinie um 5 Meter vorsieht, verlängern sich der Räumweg für den Kfz-Verkehr entsprechend. Dies kann unter Umständen Anpassungen im Signalzeitenplan erfordern, falls sich die erforderlichen Zwischenzeiten ändern. Aus Sicht des wissenschaftlichen Partners und auf Basis der verfügbaren Unterlagen zum Knotenpunkt kann die Notwendigkeit einer Anpassung des Signalzeitenplans nicht ausgeschlossen werden, auf Basis der Simulation erscheint sie jedoch als nicht notwendig. In der Umsetzungsphase wird es Aufgabe des zuständigen Planungsbüros bzw. der Partnerstadt Leipzig, Anpassungserfordernisse zu prüfen und den Signalzeitenplan gegebenenfalls zu modifizieren.

4.1.6 Knotenpunkt L5 - Leipzig

Am Knotenpunkt F5 (Martin-Luther-Ring / Lotterstraße) wird empfohlen, direktes Linksabbiegen über das Knotenpunkttinnere in den Parkweg, Neue Weststraße, kollateral zu umgehen. Für den maßge-

benden Strom aus der Lotterstraße in den Park ist eine kürzlich angelegte Zufahrt über die Rudolphstraße vorgesehen (siehe Abbildung 35). Für eine Führung über die Rudolphstraße spricht insbesondere deren äußerst geringe Kfz-Belastung, wodurch das Kreuzen und Abbiegen in den Park als unproblematisch zu betrachten ist.

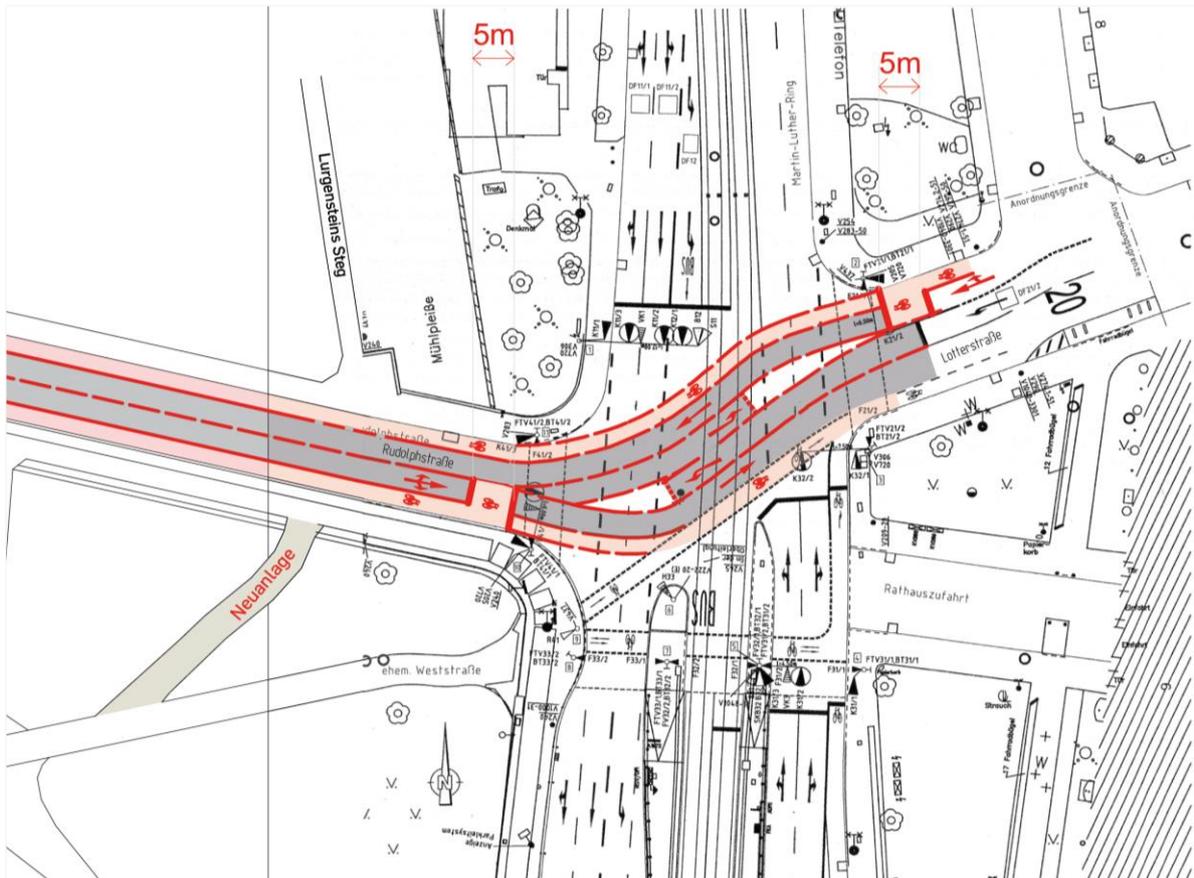


Abbildung 35: Maßnahmenskizze am Knotenpunkt L5 [Stadt Leipzig, TU Berlin]

Die neue Führung zielt darauf ab die drei markanten Mängel im Knotenpunkt anzugehen; unübersichtliches und regelwidriges Aufstellverhalten von Radfahrenden in der Lotterstraße, das Warten größerer Radverkehrsmengen im Knotenpunktinneren sowie das Durchsetzen des Radverkehrsstroms durch Fußgängerverkehr bei der Einfahrt in den Park.

In der Knotenpunktzufahrt der Lotterstraße wird dafür die Verlagerung des Radverkehrs an den rechten Fahrbahnrand vorgeschlagen. Die neu gestaltete Führung, an der Haltlinie um einen ARAS ergänzt, soll ausreichend Warteflächen schaffen und dem Radverkehr erlauben, sich vermehrt sowie gut sichtbar vor den wartenden Kfz aufzustellen. Bisherige weitere potentielle Konfliktorte im Knotenpunktinneren sowie am Parkeingang können dadurch vermieden und räumlich entzerrt werden. Zudem wird empfohlen, den Radverkehr der Gegenrichtung gleichermaßen aus dem Park über die Rudolphstraße in die Lotterstraße zu leiten, da auch in der westlichen Zufahrt der ehemaligen Weststraße eine nennenswerte Radverkehrsnachfrage besteht (siehe Kapitel 3.1.6).

Durch diese Maßnahme besteht die Notwendigkeit die Fahrstreifen des Kfz-Verkehrs geringfügig zu verlegen. Wie auch am Knotenpunkt L4 bedingt die Rückverlegung der jeweiligen Kfz-Haltlinie unter Umständen eine Anpassung des Signalzeitenplans, da sich die Räumwege der Kfz-Ströme verlängern. Diese Anpassungen obliegt ebenso im Falle der Umsetzung dem zuständigen Planungsbüro bzw. der Partnerstadt Leipzig.

Im Projektverlauf stellte sich heraus, dass dieser Knotenpunkt von langfristigen anderweitigen Planungen der Stadt tangiert ist. Die Empfehlung stellt daher lediglich einen ersten Entwurf dar, dessen Bearbeitung im weiteren Projektverlauf nicht fortgeführt wurde.

4.1.7 Knotenpunkt O3 - Oldenburg

Verbesserungsvorschläge am Knotenpunkt O3 (Alexanderstraße / Nadorster Straße / Heiligengeiststraße) beziehen sich sowohl auf die Zweirichtungsradwege, insbesondere jedoch auf die Querungsmöglichkeiten des Knotenpunktes für die maßgebenden Radverkehrsströme an sich.

In den Videoerhebungen war zu beobachten, dass Radfahrende bei hoher Radverkehrsbelastung auf den Zweirichtungsradwegen der Heiligengeiststraße auf den Gehweg ausweichen. Verbesserungsmaßnahmen für diese für Problematik sollten jedoch nicht isoliert an einem Knotenpunkt betrachtet und umgesetzt werden, sie erfordern Maßnahmen entlang des gesamten Straßenzuges. Da Maßnahmen auf längeren Streckenabschnitten nicht im Projektrahmen vorgesehen waren verbleibt diese Erkenntnis zunächst eine Anregung zur weiteren Vertiefung.

Hinsichtlich der Querungsmöglichkeiten wird empfohlen, den Radverkehrsstrom von der Alexanderstraße in die Lindenstraße über eine eigene Furt zu führen (siehe Abbildung 36). Durch die Verlagerung der Kfz-Führung aus der Alexanderstraße vom äußeren in den inneren Fahrstreifen der Heiligengeiststraße sowie eine Versetzung des Bordes gen Fahrbahn, können Aufstellflächen vor der neuen Radverkehrsfurt geschaffen werden. Die empfohlene Radverkehrsfurt zielt einerseits darauf ab die Dreiecksspitze zwischen Alexanderstraße und Nadorster Straße quantitativ zu entlasten sowie die Kreuzung bzw. Durchsetzung starker Radverkehrsströme zu reduzieren. Andererseits werden die beobachteten, immer wieder auftretenden Querungen von Radfahrenden diagonal über den Knotenpunkt abgesichert. Diese Querungen sind im Ist-Zustand regelwidrig, nicht signalisiert und bedeuten ein hohes Sicherheitsrisiko für alle Verkehrsteilnehmenden.

Die Signalisierung der vorgeschlagenen Radverkehrsfurt ist dann ohne Einschränkungen für den Kfz-Verkehr möglich, wenn sie für Radfahrende synchron zu den Furten der Alexanderstraße und Nadorster Straße geschaltet ist. Eine gleichzeitige Freigabe der Furt für Fußgänger würde aufgrund der längeren Räumzeiten zu Einschränkungen des Kfz-Verkehrs führen. Die Notwendigkeit der Anpassungen des Signalzeitenplans ist fachplanerisch in der Umsetzungsphase zu prüfen.

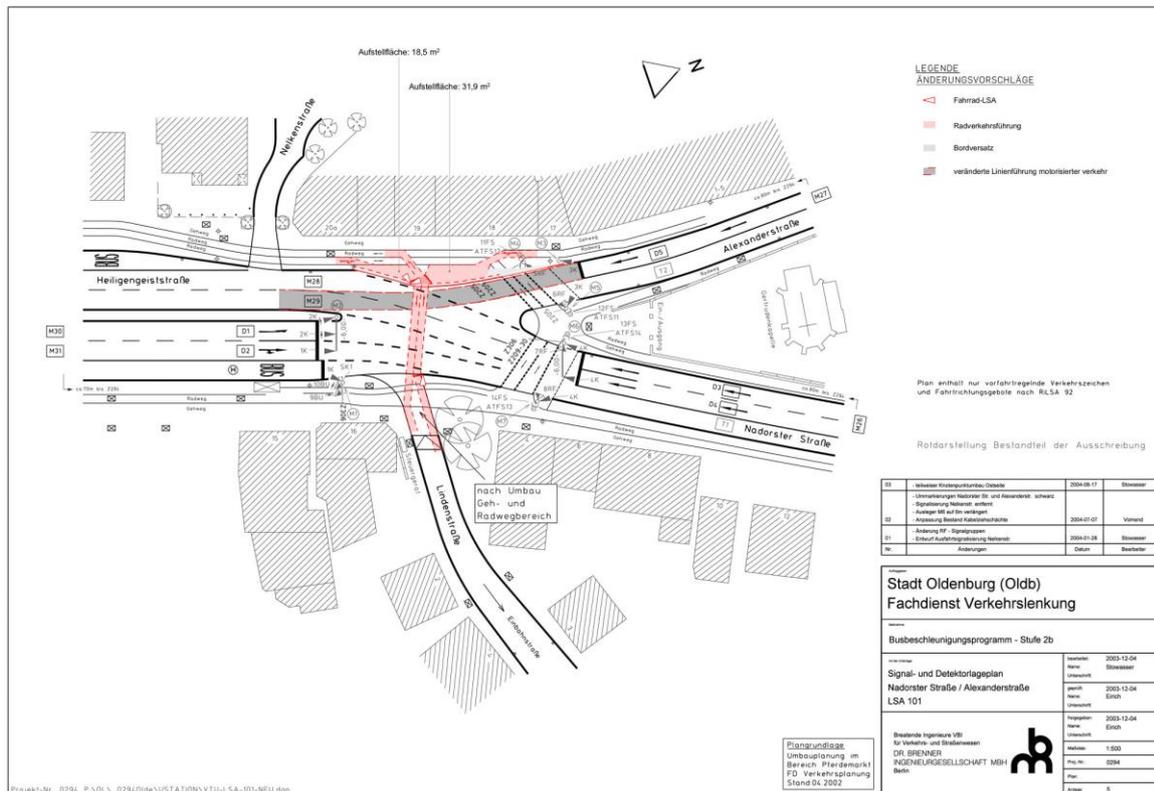


Abbildung 36: Maßnahmen-skizze am Knotenpunkt O3 [Stadt Oldenburg, TU Berlin]

4.2 Ergebnisse der Verkehrssimulation der Maßnahmen

4.2.1 Methodik

Die Verkehrssimulationen der vorgeschlagenen und diskutierten Maßnahmen erfolgten ceteris paribus wie die des Ist-Zustandes (siehe Kapitel 3.2). Ihnen liegen demnach dieselben Ausgangsdaten zugrunde. Analog zur Simulation der Ist-Zustände basieren die Ergebnisse der Maßnahmen-simulation auf 20 Simulationsdurchläufen mit denselben Zufallszahlen, deren Werte gemittelt werden. Nachfolgend werden die Ergebnisse der Simulationen vorgestellt und mit denen des Ist-Zustandes verglichen. Dabei werden nur diejenigen Knotenpunkte analysiert, deren Maßnahmen-umsetzung durch die Projektpartnerstädte im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes angedacht sind. Die Knotenpunkte F3 und L5 entfallen daher in der weiteren Betrachtung.

Ein methodischer Sonderfall besteht mit dem Knotenpunkt F4 in Frankfurt am Main. Hier wurde die Simulation der verkehrsabhängigen Steuerung in einer Kooperation des Forschungspartners (TU Berlin) mit der Projektpartnerstadt Frankfurt am Main bearbeitet. Die erzeugte Simulationsdatei des Ist-Zustandes wurde dafür vom Fachgebiet Straßenplanung und Straßenbetrieb der TU Berlin um die notwendigen Detektoren erweitert und zur späteren Auswertung entsprechend vorbereitet. Die Modellierung und Implementierung der verkehrsabhängigen Steuerung erfolgte darauf aufbauend in der Projektpartnerstadt selbst. Die auf dieser Grundlage erzeugten Daten konnten schließlich nach Rückübermittlung an den Forschungspartner ausgewertet werden.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Simulationen vorgestellt und mit denen des Ist-Zustandes verglichen. Dabei werden nur diejenigen Knotenpunkte analysiert, deren Maßnahmenumsetzung durch die Projektpartnerstädte im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes angedacht sind. Die Knotenpunkte F3 und L5 entfallen daher in der weiteren Betrachtung.

Ein Sonderfall besteht mit dem Knotenpunkt F4 in Frankfurt am Main. Hier wurde die Simulation der verkehrsabhängigen Steuerung in einer Kooperation des Forschungspartners (TU Berlin) mit der Projektpartnerstadt Frankfurt am Main bearbeitet. Die Simulationsdatei des Ist-Zustandes wurde dafür von der TU Berlin um die notwendigen Detektoren erweitert und zur späteren Auswertung entsprechend vorbereitet. Die Modellierung und Implementierung der verkehrsabhängigen Steuerung erfolgte darauf aufbauend in der Projektpartnerstadt selbst. Die auf dieser Grundlage erzeugten Daten konnten schließlich nach Rückübermittlung an den Forschungspartner ausgewertet werden.

4.2.2 Knotenpunkt F4 - Frankfurt am Main

Der Fokus der Maßnahmensimulation am Untersuchungsschwerpunkt F4 (Untermainkai / Neue Mainzer Straße / Hofstraße / Untermainbrücke) liegt auf der verkehrsabhängigen Steuerung der Lichtsignalanlage des maßgebenden Radverkehrsstromes. Die Wirkung der baulichen Maßnahmen mit Haltegriffe und Fußtritte an der Haltlinie lassen sich in der Simulation gegenüber des Ist-Zustandes nicht abbilden, da zum einen die Breite der Radverkehrsanlage auf Wunsch der Stadt unverändert bleiben sollte (siehe Kapitel 4.1.3) und zum anderen keine Verhaltensparameter bezüglich haptischer Anreize im Rahmen der Simulation hinterlegt sind. Das Verhalten der Radfahrenden würde demnach auf subjektiven Annahmen beruhen und wäre nicht objektiv prognostizierbar. Unterdessen gilt es, dieses Agieren der Radfahrenden auf die Trittbügel vor Ort zu untersuchen.

Die Auswertung der verkehrsabhängigen Steuerung in der mikroskopischen Simulation zeigt ungeachtet dessen eine Verbesserung der Bewertungsparameter Wartezeit, Verlustzeit und Haltezahl im Mittel (siehe Tabelle 10). Das HBS-Verfahren zur Ermittlung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (QSV) ist zur Beurteilung nicht mehr anwendbar, da keine Festzeitsteuerung mehr besteht. Die Wartezeit, also die Zeitdauer, in der Radfahrende (RF) an diesem Knotenpunkt nicht in Bewegung sind, wird im Mittel um rund 15 Sekunden vermindert. Die mittlere Verlustzeit, die den Mittelwert aller Gesamtverlustzeiten gegenüber der idealen Fahrt ohne andere Fahrzeuge und Signalisierung beschreibt, verringert sich um mehr als die Hälfte. Die mittlere Zahl der Halte sinkt ebenfalls deutlich. Demnach ist am Knotenpunkt F4 eine maßgebliche Verbesserung der Radverkehrsqualität durch die Maßnahmenumsetzung der verkehrsabhängigen Steuerung anzunehmen.

Negative Effekte der Maßnahme auf andere Verkehrsteilnehmende, insbesondere Kfz, konnten bei der Simulation nicht nachgewiesen werden. Dabei ist jedoch anzumerken, dass durch den Forschungspartner nur die Protokolldateien der Maßnahmensimulation ausgewertet werden konnten, ein optischer Eindruck war nicht möglich, da die Simulation selbst in der Partnerstadt erfolgte.

Tabelle 10: Simulationsauswertung der verkehrsabhängigen Steuerung am Knotenpunkt F4 [TU Berlin]

Parameter	Verkehrinsel Hofstraße → Untermainbrücke	
	Vorher	Nacher
mittlere Wartezeit je RF [s]	34,3	19,1
mittlere Verlustzeit je RF [s]	46,3	22,7
mittlere Haltezahl je RF [-]	2,7	1,1
QSV laut HBS 2015	E (85 s)	keine Festzeitsteuerung

4.2.3 Knotenpunkt H1 - Hannover

Die Auswertungen der empfohlenen Maßnahme in der Simulation zeigen eine deutliche Reduktion der Warte- und Verlustzeiten sowie Haltezahlen für den Radverkehr am Knotenpunkt H1 (Königsworther Platz) (siehe Tabelle 11). Insbesondere wird dieser Effekt am Radverkehrsstrom vom Königsworther Platz auf den Bremer Damm deutlich. Besagter Strom quert beide bislang beeinträchtigte Furten - sowohl die Schloßwender Straße als auch die Nienburger Straße. Der positive Effekt ist auf die Vermeidung des Strandens der Radfahrenden auf den Mittelinseln zurückzuführen, sie können nun die jeweiligen Furten in einem LSA-Umlauf überqueren. Da die Signalisierung der neuen Radverkehrsfurten synchron zu jenen der Fußgängerfurten geschaltet werden kann, entspricht die Sperrzeit jener des Ist-Zustandes. An der Qualitätsstufe nach HBS 2015 ändert sich folglich nichts.

Tabelle 11: Simulationsauswertung der Maßnahme am Knotenpunkt H1 [TU Berlin]

Parameter	Königsworther Platz → Nienburger Straße		Königsworther Platz → Bremer Damm	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
mittlere Wartezeit je RF [s]	24,5	15,9	48,3	30,3
mittlere Verlustzeit je RF [s]	28,8	19,0	60,3	38,5
mittlere Haltezahl je RF [-]	0,7	0,5	2,5	1,7
QSV laut HBS 2015	C (53 s)	C (53 s)	nicht bewertbar	nicht bewertbar

Negative Auswirkungen der Maßnahme auf andere Verkehrsteilnehmer entstehen in der Simulation nicht, da sowohl die Freigabezeiten im Kfz- als auch im Fußgängerverkehr unverändert bleiben.

Aus einer Simulationsauswertung der empfohlenen Furtverbreiterung der Brühlstraße sind keine zielführenden Ergebnisse zu erwarten. Dies ist damit zu begründen, dass auf der Furt der Brühlstraße regelwidriges Verhalten der Radfahrenden durch Ausweichen auf die Fußgängerfurt im Begegnungsfall beobachtet wird. Die Simulation regelwidrigen Verhaltens ist jedoch nicht zielführend, deshalb wurde auf diese Prognose verzichtet. Die Beurteilung der Maßnahme wird demnach mit der Umsetzung erwartet.

4.2.4 Knotenpunkt L4 - Leipzig

Am Knotenpunkt L4 (Karl-Liebknecht-Straße / Richard-Lehmann-Straße) zeigt die Maßnahmensimulation zunächst eine leichte Verschlechterung der mittleren Warte- und Verlustzeiten im Radverkehr (siehe Tabelle 12). Dies ist in der Simulation auf die vorgelagerte Pfortner-LSA der Kfz zurückzuführen und soll folgend kurz erläutert werden.

Es ist angedacht den Kfz Verkehr mit einer Pfortner-LSA intermittierend anzuhalten, damit Radfahrende in dieser Zeit priorisiert in den Knotenpunkt einfahren oder ungehindert zum ARAS vorfahren können. Die entstehende Pulkung der Kfz bei Freigabe verursacht jedoch in der Simulation geringere Abstände der Kfz untereinander. Da sich Radfahrende hierbei regelkonform verhalten, reichen diese Zeitlücken des Kfz-Verkehrs für Radfahrende nicht aus, um sich einzufädeln. Sie warten schlichtweg. Jedoch ist davon auszugehen, dass diese Interaktion zwischen Radfahrenden und Kfz in der Realität besser funktioniert. Theoretisch besteht die Möglichkeit, dass Verhalten in der Simulation dahingehend zu korrigieren, dass geringere Zeitlücken akzeptiert werden. Dies widerspricht jedoch dem Ceteris-Paribus-Ansatz und könnte womöglich die Ergebnisse verfälschen, weshalb darauf verzichtet wurde.

In der ausgewerteten Simulation orientieren sich die Umlauf-, Sperr- und Freigabezeiten der Pfortner-LSA am Signalgeber K1 des Kfz-Verkehrs am Knotenpunkt (siehe Abbildung 10). Die Freigabe der Pfortner-LSA ist mit derselben Zeitspanne angesetzt wie am Signalgeber K1, nur ist sie zeitlich entsprechend so versetzt programmiert, dass am Pfortner wartende Kfz bei Freigabe auch beim Eintreffen am Signalgeber K1 eine Freigabe erhalten. Dabei wurde mit einer Progressionsgeschwindigkeit von 45 km/h simuliert. Ziel dessen ist es, den negativen Effekt der Pfortnerung auf den Kfz-Verkehr so gering wie möglich zu halten.

Tabelle 12: Simulationsauswertung der Maßnahme am Knotenpunkt L4 [TU Berlin]

Parameter	N → S (stadtauswärts)	
	Vorher	Nachher
mittlere Wartezeit je RF [s]	25,8	30,1
mittlere Verlustzeit je RF [s]	40,4	44,6
mittlere Haltezahl je RF [-]	1,5	1,3
QSV laut HBS 2015	D (56 s)	D (56 s)

Positivere Effekte der Bewertungsparameter für Radfahrende können beispielsweise mit halbierten Umlaufzeiten der Pfortner-LSA für Kfz erzielt werden, sodass Radfahrende häufiger priorisiert werden. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit mit den Sperr- und Freigabezeiten der Pfortner-LSA positiven Einfluss auf die Bewertungsparameter der Radfahrenden zu nehmen. Dabei kann es jedoch zu Einschränkungen des Kfz-verkehrs kommen, was im Rahmen der Signalzeitenanpassung durch Fachplaner/innen hinsichtlich der Kapazitäten des Kfz-Verkehrs und verkehrspolitischen Entwicklungszielen vor Ort geprüft werden sollte.

Es ist jedoch zu beachten, dass die Parameter Warte- und Verlustzeit nur einen Aspekt der Qualität darstellen. Durch die Pfortnerung des Kfz-Verkehrs ist es dem Radverkehr leichter und sicherer möglich, den vorgesehenen ARAS oder den Knotenpunkt zu erreichen. Das beobachtete kritische Verhalten von Radfahrenden im Ist-Zustand kann so durch die Maßnahmen minimiert werden. Dies ist an der reduzierten, mittleren Haltezahl erkennbar. Da direkt am Knotenpunkt keine Änderungen der Signalisierung vorgenommen sind, bleibt auch die Einstufung nach HBS 2015 gleich.

4.2.5 Knotenpunkt O3 - Oldenburg

Die Maßnahmensimulation am Knotenpunkt O3 (Alexanderstraße / Nadorster Straße / Heiligengeiststraße) zeigt mit der neuen Führung für den Radverkehrsstrom von der Alexanderstraße in die Lindenstraße zwar nur einen geringfügig positiven Einfluss, hingegen ist die Entlastung der Dreiecksspitze zwischen Alexanderstraße und Nadorster Straße beachtlich.

Die Radverkehrsqualität des Stroms aus der Alexanderstraße in die Lindenstraße wird mit den Maßnahmen in der mittleren Wartezeit verbessert. Mittlere Verlustzeit und Haltezahl bleiben hingegen nahezu unverändert (siehe Tabelle 13). Positivere Effekte ließen sich theoretisch für die neu sowie die synchron geschalteten, bestehenden Furten Alexanderstraße und Nadorster Straße, mit einer längeren Freigabe erzielen. Dies verursacht Einschränkungen der ohnehin schon stark belasteten Kfz-Ströme, was es zu vermeiden gilt (siehe Kapitel 4.1.7). Daher ist im Rahmen der Maßnahmensimulation für die Lichtsignalanlage der neuen Furt die Mindestfreigabezeit vorgesehen, welche synchron zu den bestehenden Furten der Alexanderstraße und Nadorster Straße geschaltet wird.

Tabelle 13: Simulationsauswertung der Maßnahme am Knotenpunkt O3 [TU Berlin]

Parameter	Alexanderstraße → Lindenstraße		Nadorster Straße → Heiligengeiststraße	
	Vorher	Nachher	Vorher	Nachher
mittlere Wartezeit je RF [s]	26,3	24,7	20,2	8,4
mittlere Verlustzeit je RF [s]	34,5	34,7	32,8	17,7
mittlere Haltezahl je RF [-]	1,0	1,1	2,1	0,8
QSV laut HBS 2015	nicht bewertbar	nicht bewertbar	D (56 s)	D (56 s)

Die aus der zusätzlichen Führung resultierende Entlastung der Dreiecksspitze zwischen Alexanderstraße und Nadorster Straße bewirkt deutliche Vorteile für den Radverkehrsstrom von der Nadorster Straße in die Heiligengeisstraße. Die Parameter Wartezeit, Verlustzeit und Haltezahl verbessern sich im Mittel beträchtlich (siehe Tabelle 13), da das Durchsetzen des entgegenkommenden Radverkehrsstroms vermieden wird. Besonders markant ist das Ergebnis der Haltezahl, die von 2,1 auf 0,8 sinkt. Der Radverkehr kann somit deutlich homogener fließen. Da sich die Sperrzeiten im Signalzeitenplan nicht ändern, bleibt die Bewertung nach HBS 2015, wo zulässig, bestehen. Verbesserungen im Fußverkehr sind durch die Entlastung der Dreiecksspitze ebenfalls plausibel, wurden jedoch im Rahmen des Projektes nicht untersucht und können somit nicht bestätigt werden.

4.3 Ergebnisse der umgesetzten Maßnahmen

4.3.1 Methodik

Die Nacherhebung der Verkehrssituation im Anschluss an die Maßnahmenumsetzung fand gleichermaßen wie die der Ausgangerhebung statt. So wurden die Aufnahmen zu Videoanalysen und Verkehrszählungen am Knotenpunkt durch den Forschungspartner an Normaltagen während der Radverkehrssaison in gleicher Weise wiederholt (siehe Kapitel 3.1.1). Die Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen oblag den Projektpartnerstädten selbst. Aufgrund nicht absehbarer Umstände (Kapazitäten in der Verwaltung, keine Planungs- und Baumittel im Haushalt) war es im Rahmen der Projektlaufzeit ausschließlich der Stadt Frankfurt am Main möglich, den Planungsprozess bis hin zur Ausführungsplanung und Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen vor Ort am Knotenpunkt F4 (Untermainkai / Neue Mainzer Straße / Hofstraße / Untermainbrücke) zu realisieren.

Am Frankfurter Knotenpunkt F4 wurden drei Nacherhebungen durchgeführt, um sowohl die Einzelmaßnahmen (verkehrsabhängige Steuerung und bauliche Maßnahmen) als auch deren Kombination evaluieren zu können. Mit der ersten Erhebung wurden folglich Ergebnisse generiert, die sich ausschließlich anhand der verkehrsabhängigen Steuerung im Radverkehr ohne weitere bauliche Maßnahmen ableiten lassen. Die zweite Nacherhebung liefert Ergebnisse aus der Festzeitsteuerung der Lichtsignalanlagen in Kombination mit den baulichen Maßnahmen. Im Rahmen der Erhebung 3 wiederum ist die verkehrsabhängige Steuerung mit den baulichen Maßnahmen kombiniert.

Nach Aufbereitung der Videodaten und erneuter Identifikation der Spitzenstunde erfolgte die Auswertung. Dabei wurde der Fokus auf den Vorher-Nachher-Vergleichen der Parameter Aufstellverhalten, Anteil der Gelb- und Rotfahrten sowie Post-Encroachment-Time (PET) zwischen dem räumenden Radverkehr und dem einfahrenden Kfz-Verkehr beibehalten. Weiterhin wurden im Anschluss an die Implementierung der verkehrsabhängigen Steuerung die resultierenden Freigabezeiten analysiert. Abschließend erfolgten am maßgebenden Strom Befragungen der Radfahrenden, um Erkenntnisse zur Wahrnehmung der Maßnahmen und deren Akzeptanz zu gewinnen. Der Fragebogen ist dem Anhang III beigelegt. Durch die Auswertungen der Nacherhebung vor Ort sowie Befragungen von Radfahrenden vor Ort soll eine Verifizierung der Maßnahmen gewährleistet werden.

4.3.2 Auswertung der Videoerhebungen am Knotenpunkt F4 in Frankfurt am Main

Im Rahmen der Nacherhebungen wurde die radverkehrliche Spitzenstunde im Zeitraum von 17:45 Uhr bis 18:45 Uhr erfasst. Die Auswertungen zeigen am Knotenpunkt F4 (Untermainkai / Neue Mainzer Straße / Hofstraße / Untermainbrücke), insbesondere durch die verkehrsabhängige Steuerung (VA), erhebliche Verbesserungen der Bewertungsparameter. Hingegen kann das erwünschte Aufstellverhalten der Radfahrenden an der Haltlinie durch die umgesetzten baulichen Maßnahmen nicht beobachtet werden. Dabei ist jedoch zu beachten, dass sich die baulichen Maßnahmen aus

verkehrspolitischen Gründen der Stadt zunächst auf die Aufstellung eines Bügels längs an der Haltlinie sowie die Markierung zweier Pfeile an der Haltlinie beschränken mussten (siehe Abbildung 37). Erwartete Veränderungen im Aufstellverhalten der Radfahrenden zugunsten der Positionierung unmittelbar an der Haltlinie waren nicht zu beobachten. Die Nutzung des Trittbügels konnte in der ausgewerteten Spitzenstunde lediglich bei 3 % der Radfahrenden nachgewiesen werden. Potentielle Gründe sind die Positionierung des Bügels an sich oder dessen Beschaffenheit (Form, Länge, Höhe etc.). Die Auswertung der baulichen Maßnahmen lassen daher keine eindeutigen Schlüsse zu.



Abbildung 37: Maßnahmenumsetzung am Knotenpunkt F4 [Stadt Frankfurt am Main]

Die verkehrsabhängige Signalsteuerung beeinflusst nicht nur die Parameter Haltezahl, Verlustzeit und reine Standzeit am Knotenpunkt zugunsten des Radverkehrs, wie bereits die Auswertung der Verkehrssimulation zeigte (siehe Kapitel 4.2.2.). Auch ist abzuleiten, dass diese Form der Lichtsignalsteuerung zur deutlichen Verbesserung der Radverkehrsqualität beitragen kann, ohne konkurrierende Kfz-Ströme nennenswert einzuschränken. Ein Indikator dafür ist die Verlängerung der Freigabezeit für den maßgebenden Radverkehrsstrom. Die Auswertung der Freigabezeiten innerhalb einer Signalisierungsstunde ist in Tabelle 14 nachzuvollziehen. Basierend auf der Festzeitsteuerung wird das Signalprogramm bei einer Umlaufzeit von 90 Sekunden in einer Stunde 40 Mal durchlaufen.

Tabelle 14: Anteile der Umlauffreigabezeit innerhalb einer Signalisierungsstunde³

Freigabezeit t_{fi} der Umläufe	absoluter Anteil t_{fi} in Signalisierungsstunde	relativer Anteil t_{fi} in Signalisierungsstunde
5 s	27	68 %
6 s	3	8 %
7 s	6	15 %
8 s	2	5 %
9 s	1	3 %
10 s	1	3 %

³ Aufgrund von Rundungen kann der Gesamtwert von 100 % abweichen.

In der ersten Spalte der Tabelle sind die eingetretenen verkehrsabhängigen Freigabezeiten des Radverkehrs innerhalb dieser 40 Umläufe gelistet. Dabei wurden Grünzeiten t_{gr} von 5 bis 10 Sekunden (s) innerhalb der Umläufe gemessen. Weiterhin ist der Tabelle zu entnehmen, dass 27 der 40 Umläufe mit der Mindestfreigabezeit von 5 Sekunden für den Radverkehr gelaufen sind, äquivalent zur vorherigen Festzeitsteuerung. Das bedeutet, dass 68 % der Umläufe in einer Stunde keinen Einfluss auf den Kfz-Verkehr nehmen. Im Umkehrschluss ist eine Verlängerung der Grünzeit für Radfahrende durch die verkehrsabhängige Steuerung in 33 % der Umläufe (13 von 40) festzustellen. Insgesamt ist die Freigabezeit für den Radverkehrsstrom im Mittel von 5,0 Sekunden (Festzeitsteuerung) auf 5,8 Sekunden (VA) gestiegen, was für die Radverkehrsqualität einen deutlichen Vorteil darstellt. Dabei sind Freigabezeitverlängerungen von 8 bis 10 Sekunden nur vereinzelt zu verzeichnen. Aus den längeren Freigabezeiten für den Radverkehrsstrom ergeben sich entsprechend längere Sperrzeiten für den konfligierenden Kraftfahrzeugverkehr, da die Umlaufzeit unverändert 90 Sekunden beträgt. In der betrachteten Signalisierungsstunde mit den 40 Umläufen, hat sich die Gesamtlänge der Freigabezeit für Radfahrende, im Gegensatz zur Festzeitsteuerung, von 200 Sekunden auf 230 Sekunden ausgeweitet. Bei einem empirische anzunehmenden Zeitbedarfswert von 1,8 Sekunden pro Kfz bedeutet dies wiederum, dass innerhalb einer Stunde lediglich 17 Kfz pro Kfz-Strom, also insgesamt 34 von 1.447 Kfz weniger den Knotenpunkt passieren konnten.

Neben dem Grünzeitgewinn für Radfahrende können weiterhin positive Auswirkungen durch die Maßnahmenumsetzung der verkehrsabhängigen Steuerung in Kombination mit den baulichen Maßnahmen auf die Anteile der Gelb- und Rotfahrten sowie die sogenannte Post-Encroachment-Time (PET) festgestellt werden. Mithilfe der PET wird der zeitliche Abstand zwischen den unverträglichen Verkehrsströmen auf sich kreuzenden Pfaden verzeichnet. Sie wirkt sich daher auf die Sicherheit und Qualität des Radverkehrs am Knotenpunkt aus.

Im Vorher-Nachher-Vergleich der Knotenpunktüberquerung durch Radfahrende, entsprechend der Lichtsignalfarben, wird in der folgenden Abbildung 38 deutlich, dass der Grünfahrtenanteil in der Nacherhebung markant im Schnitt von 75 % auf knapp 89 % gestiegen ist. Der Anteil an Gelbfahrten sinkt nach der Maßnahmenumsetzung entsprechend deutlich auf rund 5 %. Rotfahrten sind unterdessen weiterhin zu verzeichnen, jedoch zeigt sich auch hier eine Reduzierung des regelwidrigen Verhaltens um 4 %.

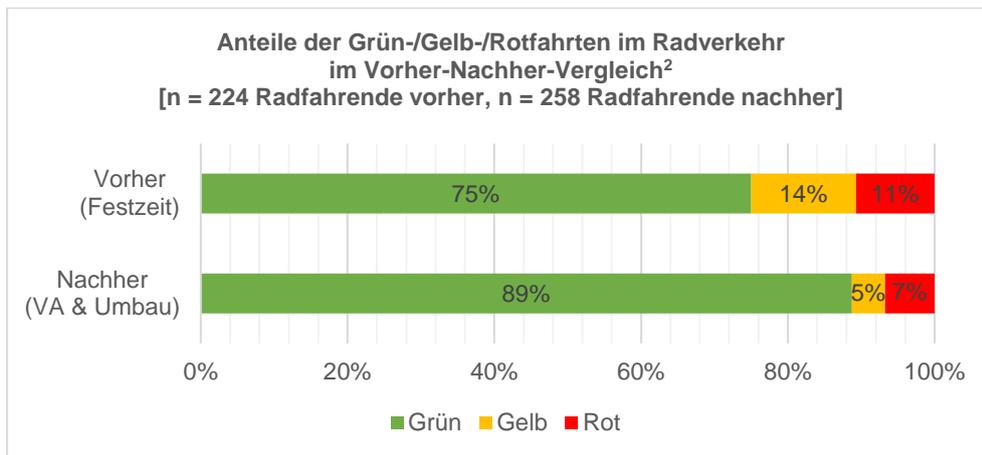


Abbildung 38: Anteile gesamt, Grün-/Gelb-/Rotfahrten im Vorher-Nachher-Vergleich [TU Berlin]

Die Anteile der Grün-, Gelb- und Rotfahrten lassen sich weiterhin nach Größe der passierenden Gruppen (Pulks) während einer Signalisierungsphase differenzieren, wie in Abbildung 39 dargestellt. Es ist anzunehmen, dass ein Zusammenhang zwischen dem Fahren in Pulks und einer höheren Bereitschaft zu Rotlichtverstößen von Radfahrenden vorliegt.

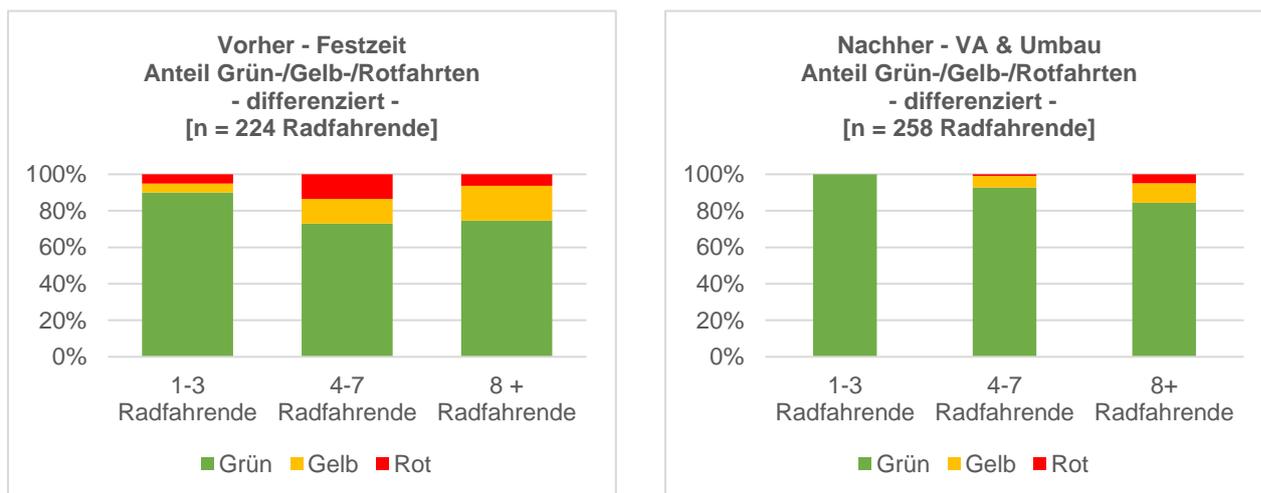


Abbildung 39: Anteile differenziert, Grün-/Gelb-/Rotfahrten im Vorher-Nachher-Vergleich [TU Berlin]

Für die Untersuchung ist das Radverkehrsaufkommen während eines Umlaufes in weitestgehend gleichmäßige Gruppen eingeteilt. In Abbildung 39 sind die Anteile der Fahrten nach Lichtsignalfarben, Gruppengröße sowie im Vorher-Nachher-Vergleich veranschaulicht. Bei mehr als drei Radfahrenden ist im Rahmen der Erhebungsauswertung vor der Maßnahmenumsetzung aufgefallen, dass sich der Anteil an Grünfahrten reduziert und somit die Gelb- und Rotfahrten steigen. Dabei ist der Anteil der Rotlichtverstöße bei einer Gruppengröße von 4-7 Radfahrenden vor der Maßnahmenumsetzung deutlich größer als bei einem Pulk mit 8 und mehr Radfahrenden.

Nach der Maßnahmenumsetzung hingegen hat sich die Situation am Knotenpunkt insgesamt deutlich verbessert. Bei 1-3 Radfahrenden passierten im Zuge der Erhebung alle Beteiligten die Haltlinie

bei Grün. In diesem Kontext ist jedoch anzumerken, dass die Situation mit dieser geringen Pulkgröße im Rahmen der Nacherhebung nur in 2 von 40 Umläufen vorkam. In der Gruppe mit 4-7 Radfahrenden sind Grünfahrten in rund 93 % zu verzeichnen, etwa 6 % überfahren die Haltlinie noch bei Gelb, Rotlichtverstöße kommen in 1 % der beobachteten Fälle vor. Bei 8 und mehr Radfahrenden nehmen die Grünfahrten mit etwa 84 % langsam ab, hier sind in 11 % Gelb- und in 5 % Rotfahrten zu verzeichnen. Grundsätzlich ist hier eine Tendenz erkennbar, dass eine Bereitschaft zu Rotlichtverstößen beim Fahren in größeren Pulks zunimmt, wobei sich eine Gruppendynamik vermuten lässt. Zusammenfassend sei jedoch festzuhalten, dass der Anteil regelwidriger Rotfahrten mithilfe der verkehrsabhängigen Steuerung eingedämmt werden konnte.

Auch hinsichtlich der Post-Encroachment-Time (PET), zwischen dem letzten räumenden Radfahrenden und dem ersten einfahrenden Kfz der sich kreuzenden Ströme, lassen sich positive Effekte durch die Maßnahmenumsetzung ablesen (siehe Abbildung 40).

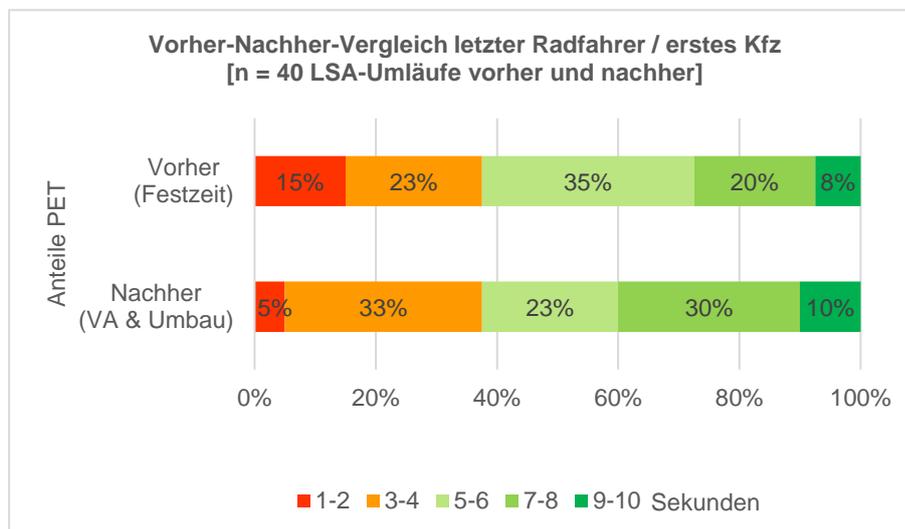


Abbildung 40: Vorher-Nachher-Vergleich der Post-Encroachment-Time [TU Berlin]

Die zeitlichen Abstände zwischen den unverträglichen Verkehrsströmen nehmen gegenüber der Festzeitsteuerung im Vorher-Zeitraum zu, woraus sich ein Qualitätsgewinn für den Radverkehr ableiten lässt. Waren in der Auswertung vor den Maßnahmenumsetzungen noch 15 % der Radfahrenden mit zeitlichen Differenzen von bedenklichen 2 Sekunden und weniger konfrontiert, konnte dieser Anteil infolge der Maßnahmenumsetzung auf 5 % gesenkt werden. Es ist anzunehmen, dass sich eine höhere Post-Encroachment-Time positiv auf das subjektive Sicherheitsgefühl und damit auf die Radverkehrsqualität am Knotenpunkt auswirkt. Eine höhere Post-Encroachment-Time bedeutet für Radfahrende, dass der Zeitabstand von einfahrenden Kfz am sich kreuzenden Pfaden verlängert ist. Grundsätzlich besteht dabei weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Radverkehrsqualität. Am Knotenpunkt F4 kann durch die Maßnahmenumsetzung insgesamt eine Zunahme der Post-Encroachment-Time festgehalten werden. Demnach wird eine höhere Sicherheit und Qualität während der Zeitdauer zwischen dem Freigabezeitende des räumenden Stromes und dem Freigabezeitbeginn des einfahrenden Stromes mittels betrieblicher und baulicher Eingriffe gewährleistet.

Zusammenfassend lassen sich grundsätzlich positive Effekte auf die Verkehrssicherheit und Qualität im Radverkehr am Knotenpunkt mittels der implementierten Maßnahmen messen. Bereits in der mikroskopischen Verkehrssimulation (siehe Kapitel 4.2.2) konnten entsprechende Ergebnisse bezüglich der Bewertungsparameter Wartezeit, Verlustzeit und Haltezahl im Mittel generiert werden. Durch die weiterreichenden video- bzw. realbasierten Untersuchungen der Gelb- und Rotfahrten sowie der sogenannten Post-Encroachment-Time wurden die Erkenntnisse aus der Simulation bekräftigt.

4.3.3 Auswertung der Befragungen am Knotenpunkt F4 in Frankfurt am Main

Für die Befragungen konnten insgesamt 50 Radfahrende [$n = 50$] gewonnen werden, von denen 58 % männlich und 42 % weiblich sind. Der Großteil von ihnen lässt sich, wie in Abbildung 41 dargestellt in die Altersgruppe der 25- bis 64-Jährigen zuordnen. Diese Altersgruppe, die gewöhnlich als Gruppe der Berufstätigen bezeichnet wird, macht einen Anteil von 66 % der Befragten aus. Dies ist unter anderem der großen Altersspanne in der Gruppe zuzuordnen. Es folgen die Gruppe der 18- bis 24-Jährigen mit anteilig 16 % sowie die über 65-Jährigen und älteren mit 10 %. Die Gruppe der unter 18-Jährigen ist mit lediglich 4 % nur marginal vertreten. Zu weiteren 4 % lässt sich keine Zuordnung in eine Altersgruppe, aufgrund der verwehrteten Altersangabe, vornehmen.

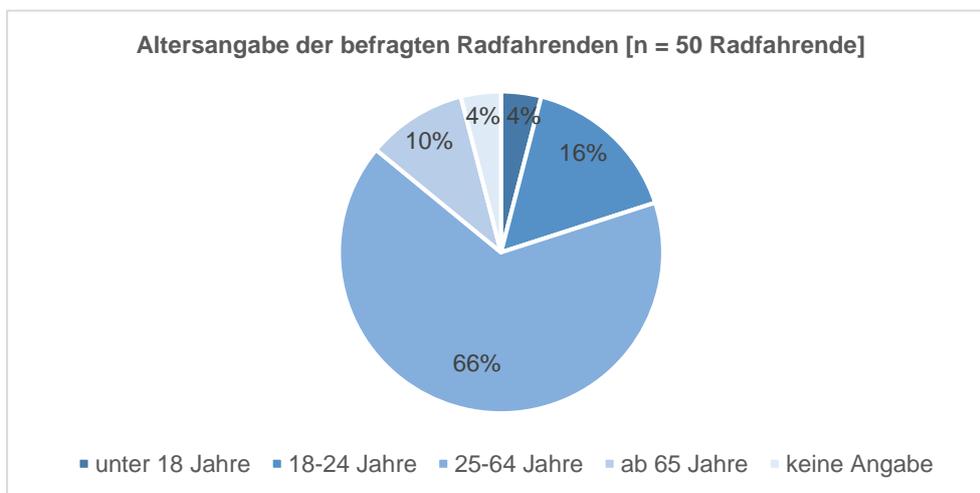


Abbildung 41: Altersangaben der befragten Radfahrenden [TU Berlin]

Um eine differenzierte Einschätzung der subjektiven Maßnahmenbewertung der Befragten tätigen zu können, wurden sie zunächst zur Häufigkeit der Nutzung der Knotenstrompassage befragt (siehe Abbildung 42). Von allen befragten Radfahrenden passieren 72 % den Knotenpunkt F4 täglich oder mehrmals in der Woche. Weiterhin gaben 8 % an, die Radverkehrsanlage einmal die Woche zu nutzen, 12 % tun dies eher selten. Ein Anteil von 8 % der Befragten war nicht mit der Umgebung vertraut. Sie gaben an, den Knotenpunkt mit dem Fahrrad bislang noch nicht passiert zu haben.

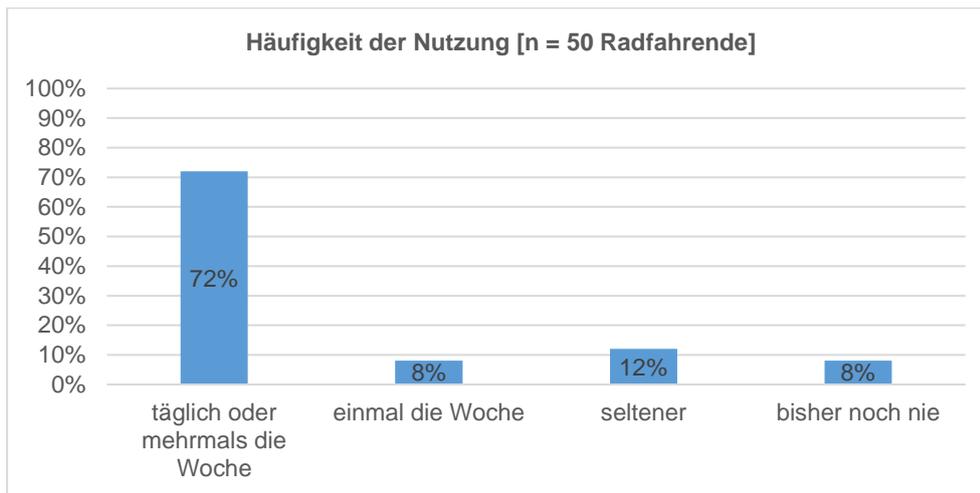


Abbildung 42: Häufigkeit der Nutzung [TU Berlin]

Bevor die Radfahrenden darum gebeten wurden, die am Knotenpunkt umgesetzten Maßnahmen zu bewerten, bestand das Interesse herauszufinden, ob sie generell eine Änderung wahrgenommen haben und diese gegebenenfalls benennen können. Die Frage wurde an Radfahrende gerichtet, die den Knotenpunkt bereits passiert hatten. Von den 46 Befragten, die den Querschnitt entweder seltener, einmal die Woche oder häufiger befahren, haben 16 Radfahrende eine Veränderung bemerkt. Die nachfolgende Abbildung 43 zeigt die Nennungen der wahrgenommenen Maßnahmen sowie deren Häufigkeit.

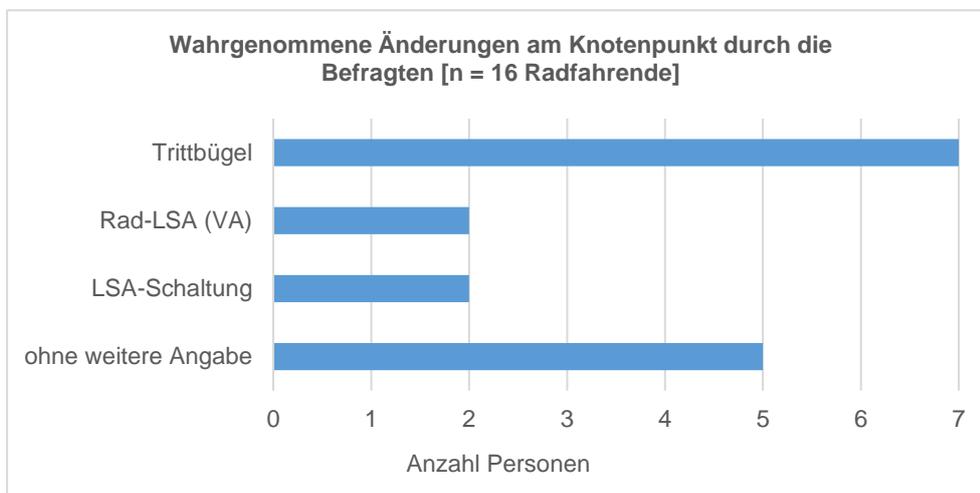


Abbildung 43: Wahrgenommene Änderungen am Knotenpunkt durch die Befragten

Demnach ist abzulesen, dass vorrangig der Trittbügel an der Haltlinie bemerkt wurde. Insgesamt haben 4 Personen eine Änderung in der Steuerung der Lichtsignalanlage bemerkt, von denen sich 2 Befragte explizit auf die verkehrsabhängige Steuerung für den Radverkehr bezogen. Unterdessen haben 5 der 17 Radfahrenden Änderungen wahrgenommen, konnten diese aber nicht genau deklarieren. Unabhängig des Bemerkens von Veränderungen sowie von der Nutzungshäufigkeit der Radverkehrsführung am Knotenpunkt F4, wurden die Radfahrenden um eine Beurteilung der Maßnahmenumsetzungen gebeten, indem sie auch bei nicht eigens wahrgenommenen Änderungen über

die einzelnen betrieblichen und baulichen Maßnahmen in Kenntnis gesetzt wurden. Die verkehrshängige Steuerung, Aufstellhilfe im vorderen Haltebereich, zusätzliche Markierung zur Hilfe für die Positionierung vor der Lichtsignalanlage wurden zur Verdeutlichung genannt. Dabei wurde lediglich das Empfinden hinterfragt, ob sich diese Maßnahmen auf die Radverkehrsqualität und/oder dem Verhalten der Radfahrenden am Knotenpunkt auswirken. Hierbei sei darauf hinzuweisen, dass die Einschätzungen gegebenenfalls auf subjektive Impulsbewertungen beruhen kann, da nicht alle gleichermaßen mit dem Knotenpunkt vertraut waren.

Die Abbildung 44 gibt den relativen Anteil der Meinungen der Befragten wieder. Dabei gab der Großteil der interviewten Personen mit 62 % an, dass die Maßnahmen am Knotenpunkt vermeintlich keine Veränderungen hervorrufen. Durch 28 % der Radfahrenden werden positive Effekte auf die Radverkehrsqualität festgehalten. Dies begründeten die befragten Personen in erster Linie durch einen geringeren Zeitverlust am Knotenpunkt, weil durch die verkehrshängige Signalsteuerung weniger Halte zu verzeichnen sind und demnach ein besserer Verkehrsfluss gewährleistet wird. Weiterhin werden durch die Maßnahmen positive Auswirkungen auf die Verkehrssicherheit erwartet. Knapp 10 % gaben eine Verschlechterung der Radverkehrsführung am Knotenpunkt an, da die Lösungen (Aufstellhilfe für Radfahrende im vorderen Haltbereich und zusätzliche Markierungen) mitunter nicht selbsterklärend erscheinen.

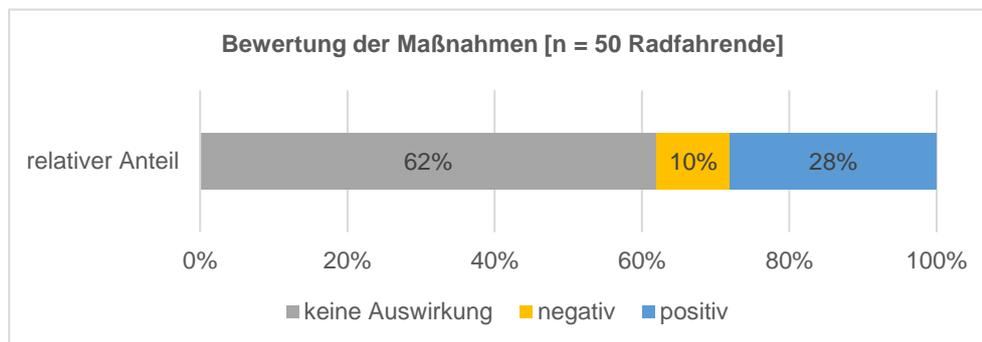


Abbildung 44: Bewertung der Maßnahmen durch alle Nutzergruppen, gesamt [TU Berlin]

Von den 10 % der Radfahrenden, die die Maßnahmenumsetzungen negativ bewertet haben, wurden von drei Personen Anregungen zur weiteren Optimierung genannt. Alle drei Personen bemängelten dabei die diagonale Querung als weiterhin unklar ersichtliche Führung. Eine dieser Person gab außerdem an, die Grünzeit, trotz der implementierten verkehrshängigen Steuerung, kürzer als vorher zu empfinden. Dies kann jedoch faktisch widerlegt werden, da durch die verkehrshängige Steuerung die Mindestfreigabezeit der Grünphase von 5 Sekunden nicht unterschritten wird. Konkrete negative Hinweise zu den spezifisch umgesetzten baulichen und signaltechnischen Maßnahmen gab es nicht.

Anregungen zur weiteren Optimierung durch Radfahrende, die keine oder positive Auswirkungen wahrgenommen haben, beziehen sich insbesondere auf die Thematiken Lichtsignalsteuerung (15 Anregungen), Führung der Radverkehrsanlage auf der Verkehrsinsel (13 Anregungen) sowie deren

Markierung (7 Anregungen). Die häufigste Bemerkung zur LSA-Steuerung war der Wunsch nach längeren Grünzeiten für Radfahrende. Dabei gaben 8 von 10 Befragten an, bislang keine Auswirkungen durch die verkehrsanhängige Steuerung wahrgenommen zu haben. Zudem wurde von 3 Radfahrenden der Bedarf nach einer längeren Zwischenzeit genannt, 2 Personen äußerten sich zu Rotlichtverstößen durch andere Radfahrende. Dabei wurde, wie auch im Rahmen der Videoerhebung festgestellt, von anderen Radfahrenden bemerkt, dass es vermehrt zu Verstößen komme, wenn Radfahrende im Pulk fahren (siehe Kapitel 4.3.2).

Hinsichtlich der Führung der Radverkehrsanlage sahen 5 Radfahrende Optimierungsbedarf bezüglich der Begegnung mit zu Fuß Gehenden auf der Verkehrsinsel. Abseits der Fußgängerüberwege, die die Radverkehrsanlage über die Nord-Süd-Verbindung kreuzen, nutzen zu Fuß gehende zudem die nicht für sie vorgesehenen Bereiche entlang des Grünstreifens und der Radverkehrsanlage auf der Verkehrsinsel, was mitunter zu Konflikten führt.

Abgesehen der Begegnungsfälle wurde von 4 Befragten angeregt, dass die diagonale Knotenpunktüberquerung nicht ideal sei, 3 davon bevorzugten gar eine Führung über die Fußgängerfurt der Hofstraße Ecke Untermainkai. Weitere 4 Radfahrende gaben Verbesserungsvorschläge zum Abbiegen an, da mitunter das Fehlverhalten durch regelwidriges Linksabbiegen von Kfz und Radfahrenden bemängelt wird. Eine Person teilte mit, die Möglichkeit des direkten Linksabbiegens für Radfahrende zu begrüßen.

Zur aktuellen Markierung der Radverkehrsanlage mit zwei Richtungspfeilen äußerten sich 7 Radfahrende. Dabei wurde eine Erneuerung der vorhandenen Markierung bzw. eine deutlichere sowie eindeutige Kennzeichnung der Führung für Radfahrende im Knotenpunkttinneren gewünscht.

Für eine weitere Differenzierung der Antworten sind in der Evaluierungen in Abbildung 45 die Nutzergruppen nach Erfahrungswerten mit der Knotenpunktführung differenziert.

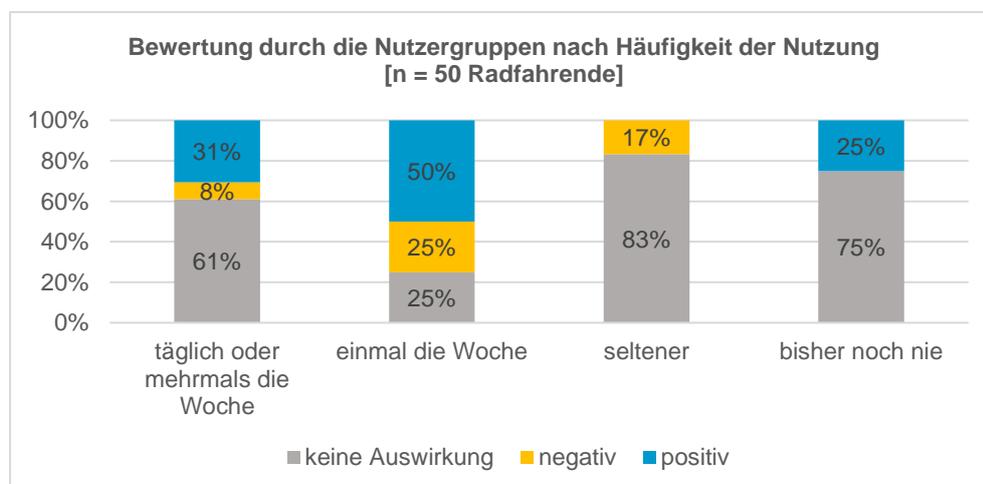


Abbildung 45: Bewertung durch die Nutzergruppen nach Häufigkeit der Nutzung [TU Berlin]

Demnach wurden in erster Linie die Aussagen von 46 Radfahrenden miteinbezogen, da 4 Personen

den Abschnitt zum ersten Mal passierten und somit über eine Änderung nur bedingt urteilen konnten. Jeder Nutzergruppe liegt ein hoher Anteil an Radfahrenden zugrunde, die keine Veränderungen durch die Maßnahmen wahrgenommen haben. Insgesamt schätzen 31 % der täglich oder mehrmals die Woche Fahrenden die Veränderungen als positiv ein. Vorrangig nannte man hier einen geringeren Zeitverlust am Knotenpunkt und eine subjektiv wahrgenommen höhere Verkehrssicherheit. Die Nutzergruppe, die einmal wöchentlich den Knotenpunkt passiert, ist sogar mit 50 % auf die Maßnahmen positiv gestimmt. Dabei verbleiben mit jeweils 25 % Personen die keine Auswirkungen bemerkt haben, oder sie als negativ beurteilen würden. Radfahrende, die die Kreuzung selten überqueren, entnehmen den Neuerungen sogar keinen positiven Nutzen. Aus dieser Gruppe haben 83 % keine Auswirkungen bemerkt, 17% äußerten sich negativ. In der Gruppe der neuen Radfahrenden haben 75% keine Auswirkungen durch die Maßnahmenumsetzung festgehalten, 25% dieser Gruppe haben sie als positiv bewertet.

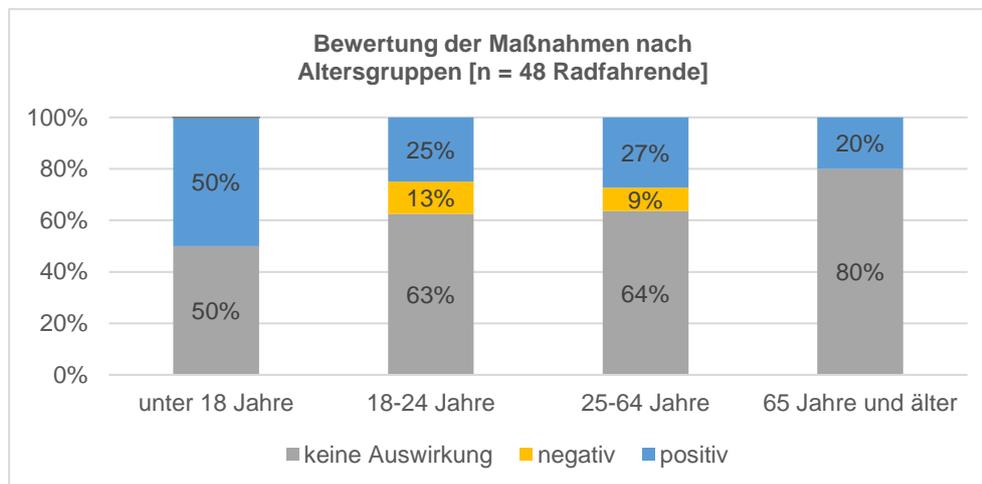


Abbildung 46: Bewertung durch die Nutzergruppen nach Alter [TU Berlin]

Differenziert nach den Altersgruppen wird deutlich, dass unter 18-Jährige sowie über 64-Jährige keine negativen Auswirkungen zu den baulichen Veränderungen sowie zur Implementierung der bedarfsgerechten Lichtsignalsteuerung wahrgenommen haben, wie in Abbildung 46 dargestellt.

Als positiven Effekt hat von ihnen insbesondere die längere Grünzeit Beachtung gefunden. In den Altersgruppen der 18- bis 24-Jährigen und der 25- bis 64-Jährigen präsentiert sich ein vergleichbares Bild. Dem Großteil sind durch die Einführung der Maßnahmen keine Auswirkungen wiederfahren. In der Altersspanne von 18 Jahre bis 64 Jahre fiel die negative Evaluation mit 13 % und 9 % relativ gering aus, wohingegen jeweils etwa ein Viertel die positiven Veränderungen durch die Maßnahmen wahrgenommen haben. Hierbei wurde sich in erster Linie auf die höhere Verkehrssicherheit sowie auf den besseren Verkehrsfluss berufen, bedingt durch die geringere Anzahl an Halten.

5 Zusammenfassung der Ergebnisse und Empfehlungen

Ergebnisse der Grundlagenanalysen

Im Rahmen der Grundlagenanalyse wurde deutlich, dass bislang nur wenige Informationen zur bedarfs- und qualitätsorientierten Knotenpunktgestaltungen aus Perspektive des Radverkehrs vorliegen. So beschreiben derzeit gültige Richtlinien und Regelwerke keine eindeutigen Zusammenhänge zwischen der Radverkehrsqualität oder Leistungsfähigkeit von Radverkehrsanlagen (RVA) und ihrer Gestaltung und Dimensionierung. Zudem fehlen entwurfsspezifische Empfehlungen mit Bezug zur Radverkehrsbelastung. Dies ist sowohl bei Quellen aus Deutschland als auch für jene aus dem deutschsprachigen Ausland aufgefallen (siehe Kapitel 2.2.1). Gleichmaßen weist die Analyse der aktuellen Forschungsstandes auf weiteren Forschungsbedarf hin (siehe Kapitel 2.2.2).

In der Praxis finden sich sowohl gestalterische als auch betriebliche Ansätze, um hohen Radverkehrsbelastungen zu begegnen. In einer Stadt in Belgien wird hierfür auf eine Netzstrategie gleichmäßig hochwertiger Radverkehrsinfrastruktur gesetzt, um Belastungsspitzen und damit komplexe Problemlösungen gänzlich zu vermeiden. Auf kleinmaßstäblicher Ebene seien als Lösungsansatz aufgeweitete Radaufstellstreifen (ARAS) genannt, deren Einsatz und Gestaltung international deutlich flexibler als in Deutschland gehandhabt wird. Zudem werden vielerorts erfolgreich Kombinationsfahrstreifen als gestalterischer Ansatz bei hohen Radverkehrsbelastungen eingesetzt. Auf der betrieblichen Ebene finden radverkehrsorientierte Signalisierungen einzelner oder mehrerer Knotenpunkte Anwendung. Entlang hoch belasteter Streckenzüge wird der Nachfrage zudem mit einer Grüne Welle für den Radverkehr begegnet. Auf kleinmaßstäblicher Ebene finden radverkehrsorientierte, verkehrabhängige Steuerungen Anwendung, wie sie für den Kfz-Verkehr bereits üblich sind. In einer Stadt in den Niederlanden hat sich darüber hinaus die Simultanfreigabe aller Radverkehrsströme in einer eigenen Signalisierungsphase bewährt (siehe Kapitel 2.3.1 und 2.3.2).

Ob das freie Rechtsabbiegen des Radverkehrs mittels Grünpfeil einen geeigneten Ansatz darstellt, kann vor dem aktuellen Wissenstand nicht abschließend beantwortet werden. Hinsichtlich der Radverkehrsqualität erscheint diese Maßnahme durchaus vielversprechend, wenn starke Rechtsabbiegeströme vorliegen. An den Knotenpunkten des Projektes war dies nicht der Fall. Auch sind die Erkenntnisse aus andauernden Pilotversuchen im Hinblick auf Aspekte der Verkehrssicherheit abzuwarten, bevor dieser Ansatz im Sinne von Qualitätsverbesserungen Implementierung findet. Hier sollte der Grundsatz „Verkehrssicherheit vor Verkehrsqualität“ nicht aus den Augen verloren werden.

Zur Verbesserung der Radverkehrsqualität in größerem Maßstab (auf Streckenzügen bzw. im Netz) bestehen weitere Möglichkeiten wie Radschnellwege oder Fahrradstraßen, die jedoch vor dem Schwerpunkt des Projektes auf kleinmaßstäblichen Ansätzen keine Berücksichtigung finden konnten. Ähnliches gilt für die planfreie Radverkehrsführung an Knotenpunkten, die, mit beachtlichen Investitionsvolumina verbunden, im Rahmen des Projektes keine probate Maßnahme darstellte.

Ergebnisse der Knotenpunktanalysen

Das folgende Kapitel enthält eine Übersicht der wichtigsten Erkenntnisse und Handlungsstrategien. Zu jedem Knotenpunkt wurde eine Zusammenfassung erstellt, worin sowohl die Problemstellung für kommunale Verkehrsplanungen, als auch innerhalb des Projektes erarbeitete Lösungsansätze sowie die evaluierte Wirksamkeit der Maßnahmen festgehalten sind. Ergebnisse der jeweiligen Problemstellung setzen sich dabei zum einen aus den Verkehrserhebungen des Ist-Zustandes und zum anderen aus der multimodalen Verkehrssimulation zusammen. Unter dem Punkt Lösungsansätze werden die jeweiligen Empfehlung von Maßnahmen festgehalten. Der Punkt Wirksamkeit der Maßnahmen enthält wiederum Resultate der Verkehrssimulation der empfohlenen Maßnahmen sowie Ergebnisse der Maßnahmenumsetzung, sofern diese in der Projektlaufzeit erfolgte. Die Bewertung der Maßnahmenempfehlungen von den Knotenpunkten in Hannover, Leipzig und Oldenburg lassen sich demnach ausschließlich anhand der Ergebnisse der Verkehrssimulation verifizieren.

Knotenpunkt F3 - Bockenheimer Landstraße / Ulmenstraße / Liebigstraße - Frankfurt am Main

Maßgebender radverkehrlicher Strom: Radwege im Seitenraum der Bockenheimer Landstraße (Hauptverkehrsstraße)

Problemstellung *	Lösungsansatz	Wirksamkeit der Maßnahmen *
<ul style="list-style-type: none"> • Radwege sind mit 1,5 Metern Breiten deutlich unterdimensioniert (kein Sicherheitstrennstreifen zur Fahrbahn, im Seitenraum durch Einfriedung begrenzt) • beliebte Pendlerstrecke mit entsprechend hoher Nachfrage durch Radfahrende im Berufsverkehr • das Überholen im Radverkehr ist auf den schmalen Streckenabschnitten zwischen den Knotenpunkten erschwert • Radfahrende überholen oft im Knotenpunktbereich, verlassen mitunter die markierten Furten • verstärkte regelwidrige Gehwegnutzung der Radfahrenden zu beobachten • (siehe 3.1.6) • <i>die Radverkehrsqualität negativ beeinflussenden Faktoren sind nur schwer in der Simulation abbildbar</i> • <i>problematische Überholmöglichkeiten auf den Abschnitten zwischen den Knotenpunkten kommen in der Simulation nur in sehr geringem Maße zum Tragen</i> • (siehe 3.2.2) 	<ul style="list-style-type: none"> • Verbesserungsmaßnahmen, die für diese Problematik nötig wären, können nicht isoliert an einem Knotenpunkt betrachtet und umgesetzt werden, sie erfordern Maßnahmen entlang des gesamten Straßenzuges 	<ul style="list-style-type: none"> • Knotenpunkt F3 wird im Rahmen des Projekts nicht weiterbearbeitet (-> F4)
Grenzen	Grenzen	Grenzen
<ul style="list-style-type: none"> • <i>mithilfe der Verkehrssimulation lässt sich repräsentativ nur regelkonformes Verhalten abbilden</i> 		<ul style="list-style-type: none"> • Maßnahmen auf längeren Streckenabschnitten nicht im Projektrahmen vorgesehen
*Ergebnisse aus Verkehrserhebung IST-Zustand & Verkehrssimulation		*Ergebnisse aus Verkehrssimulation der Maßnahmen & Umsetzung

Knotenpunkt F4 -Untermainkai / Neue Mainzer Straße / Hofstraße / Untermainbrücke - Frankfurt am Main

Maßgebender radverkehrlicher Strom: aus Neue Mainzer Straße über die Mittelinsel (Radweg) der Hofstraße (Hauptverkehrsstraße) und deren diagonale Furt zur Untermainbrücke (Hauptverkehrsstraße)

Problemstellung *	Lösungsansatz	Wirksamkeit der Maßnahmen *
<ul style="list-style-type: none"> • Mindestfreigabezeit (Rad) 5 Sekunden von RF- LSA der Nachfrage nicht angemessen • hoher Anteil an Gelb- und Rotfahrten • geringe PET (Post-Encroachment-Time) • Aufstellverhalten (Radfahrende warten mit unnötig großem Abstand zur Haltlinie) verstärkt negative Effekte • in hinterer Wartezone wartender Radverkehr erreicht Haltlinie nach Freigabe häufig erst bei Rot • (siehe 3.1.3) • <i>teils lange Warte- und Verlustzeiten der Radfahrenden</i> • <i>Radverkehrsstrom von der Verkehrsinsel der Hofstraße auf die Untermainbrücke nach HBS 2015 Qualitätsstufe E</i> • (siehe 3.2.3) 	<p>Kombination mehrerer Maßnahmen empfohlen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • vorhandene Situation zunächst optimal auszunutzen durch: <ul style="list-style-type: none"> • Aufstellverhalten der Radfahrenden beeinflussen (nah an der Haltlinie, dicht nebeneinander) • Verbreiterung der Aufstellfläche • entsprechend positionierte Haltegriffe und Fußtritte unmittelbar vor der Haltlinie • verkehrsabhängige Steuerung(VA) mit Fokus auf Radverkehr (Freigabezeit im Bedarfsfall verlängern) • (siehe 4.1.3) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>VA für maßgebenden Radverkehrsstrom zeigt deutliche Verbesserung der drei Bewertungsparameter Wartezeit, Verlustzeit und Haltezahl im Mittel</i> • (siehe 4.2.2) • Ergebnisse der Verkehrssimulation bestätigen Verbesserungen der Bewertungsparameter zur Radverkehrsqualität insbesondere durch VA • Ergebnisse durch bauliche Maßnahmen lassen keine eindeutigen Schlüsse zu, weiterer Forschungsbedarf • Positiver Einfluss auf: Grünzeitgewinn für Radfahrende, Anteile der Gelb- und Rotfahrten sowie der Post-Encroachment-Time (PET) • keine nennenswerte Einschränkung konkurrierender Kfz-Ströme • (siehe 4.3.2) • Befragung zeigte, dass 38% der Radfahrenden Auswirkungen der Maßnahmen wahrgenommen haben.10% bewerteten Maßnahmenumsetzung negativ, wobei insbesondere eine weiterhin unklare Führung bemängelt wurde, 28% bewerteten Maßnahmen als positiv • (siehe 4.3.3)
<p>Grenzen</p>	<p>Grenzen</p>	<p>Grenzen</p>
<ul style="list-style-type: none"> • in Realität auftretende Rückstaus lassen sich in Simulation nicht realitätsnah abbilden 	<ul style="list-style-type: none"> • Repertoire empfohlener baulicher Maßnahmen wurde nicht vollumfänglich umgesetzt 	<ul style="list-style-type: none"> • In Simulation keine Verhaltensparameter zum Anreiz der Trittbügelnutzung hinterlegt, lassen sich nicht abbilden • HBS-Verfahren zur Ermittlung der Qualitätsstufen des Verkehrsablaufes (QSV) zur Beurteilung der VA nicht anwendbar
<p>*Ergebnisse aus Verkehrserhebung IST-Zustand & Verkehrssimulation</p>		<p>*Ergebnisse aus Verkehrssimulation der Maßnahmen & Umsetzung</p>

Knotenpunkt H1 - Königsworther Platz - Hannover

Maßgebende radverkehrliche Ströme: Furten der Schloßwender Straße und Nienburger Straße sowie Furt der Brühlstraße (Hauptverkehrsstraßen)

Problemstellung *	Lösungsansatz	Wirksamkeit der Maßnahmen *
<ul style="list-style-type: none"> • Mindestmaß von Zweirichtungsradwegen und Furten der hohen Nachfrage nicht angemessen • Radfahrende weichen auf nicht für sie vorgesehene Bereiche aus • Aufstellbereiche für den Radverkehr an den Lichtsignalanlagen, insbesondere auf Mittelinseln unzureichend • (siehe 3.1.4) • <i>deutliche Beeinträchtigungen der Radverkehrsqualität beobachtbar und in Simulation nachweisbar trotz Qualitätsstufe C nach HBS 2015 (Radverkehrsstrom vom Königsworther Platz in die Nienburger Straße)</i> • <i>lange Warte- und Verlustzeiten der Radfahrenden bei Knotenpunkt-passage</i> • <i>insbesondere auf der Mittelinsel der Nienburger Straße bilden sich mitunter auffällige Staus</i> • (siehe 3.2.4) 	<p>Wo möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Führung des Radverkehrs auf durchgehender und separierter Radverkehrsfurt • Verzicht auf Mittelinsel für Radfahrende • separate Signalisierung mit entsprechendem Signalgeber, synchron mit den Fußgängerfurten <p>Ergänzung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbreiterung der Radverkehrsfurt mit Anlage entsprechender Aufstellflächen <p>Generell:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verbesserungsmaßnahmen für nicht bedarfsgerechte Zweirichtungsradwege, sollten nicht isoliert an einem Knotenpunkt betrachtet und umgesetzt werden, sie erfordern Maßnahmen entlang der Straßenzüge • (siehe 4.1.4) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>deutliche Reduktionen der Warte- und Verlustzeiten sowie Haltezeiten für den Radverkehr (insbesondere für Radverkehrsstrom der beide beeinträchtigte Furten passiert Königsworther Platz -> Bremer Damm)</i> • <i>keine Anpassung des Signalisierungsplans zu erwarten (RF synchron zu FG)</i> • (siehe 4.2.3) • Maßnahmenumsetzung am Knotenpunkt H1 innerhalb der Projektlaufzeit nicht möglich
Grenzen	Grenzen	Grenzen
<ul style="list-style-type: none"> • Qualitätseinstufung nach HBS 2015 nicht zulässig, wenn mehrere Zufahrten gequert werden 	<ul style="list-style-type: none"> • Maßnahmen entlang von Straßenzügen nicht im Projektrahmen vorgesehen 	<p>Furtverbreiterung Brühlstraße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Simulation regelwidrigen Verhaltens nicht zielführend, daher Verzicht auf Prognose
*Ergebnisse aus Verkehrserhebung IST-Zustand & Verkehrssimulation		*Ergebnisse aus Verkehrssimulation der Maßnahmen & Umsetzung

Knotenpunkt L4 - Karl-Liebknecht-Straße / Richard-Lehmann-Straße - Leipzig
Maßgebender radverkehrlicher Strom: nördliche Zufahrt der Karl- Liebknecht-Straße (Hauptverkehrsstraße)

Problemstellung *	Lösungsansatz	Wirksamkeit der Maßnahmen *
<ul style="list-style-type: none"> • Konfliktreiche Mischverkehrslösung in nördlicher Zufahrt der Karl-Liebknecht-Straße • schmale Fahrbahn (6 m), obligatorische Fahrstreifen, räumlich nicht erweiterbar • räumliche Trennung der Rad- und Kfz-Verkehre über Radverkehrsanlage (RVA) nicht möglich • stromaufwärts vorhandene RVA entfällt ersatzlos • geringe Seitenabstände (Rad zu Kfz), regelwidrige Gehwegnutzung häufig • (siehe 3.1.5) 	<ul style="list-style-type: none"> • zeitliche Trennung von Rad- und Kfz-Verkehr, separierte Aufstellmöglichkeit (Rad) an Haltlinie • RVA wo möglich • zeitweise Pförtnerung Kfz-Verkehr im Bereich des Mischverkehrs durch zusätzlichen Signalgeber • soll Radverkehr ungehinderte Zufahrt zum Knotenpunkt ermöglichen • ARAS an Knotenpunkthaltnie • (siehe 4.1.5) 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>vorgegebene Verhaltensmuster in Simulation aufgrund regelkonformen Verhaltens der Radfahrenden verursachen leichte Verschlechterung der mittleren Warte- und Verlustzeiten (Rad), Anpassung nicht zielführend</i> • <i>mittlere Haltezahl verbessert</i> • <i>häufigere Priorisierung des Radverkehrs durch Pförtnerung empfohlen -> Einschränkungen des Kfz-Verkehrs sollte fachplanerisch in SZP geprüft werden</i> • (siehe 4.2.4) • Maßnahmenumsetzung am Knotenpunkt L4 innerhalb der Projektlaufzeit nicht möglich
Grenzen	Grenzen	Grenzen
		<ul style="list-style-type: none"> • es ist davon auszugehen, dass Interaktion zwischen Radfahrenden und Kfz in der Realität besser funktioniert • durch Pförtnerung des Kfz-Verkehrs ist es dem Radverkehr leichter und sicherer möglich, den Knotenpunkt zu erreichen, begrenzte Bewertungsparameter in Simulation
*Ergebnisse aus Verkehrserhebung IST-Zustand & Verkehrssimulation		*Ergebnisse aus Verkehrssimulation der Maßnahmen & Umsetzung

Knotenpunkt L5 - Martin-Luther-Ring / Lotterstraße/ Rudolphstraße - Leipzig
Maßgebender radverkehrlicher Strom: Lotterstraße (Nebenstraße) in Parkanlage (ehemalige Weststraße)

Problemstellung *	Lösungsansatz	Wirksamkeit der Maßnahmen *
<ul style="list-style-type: none"> • kurze Freigabezeit des maßgebenden RF-Stroms • Radverkehrsqualität insbesondere für direkt Linksabbiegende RF mangelhaft • Radfahrstreifen in Mittellage lagebedingt sehr kurz, • geringe Aufstellfläche • Zahlreiche potentielle Konfliktbereiche auf der Strecke (querende Tramgleise und Führung der Radfahrenden zwischen Kfz-Fahrbahn in Knotenpunkttinneren, Fußgängerverkehr an Parkeingang) • Dimensionierung der Aufstellflächen in der Lotterstraße der Radverkehrsnachfrage nicht angemessen • lange Rückstaus auf sehr kurzem Radfahrstreifen in Mittellage • Aufstellung neben Radfahrstreifen in Mittellage zu beobachten • (siehe 3.1.6) • <i>lange Warte- und Verlustzeiten im Radverkehr</i> • <i>mittlere Haltezahl: 1,7</i> • <i>Qualitätsstufe E nach HBS 2015</i> • <i>In Simulation auffällige Konflikte im Bereich des Radfahrstreifens in Mittellage durch zahlreiche Interaktionen (Rad-Kfz)</i> • (siehe 3.2.6) 	<p>räumliche Trennung</p> <ul style="list-style-type: none"> • Verlagerung des Radverkehrs an rechten Fahrbahnrand der Lotterstraße, ARAS für gut sichtbare und ausreichend dimensionierte Warteflächen • Kollaterale Umgehung der bisherigen Führung über Rudolphstraße (geradeaus) in neue Parkzufahrt • äußerst geringe Kfz-Belastung, der Rudolphstraße begünstigt konfliktarmes Abbiegen in den Park • RF-Führung der Gegenrichtung gleichermaßen aus Park über die Rudolphstraße in Lotterstraße • (siehe 4.1.6) 	<ul style="list-style-type: none"> • weitere Bearbeitung abgebrochen, da Knotenpunkt in langfristige anderweitige Planungen der Stadt involviert (-> Ersatzknotenpunkt L4)
Grenzen	Grenzen	Grenzen
*Ergebnisse aus Verkehrserhebung IST-Zustand & Verkehrssimulation		*Ergebnisse aus Verkehrssimulation der Maßnahmen & Umsetzung

Knotenpunkt O3 - Alexanderstraße / Nadorster Straße / Heiligengeiststraße - Oldenburg

Maßgebende radverkehrliche Ströme: Alexanderstraße und Nadorster Straße in Heiligengeiststraße (Hauptverkehrsstraßen) und Lindenstraße (Nebenstraße) über Dreiecksspitze am südlichen Gertrudenkirchhof

Problemstellung *	Lösungsansatz	Wirksamkeit der Maßnahmen *
<ul style="list-style-type: none"> • hohes Radverkehrsaufkommen, stockender Radverkehr • knapp zwei Drittel aller Radverkehrsbeziehungen führen über Furten der beengenden Dreiecksspitze am südlichen Gertrudenkirchhof • geringen Freigabezeiten der Furten (Rad, Fuß) • Konflikte sich querender Ströme • Querung beider Furten der Dreiecksspitze verursachen ungünstige Fahrbeziehungen und hohe Verlustzeiten • Dreiecksspitze wird von Radfahrenden teils durch regelwidriges, ungesichertes diagonales Queren des Knotenpunktes vermieden • auf Zweirichtungsradwegen ist gegenseitiges Ausweichen von Radfahrenden unter regelwidriger Nutzung der Fußwege zu beobachten • (siehe 3.1.7) <p>RF-Strom Alexanderstraße in Lindenstraße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • HBS-Verfahren nicht anwendbar, da Querung von zwei Furten • zahlenmäßig vergleichsweise wenig belasteter Strom • hohe Warte- und Verlustzeiten • im Mittel ein Halt <p>RF-Strom Nadorster Straße in Heiligengeiststraße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • zahlenmäßig hoch belasteter Strom • hohe Warte- und Verlustzeiten, markante Haltezahl (2) trotz Querung einer Furt • (siehe 3.2.7) 	<p>räumliche Trennung:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Führung des Radverkehrsstroms von der Alexanderstraße in die Lindenstraße über eigene Furt • Verlagerung der Kfz-Führung aus der Alexanderstraße vom äußeren in inneren Fahrstreifen der Heiligengeiststraße und Versetzung des Bordes zur Anlage von Aufstellflächen an neuer Radverkehrsfurt • keine Anpassung des Signalisierungsplans zu erwarten (RF Freigabe zeitgleich mit Furten der Alexanderstraße und Nadorster Straße möglich) • Verbesserungsmaßnahmen für Problematik der Zweirichtungsradwege sollten nicht isoliert an einem Knotenpunkt betrachtet und umgesetzt werden, sie erfordern Maßnahmen entlang des gesamten Straßenzuges • (siehe 4.1.7) 	<p>RF-Strom von Alexanderstraße in Lindenstraße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • geringfügig positiver Einfluss <p>Nadorster Straße in Heiligengeiststraße:</p> <ul style="list-style-type: none"> • deutliche Entlastung der Dreiecksspitze zwischen Alexanderstraße und Nadorster Straße (maßgebender RV-Strom) • (siehe 4.2.5) <ul style="list-style-type: none"> • Maßnahmenumsetzung am Knotenpunkt O3 innerhalb der Projektlaufzeit nicht möglich
<p>Grenzen</p>	<p>Grenzen</p>	<p>Grenzen</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Strom von der Alexanderstraße in die Lindenstraße ist, wie auch am Knotenpunkt H1, nicht nach HBS 2015 bewertbar, da zwei Furten gequert werden müssen 	<ul style="list-style-type: none"> • Maßnahmen entlang von Straßenzügen nicht im Projektrahmen vorgesehen 	
<p>*Ergebnisse aus Verkehrserhebung IST-Zustand & Verkehrssimulation</p>		<p>*Ergebnisse aus Verkehrssimulation der Maßnahmen & Umsetzung</p>

Knotenpunktübergreifende Ergebnisse

Grundsätzlich sahen sich die Partnerstädte der Herausforderung gegenüber, Maßnahmen zugunsten des Radverkehrs entwickeln zu wollen, ohne den Kfz-Verkehr einzuschränken. Insbesondere bei hohem Kraftfahrzeugaufkommen auf Hauptverkehrsstraßen ist eine geringere Freigabezeit der Kfz-Ströme nicht zielführend, da die Qualität für den motorisierten Verkehr sinken würde, woraus Staus und steigende Emissionen resultieren können. Dennoch ist ein Umdenken zur Förderung des Umweltverbundes (öffentlicher Verkehr, Rad- und Fußverkehr) im Sinne einer nachhaltigen Mobilitätsentwicklung erwünscht. So wurden Lösungen für den Radverkehr gesucht, die den Kfz-Verkehr nicht unnötig benachteiligen. Dabei ist jedoch zu beachten, dass mögliche Gestaltungsoptionen und lokaler verkehrspolitischer Wille nicht immer konform miteinander gehen. Hierbei spielen auch politisch beeinflusste Erfahrungswerte oder Präferenzen eine entscheidende Rolle.

Um zielführende Maßnahmen entwickeln und erproben zu können, wurde ein innovatives Verfahren mithilfe der Simulationssoftware PTV VISSIM angewandt. Eine wichtige Grundlage bildeten hierfür die Erfahrungen eines Forschungsprojektes aus Dänemark, in dem Handlungsempfehlungen zur Feinjustierung spezifischer Verhaltensparameter im Radverkehr entwickelt wurden. Dabei lässt sich mittels der mikroskopischen Simulation regelkonformes Verkehrsverhalten mit repräsentativen Ergebnissen abbilden. Anhand der Erhebungsergebnisse konnte daher ein realitätsnahes Abbild mithilfe der Simulation erreicht werden. Eine Notwendigkeit der Anpassungen des Signalzeitenplans durch die implementierten Maßnahmen ist fachplanerisch in der Umsetzungsphase zu prüfen.

Im Rahmen des Projektes konnte mithilfe der Videoanalysen beobachtet werden, dass Radfahrende insbesondere auf Zweirichtungsradwegen bei hoher Radverkehrsbelastung auf den Gehweg ausweichen. Auf Einrichtungsraddwegen war dies zwar ebenfalls zu beobachten, jedoch nicht in vergleichbarer Häufigkeit. Verbesserungsmaßnahmen für diese Problematik können jedoch nicht isoliert an einem Knotenpunkt betrachtet und umgesetzt werden, sie erfordern Maßnahmen entlang des gesamten Straßenzuges. Da Maßnahmen auf längeren Streckenabschnitten nicht im Projektrahmen vorgesehen waren, verbleibt diese Erkenntnis als Anregung zur weiteren Vertiefung.

An den untersuchten Knotenpunkten ließen sich mit Hilfe der Simulationsumgebungen grundsätzlich positive Effekte auf die Verkehrssicherheit und Qualität im Radverkehr ermitteln. So konnten entsprechende Ergebnisse bezüglich der Bewertungsparameter mittlere Wartezeit, mittlere Verlustzeit und mittlere Haltezahl generiert werden (siehe Kapitel 4.2). Hingegen wurden mithilfe der Untersuchungsergebnisse auch die Grenzen des HBS-Verfahrens deutlich. Die genannten Parameter sowie geometrische Randbedingungen (Breite der RVA, Warteflächen etc.) werden im Zuge der HBS-Bewertung nicht berücksichtigt. Die alleinige Bewertung der Radverkehrsqualität anhand der maximalen Wartezeit wird dem realen Bild nur bedingt gerecht. Weiterhin ist das HBS-Verfahren bei Querungen von mehreren Radverkehrsfurten nicht anwendbar.

Wo entwickelten Maßnahmen umgesetzt und evaluiert werden konnten, ließ sich die Wirkung der Simulationsergebnisse in der Realität bestätigen. Positive Effekte der Simulation sind folglich auch in der Realität nachweisbar. Forschungsbedarf besteht insbesondere dahingehend, die Simulationsergebnisse anhand weiterer umgesetzter Praxisbeispielknotenpunkte zu verifizieren.

Die Analysen zeigen zudem, dass ein Zusammenhang zwischen dem Fahren in Pulks und einer erhöhten Bereitschaft zu Rotlichtverstößen von Radfahrenden besteht. Die Gefahr eines Unfalls wird erhöht, auch lässt sich eine Einschränkung des subjektiven Sicherheitsempfindens ableiten. Die Untersuchungen bestätigen, dass Ansätze zur Verbesserung der Radverkehrsqualität auch positive Effekte auf die Sicherheit haben können. Ein allgemeingültiges, abschließendes Urteil darüber sollte jedoch anhand weiterer Praxisbeispiele detaillierter untersucht werden.

Potential der Maßnahmen

Im Rahmen des Forschungsprojekts wurden sowohl gestalterische als auch betriebliche Ansätze zur Verbesserung der Radverkehrsqualität untersucht. Die Potentiale der Ansätze hinsichtlich eines steigendes Radverkehrsaufkommen sind dabei sehr unterschiedlich.

Gestalterische Ansätze erscheinen besonders geeignet, die Infrastruktur bestehender Knotenpunkte mit geringen Anpassungen besser auszunutzen. Dies kann z.B. durch die Markierung zusätzlicher Furten für den Radverkehr erfolgen, um Engstellen im Straßenraum zu entlasten und die mit ihnen verbundenen Qualitätseinbußen zu reduzieren. Besonders bei der Führung des Radverkehrs im Seitenraum ist dies von Bedeutung. Das Durchsetzen anderer Verkehrsströme an diesen neuralgischen Stellen wird reduziert, die Qualität im Radverkehr verbessert sich.

In betrieblicher Hinsicht lassen sich Verbesserungen durch die Entkoppelung der Freigabe des Radverkehrs von jener des Fußverkehr erreichen. Durch getrennte Signale kann auf die höhere Räumgeschwindigkeit im Radverkehr eingegangen werden, was eine Erhöhung der Leistungsfähigkeit der Radverkehrsführung sowie die Vermeidung unnötiger Wartezeiten und damit letztlich eine Verbesserung der Radverkehrsqualität mit sich bringt. Deutliche Verbesserungen lassen sich mit einer verkehrsabhängigen Steuerung der Lichtsignalanlagen mit Detektion des Radverkehrs erreichen. Auf diesem Wege kann, basierend auf kurzen Freigabezeiten im Radverkehr, dynamisch auf die Entwicklung der Radverkehrsbelastung reagiert werden. Die Freigabezeiten werden nur so weit ausgedehnt, wie zwingend erforderlich. Die Auswirkungen auf andere Verkehrsträger werden minimiert. Die damit ebenfalls einhergehende Verbesserung der Sicherheit ist willkommener Nebeneffekt.

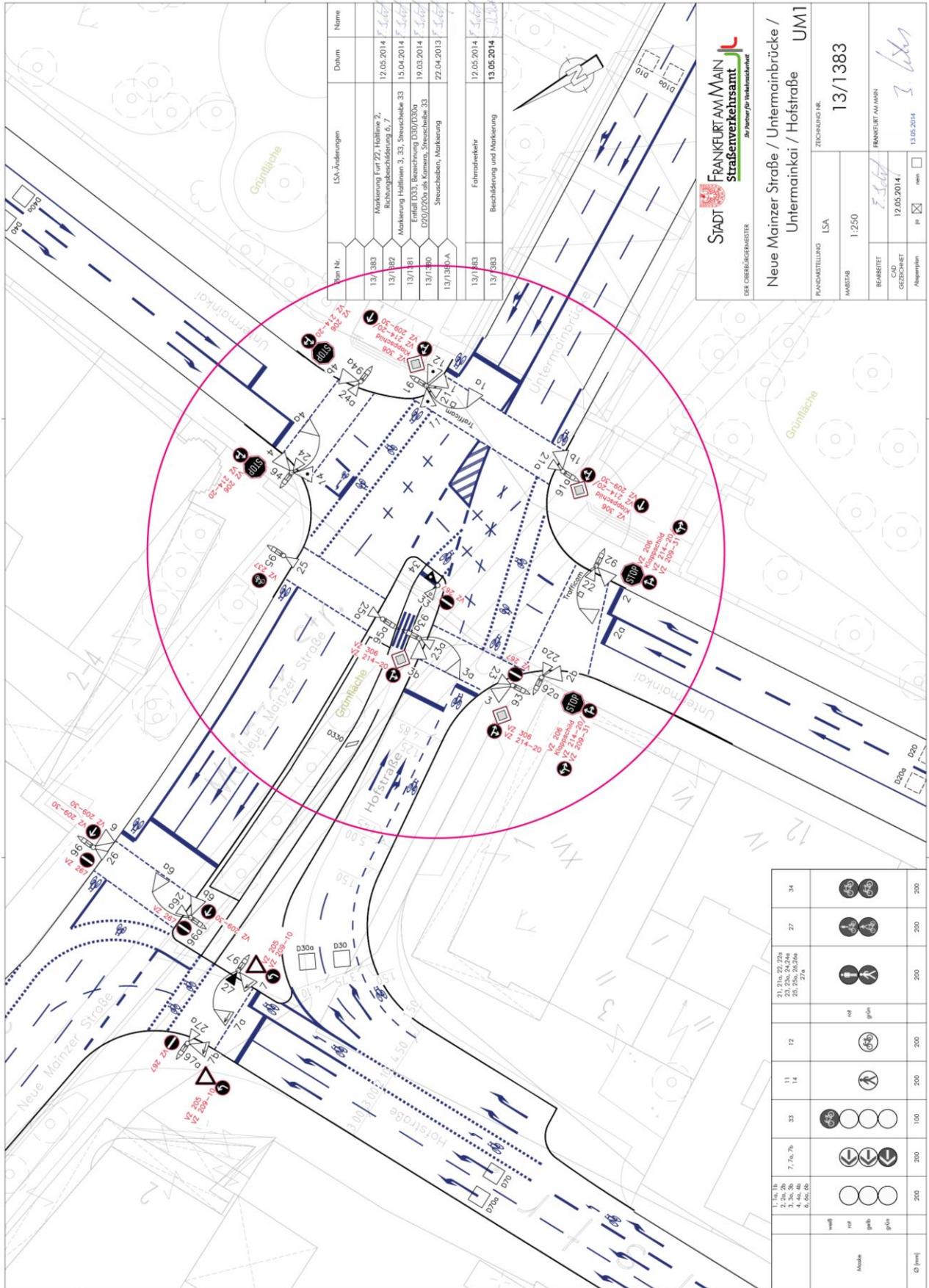
Die verkehrsabhängige Steuerung allein kann negative Effekte auf andere Ströme nur bei moderaten Radverkehrszuwächsen geringhalten. Bei starken bzw. langjährigen, kontinuierlichen Anstiegen sind Kombinationen gestalterischer Maßnahmen wie breitere Warteflächen und RVA sowie betrieblicher Ansätze wie die verkehrsabhängige Steuerung erforderlich, um die Kapazitäten der Straßenräume optimal ausnutzen und negative Auswirkungen soweit wie möglich minimieren zu können.

Quellenverzeichnis

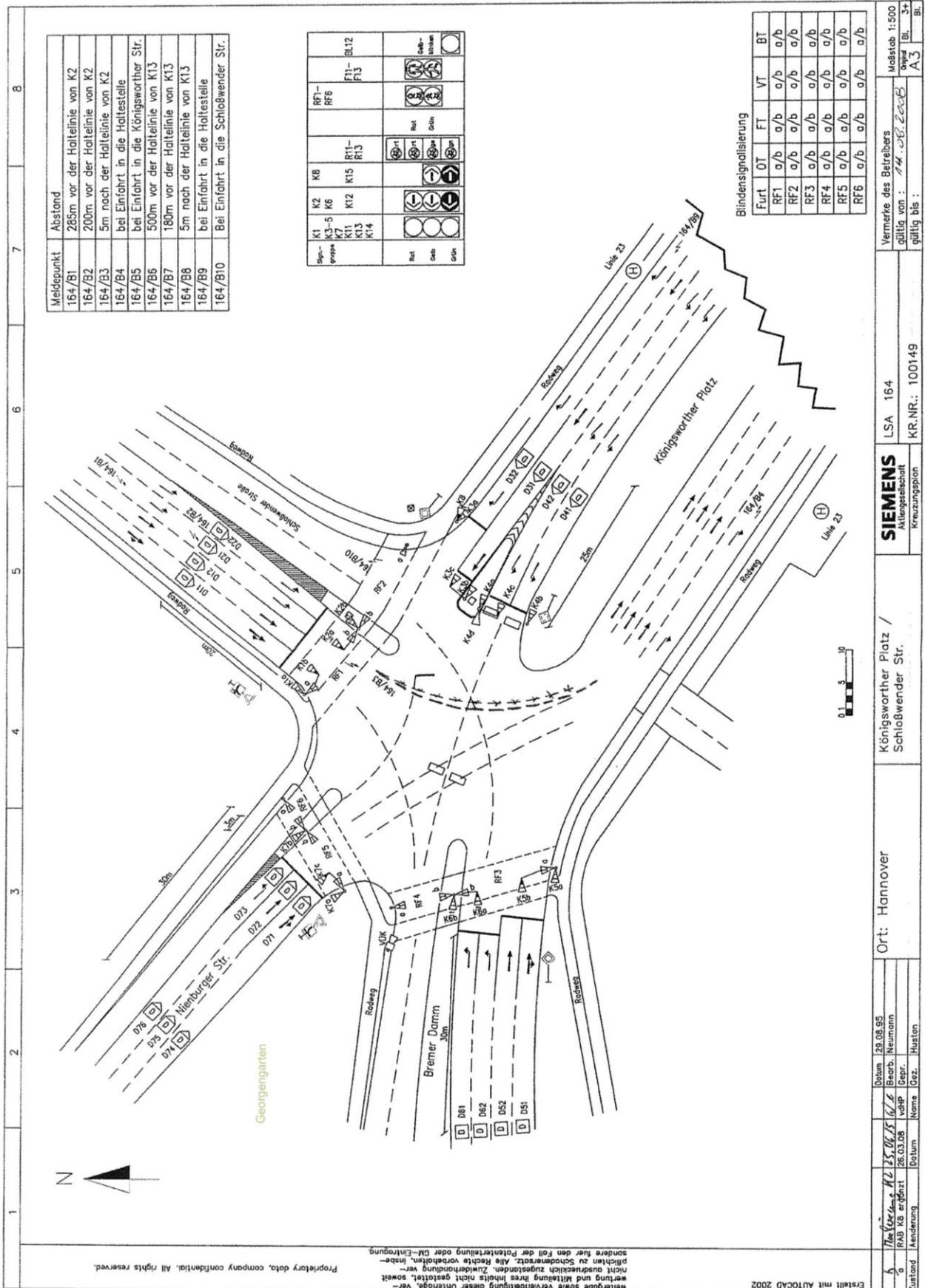
- [1] Stadt Frankfurt am Main (2019): Leben in Frankfurt, Amt für Informations- und Kommunikationstechnik, URL: https://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=stadtfrankfurt_eval01.c.125042.de [Abruf: 17.01.2019]
- [2] Stadt Frankfurt am Main (2019): Verkehr, Amt für Informations- und Kommunikationstechnik, URL: <https://www.frankfurt.de/sixcms/detail.php?id=2814> [Abruf: 17.01.2019]
- [3] TU Dresden (2016): Sonderauswertung zum Forschungsprojekt „Mobilität in Städten - SrV 2013“ Städtevergleich, aktualisierte Version vom 03.03.2016, Tab 11 (a)
- [4] Stadt Frankfurt am Main (2015): Mobilitätsstrategie Frankfurt am Main Statusbericht Juli 2015
- [5] Stadt Frankfurt am Main (2015): Mobilitätsstrategie Frankfurt am Main Statusbericht Juli 2015
- [6] Hannover.de (2018): Der Standort Hannover: Daten & Fakten im Überblick, URL: <https://www.hannover.de/Service/Presse-Medien/Presseservice-Marke%C2%ADting,-Tourismus,-Wirtschaft/Allgemeine-Text%C2%ADte-Hannover-im-%C3%9Cberblick/Der-Standort-Hannover-Daten-Fakten-im-%C3%9Cberblick> [Abruf: 17.01.2019]
- [7] Region Hannover/FB Verkehr (2018): Ergebnisse der Verkehrserhebung „Mobilität in Deutschland 2017“, URL: https://www.hannover.de/content/download/745772/18696101/file/Modal+Split+Hannover_2018.pdf. [Abruf: 17.01.2019]
- [8] Hannover.de (2018): Lust auf Fahrrad, URL: <https://www.hannover.de/Tourismus/Sehenswürdigkeiten-Stadttouren/Hannover-Urlaubsregion/Aktiv-durch-die-Region-Hannover/Radfahren-Hannover-sattelt-auf/Lust-auf-Fahrrad> [Abruf: 17.01.2019]
- [9] Stadt Leipzig (2019): Bevölkerungsbestand Wohnberechtigte Einwohner (Registerdaten), Leipzig, Informationssystem, URL: <https://statistik.leipzig.de/statcity/table.aspx?cat=2&rub=4&per=q> [Abruf: 17.01.2019]
- [10] Deutsche Welle: Leipzig - Stadt im Wandel, URL: <https://www.dw.com/de/leipzig-stadt-im-wandel/av-48005047> [Abruf: 17.01.2019]
- [11] Stadt Leipzig (2015): SrV 2015 Informationen zu Kennziffern der Mobilität für die Stadt Leipzig „Mobilität in Städten - System repräsentativer Verkehrsbefragungen (SrV) 2015“, Dokumentation von Kennziffern der Mobilität für die Stadt Leipzig, Verkehrs- und Tiefbauamt Stadt Leipzig
- [12] Stadt Leipzig (n.a.): Radverkehrsentwicklungsplan 2010 - 2020, URL: <https://www.leipzig.de/umwelt-und-verkehr/verkehrsplanung/radverkehr/> [Abruf: 17.01.2019]
- [13] Stadt Oldenburg (n.a.): Oldenburg in Zahlen, URL: <https://oldenburg.de/startseite/tourist/oldenburg-in-zahlen.html?L=0> [Abruf: 17.01.2019]
- [14] Stadt Oldenburg (n.a.): Verkehr in Oldenburg, URL: <https://www.oldenburg.de/startseite/leben-wohnen/verkehr/fahrradstadt.html> [Abruf: 17.01.2019]
- [15] Stadt Oldenburg (n.a.): Oldenburg erhält Zertifizierung, URL: <https://www.oldenburg.de/startseite/leben-wohnen/verkehr/fahrradstadt/zertifizierung-fahrradfreundliche-kommune.html> [Abruf: 17.01.2019]
- [16] Arbeitsgruppe Straßenentwurf, Empfehlungen für Radverkehrsanlagen (ERA), Ausgabe 2010.

- Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., 2010.
- [17] Kommission Bemessung von Straßenverkehrsanlagen, Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen (HBS), Ausgabe 2015. Köln: Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V., 2015.
- [18] X. Chen and C. Shao, "Operational Impacts of Copenhagen Left as Alternatives to Diagonal Left-Turns of Bicycles at Signalized Intersections," Transp. Res. Board 93rd Annu. Meet., 2014.
- [19] COWI A/S, "Microsimulation of Cyclists in Peak Hour Traffic" [Online]. Webseite: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-uk/references/project-references/cowi-cyclists-in-peak-hour-traffic/> [Abruf: 28.11.2016]
- [20] National Association of City Transportation Officials, "Bike Boxes." [Online]. Webseite: <http://nacto.org/publication/urban-bikeway-design-guide/intersection-treatments/bike-boxes/>. [Abruf: 19.05.2016]
- [21] Kolrep-Rometsch, H.; Leitner, R.; Platho, Ch.; Richter, Th.; Schreiber, A.; Schreiber, M.; Butterwegge, P., Abbiegeunfälle Pkw/Lkw und Fahrrad, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e. V. (Hrsg.), Forschungsbericht Nr. 21, Berlin, 2013
- [22] National Association of City Transportation Officials, "Combined Bike Lane/Turn Lane." [Online]. Webseite: <http://nacto.org/publication/urban-bikeway-design-guide/intersection-treatments/combined-bike-laneturn-lane/>. [Abruf: 19.05.2016]
- [23] M. Colville-Andersen, "The Green Waves of Copenhagen," Copenhagenize.com. [Online]. Webseite: <http://www.copenhagenize.com/2014/08/the-green-waves-of-copenhagen.html>. [Abruf: 20.05.2016]
- [24] National Association of City Transportation Officials, "Signal Detection and Actuation." [Online]. Webseite: <http://nacto.org/publication/urban-bikeway-design-guide/bicycle-signals/signal-detection-and-actuation/>. [Abruf: 19.05.2016].

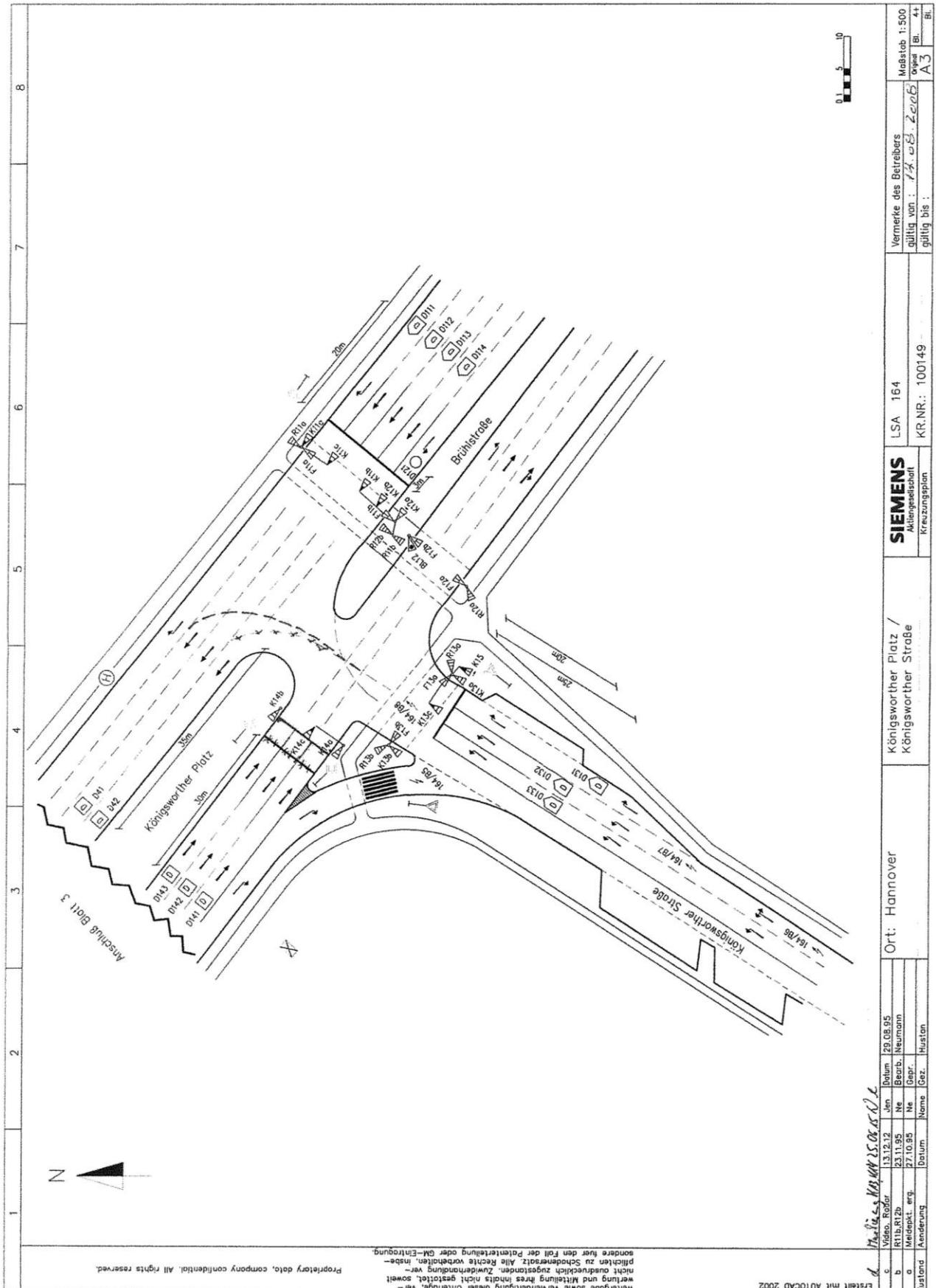
Lageplan Knotenpunkt F4 [Stadt Frankfurt am Main, TU Berlin]



Lageplan Teilknotenpunkt H1 Königsworther Platz / Schloßwender Straße [Stadt Hannover]



Lageplan Teilknotenpunkt H1, Königsworther Platz / Königsworther Straße [Stadt Hannover]



Erstellt mit AUTOCAD 2002
 Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlagen, Ver-
 wertung und Mitteilung ihres Inhalts nicht gestattet, soweit
 nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlung ver-
 pflichtet zu Schadensersatz. Alle Rechte vorbehalten, insbe-
 sondere fuer den Fall der Patenterteilung oder GM-Eintragung.
 Proprietary data, company confidential. All rights reserved.

Zustand	Änderung	Datum	Name	Grz.	Husten
	Neueinst.	27.10.95	He	Übrp.	
D	Änderung	25.11.95	He		
	Verf. Folger	13.12.12	Jem		
c		Datum	29.08.95		
		Bearb.	Neumann		
		He			

Ort: Hannover

Königsworther Platz /
Königsworther Straße

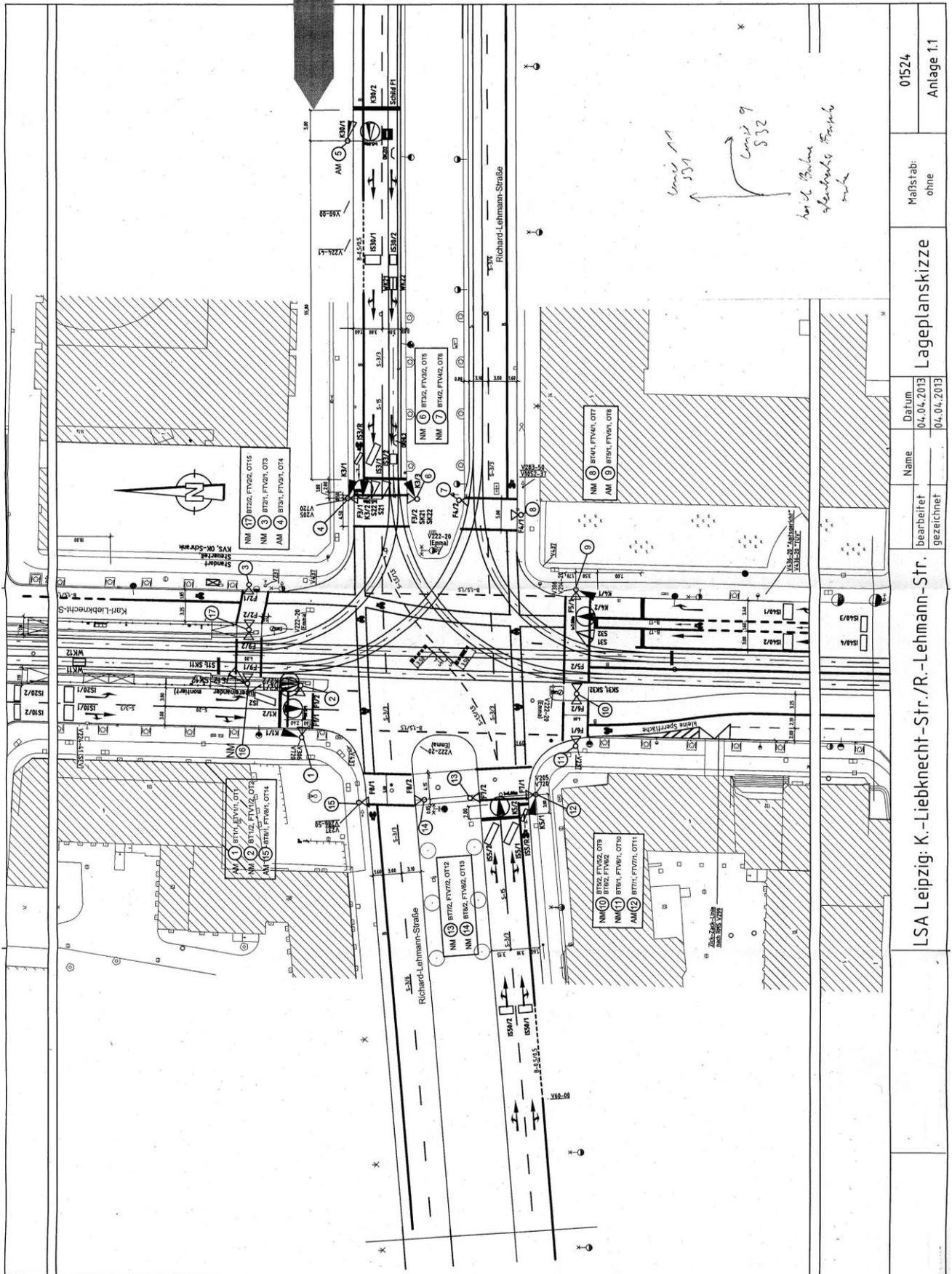
SIEMENS
Aktiengesellschaft

LSA 164
KR.NR.: 100149

Vermerke des Betreibers
gültig von: 17.08.2006
gültig bis:

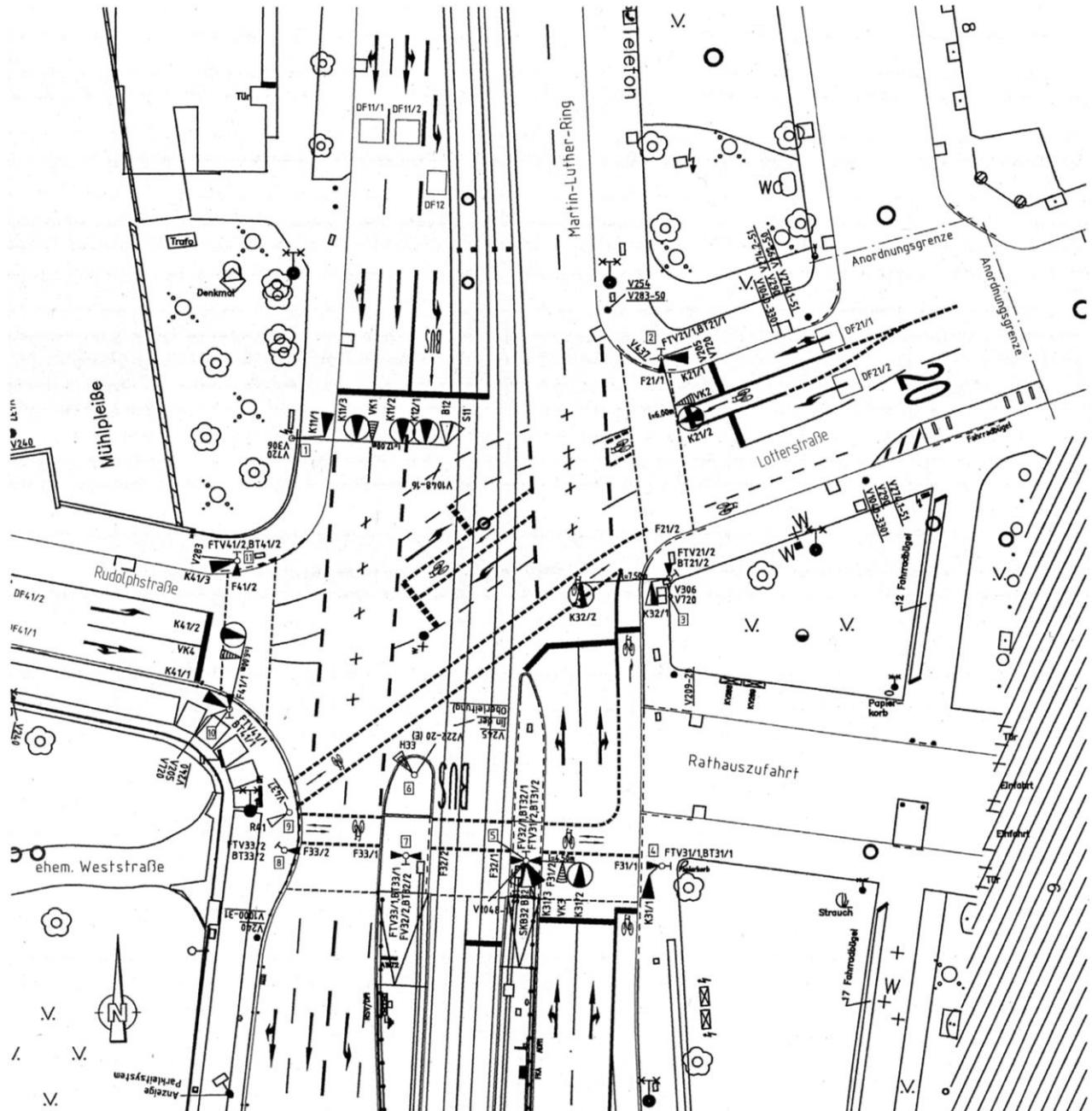
Maßstab 1:500
Original Bl. 4+
A3

Lageplan Knotenpunkt L4 [Stadt Leipzig, Verkehrs- und Tiefbauamt, TU Berlin]

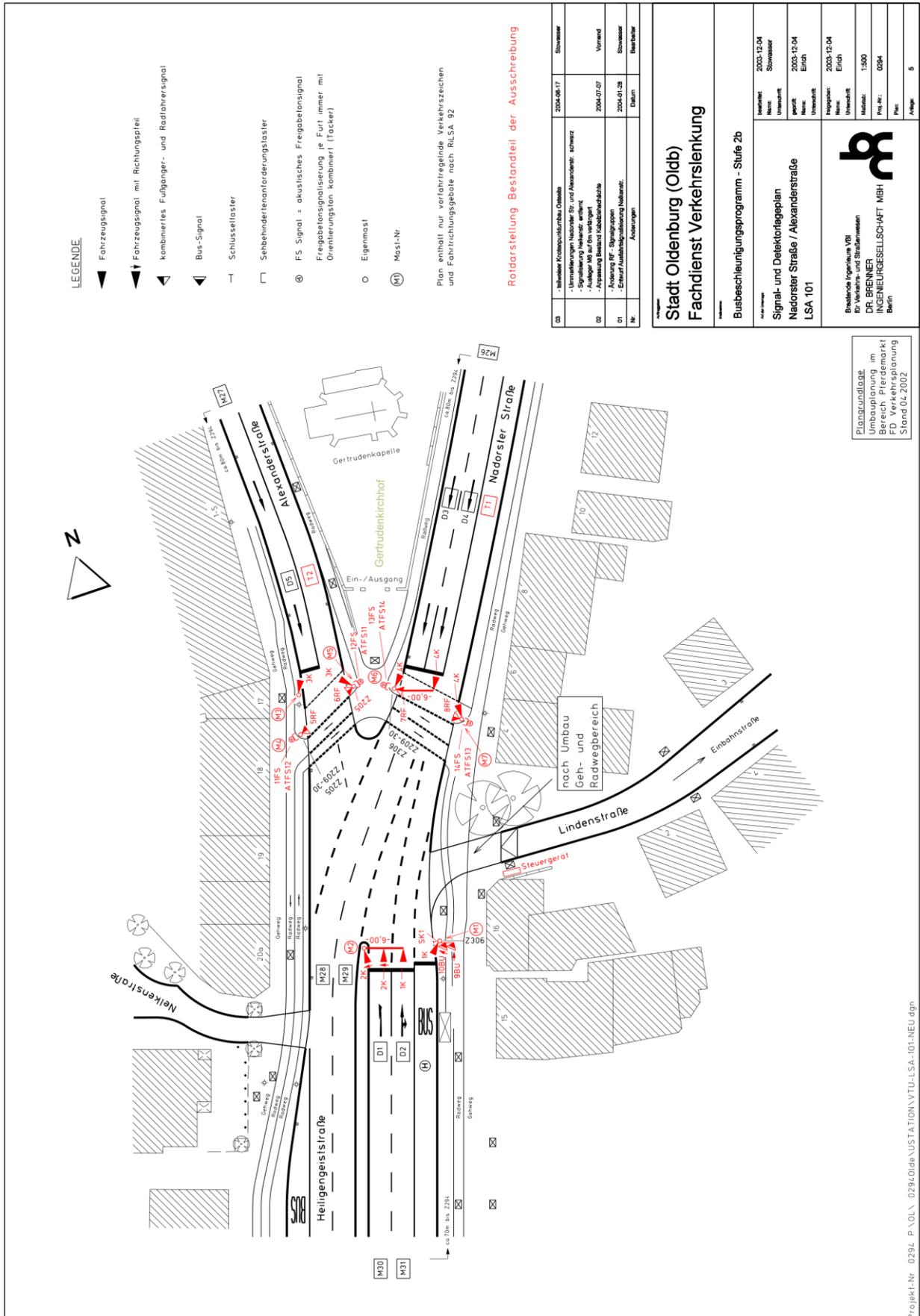


01524	Maßstab: ohne	Lageplanskizze	Datum: 04.04.2013	Name:	01524
Anlage 1.1	ohne		04.04.2013		
bearbeitet		gezeichnet		Name	
LSA Leipzig: K.-Liebknecht-Str./R.-Lehmann-Str.				Datum	

Lageplanausschnitt Knotenpunkt L5 [Stadt Leipzig, Verkehrs- und Tiefbauamt, TU Berlin]

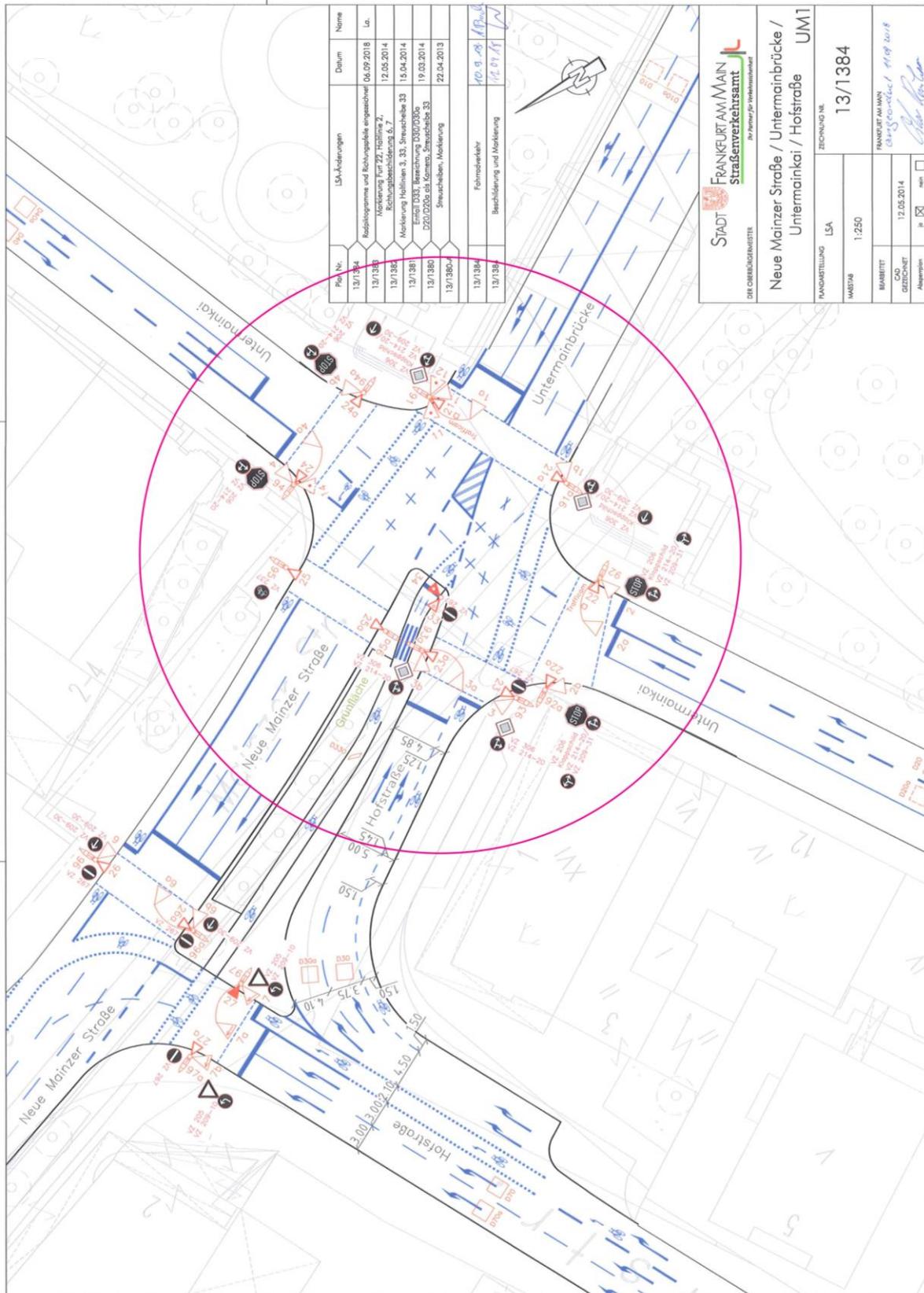


Lageplan Knotenpunkt O3 [Stadt Oldenburg]

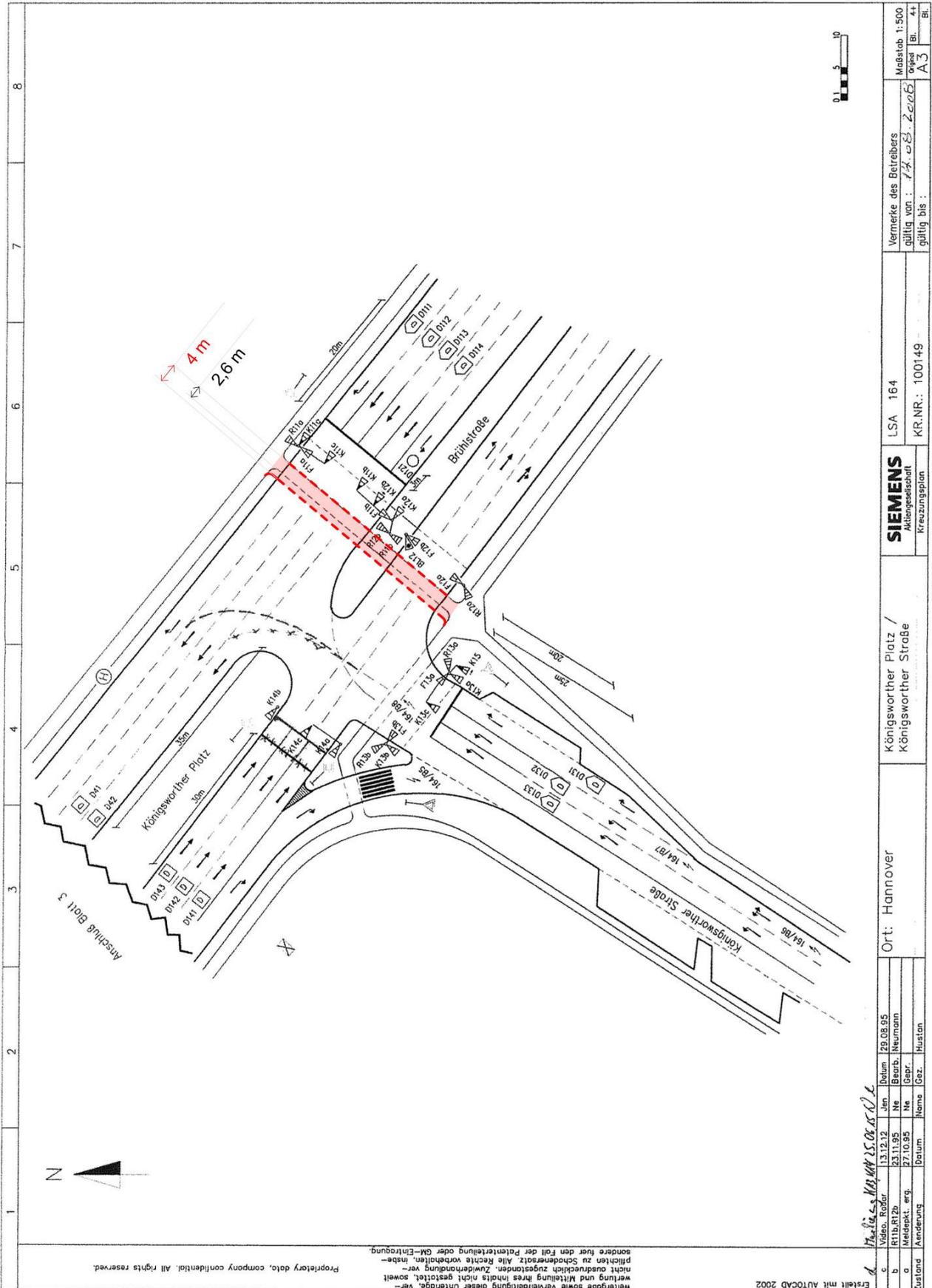


Anhang II- Maßnahmenskizzen der Knotenpunkte

Lageplan F4 mit umgesetzten Maßnahmen [Stadt Frankfurt am Main, TU Berlin]



Maßnahmenskizze südlicher Teilnotenpunkt H1 [Stadt Hannover, TU Berlin]



Erstellt mit AUTOCAD 2002
 Weitergabe sowie Vervielfältigung dieser Unterlage, Ver-
 wertung und Mitteilung ihres Inhalts ist nicht gestattet, soweit
 nicht ausdrücklich zugestanden. Zuwiderhandlung ver-
 pflichtet zu Schadensersatz. Alle Rechte vorbehalten, insbe-
 sondere hier den Fall der Patenterteilung oder GdM-Eintragung.
 Proprietary data, company confidential. All rights reserved.

Zustand	Anderung	Datum	Name	Gez.	Huston
a	Video, Radar	13.12.12	Jim		
b	R11b, R12b	23.11.95	Ne		
c	Weidept. erg.	27.10.95	Ne	Gepr.	
d		29.08.95	Jim		Neumann

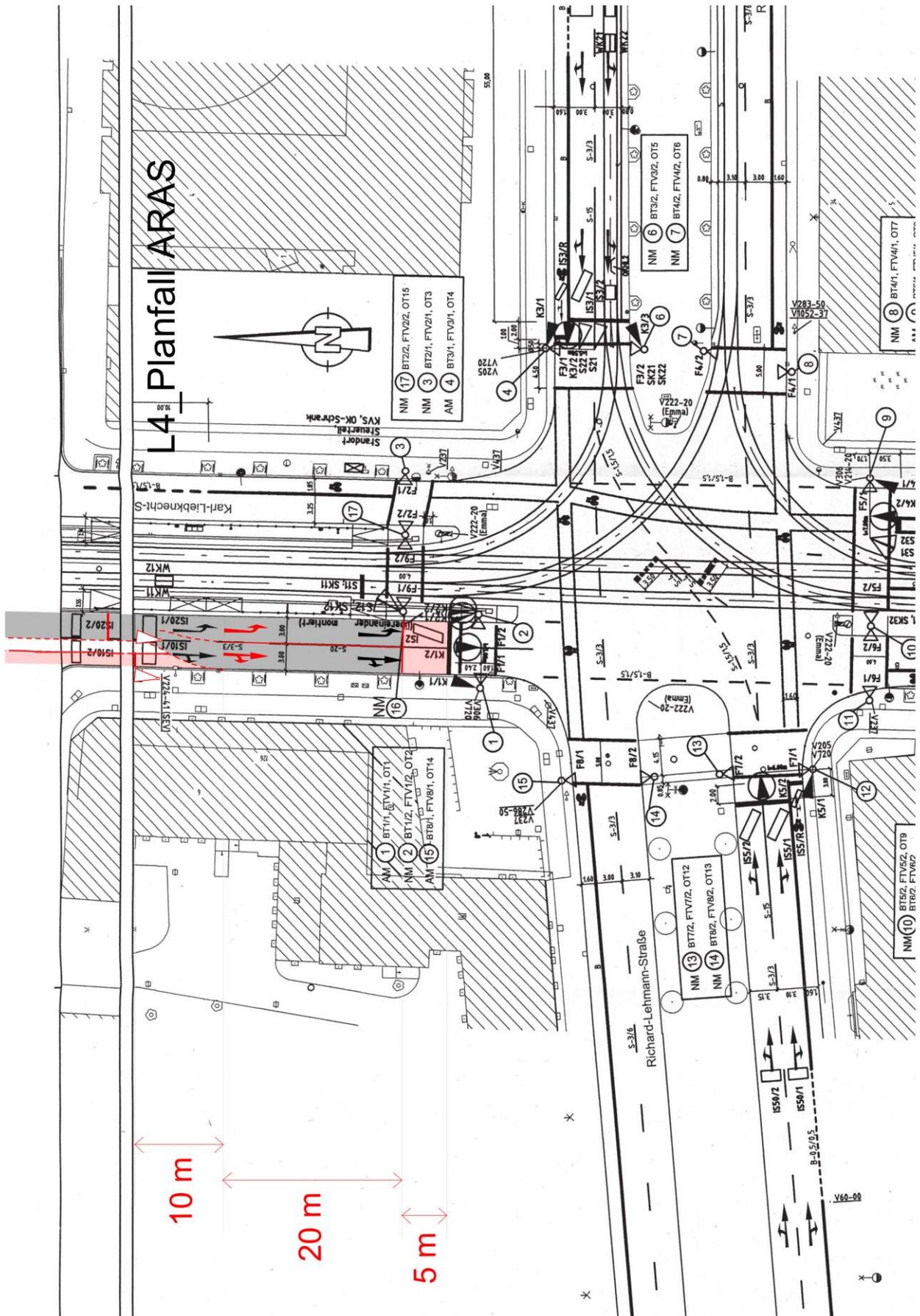
Ort: Hannover
 Königsworther Platz /
 Königsworther Straße

SIEMENS
 Aktiengesellschaft
 Kreuzungsplan

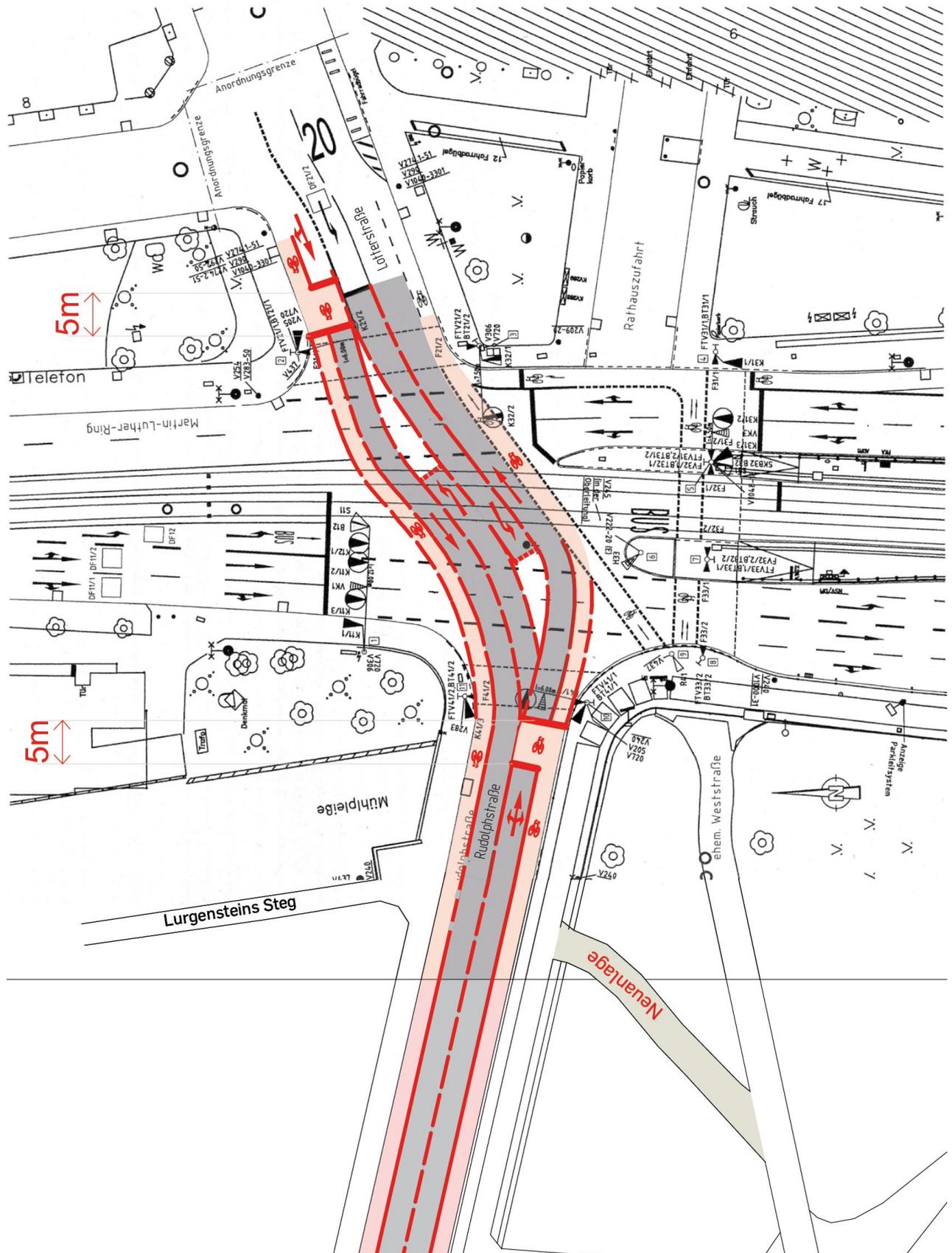
LSA 164
 KR.NR.: 100149

Vermerke des Betreibers
 gültig von : 13.08.2006
 gültig bis :
 Maßstab 1:500
 Format Bl. 4+
 Blatt Bl.

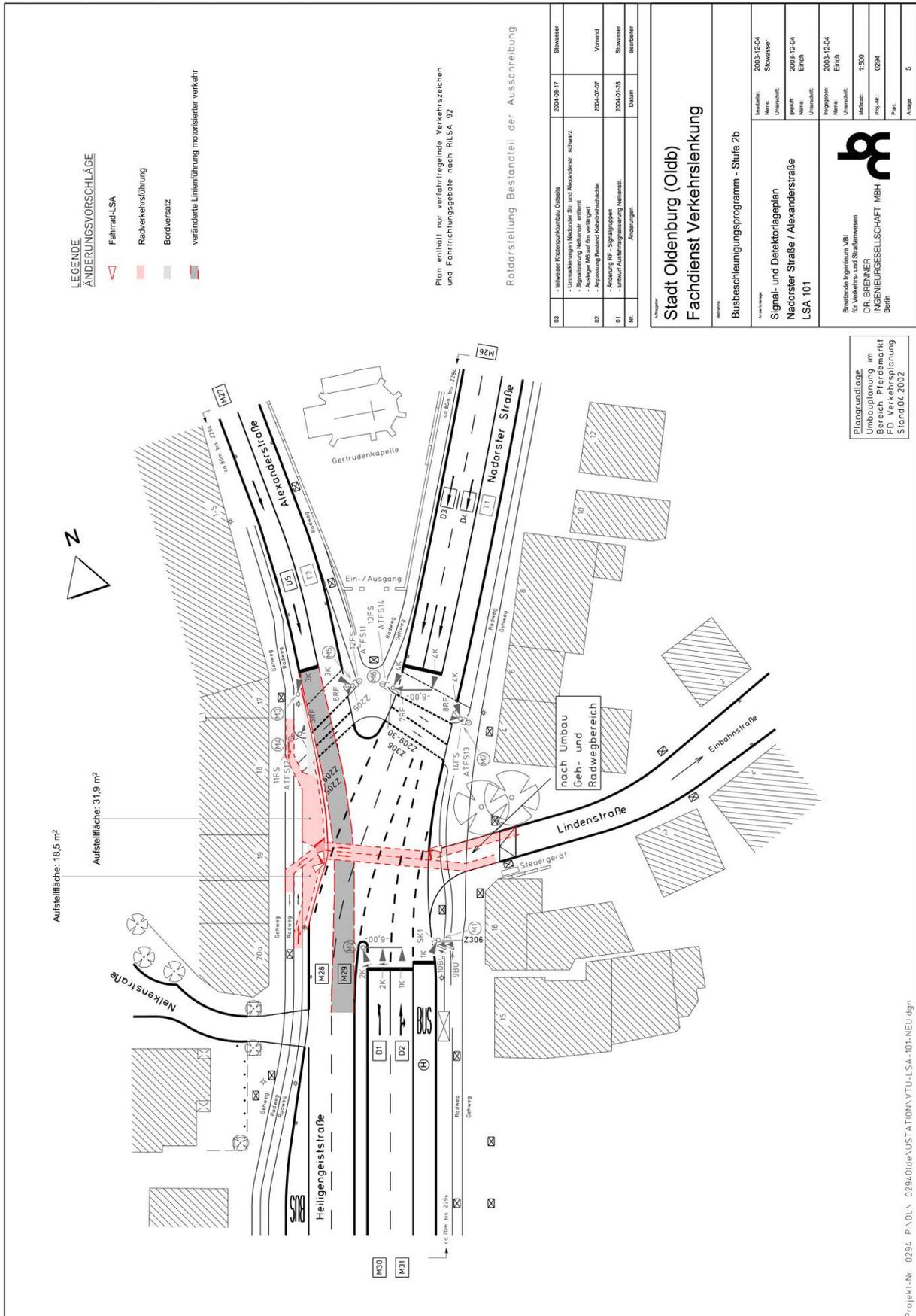
Maßnahmskizze am Knotenpunkt L4 [Stadt Leipzig, TU Berlin]



Maßnahmenskizze am Knotenpunkt L5 [Stadt Leipzig, TU Berlin]



Maßnahmskizze am Knotenpunkt O3 [Stadt Oldenburg, TU Berlin]



Anhang III- Fragebogen

Stadt:	Interviewer:
Knotenpunkte	Datum / Zeit:

FRAGEN ZUM DURCHFARENEN ABSCHNITT (ANMERKUNG: ROTE PUNKTE NICHT VORLESEN!!!)

Frage 1: Wie oft fahren Sie hier?

- täglich bzw. mehrmals wöchentlich einmal die Woche
 seltener als einmal die Woche bisher noch nie

Frage 2: Hab Sie hier am KP Änderungen bemerkt und wenn ja, welche?

- ja, und zwar (Freitext-Antwort)
 + weiter mit Frage 3a
 nein
 + weiter mit Frage 3b

Frage 3a: Wie beurteilen Sie diese Änderung?

Frage 3b: Am KP wurden Aufstellhilfen für Radfahrende im vorderen Haltbereich und zusätzliche Markierungen im umgesetzt. Zudem wurde die Ampelschaltung angepasst. Hat sich dies auf Ihr Empfinden der Radverkehrsqualität (Ihr Verhalten) am Knotenpunkt ausgewirkt?

- positiv, da weniger Zeitverlust
 weniger Halte/besser Fluss
 höherer Komfort (z.B. beim Warten an der Haltlinie)
 höhere Verkehrssicherheit
 weniger Behinderungen durch andere Verkehrsteilnehmer

 Ich habe keine Veränderungen bemerkt.
 negativ, da Lösung ist nicht selbsterklärend

 Lösung von anderen Verkehrsteilnehmern nicht akzeptiert

Frage 4: Haben Sie Anregungen zur weiteren Optimierung der umgesetzten Maßnahme?

- ja, und zwar (Freitext-Antwort)
 nein

Frage 5: Sehen Sie Veränderungen im Verhalten von anderen Verkehrsteilnehmenden am Knotenpunkt?

- ja, und zwar (Freitext-Antwort)
 Verbesserung der Radverkehrsqualität
 Verschlechterung der Radverkehrsqualität
 nein

Frage 6: Haben Sie noch Anmerkungen, die in den vorangegangenen Fragen nicht erfasst wurden?

- ja, und zwar (Freitext-Antwort)
 nein

Frage 7: Geschlecht? (nur vom Interviewer ausfüllen)

- männlich weiblich

Frage 8: Verraten Sie mir Ihr Alter?

- Jahre keine Angabe

Schätzen durch Interviewer (falls keine Angabe)

- bis zu 21 Jahre 22 bis 40 Jahre
 41 bis 65 Jahre 66 und mehr Jahre