

Diplomarbeit

Untersuchungen zum grundhaften Ausbau der S161 zwischen Heeselicht und Dittersbach

eingereicht an der
Fakultät Kraftfahrzeugtechnik der
Westsächsischen Hochschule Zwickau
zur Erlangung des akademischen Grades eines

Diplomingenieurs (FH)

vorgelegt von: cand. Ing. **Schlachte, Maximilian**

Geb. 16.05.1993

Verkehrssystemtechnik
Studienschwerpunkt Verkehrstechnik und -anlagen

Ausgegeben von: Dr.-Ing. habil. Wolfgang Kühn

Erstbetreuer/Zweitbetreuer: Dr.-Ing. habil. Wolfgang Kühn / Dr.-Ing. Andreas Schuster

Auftraggeber: Nievelt Labor GmbH, Deutschland

Betreuer des Auftraggebers: Dipl.-Ing. Robert Elbe

Autorenreferat

Vieler Orts gibt es die Bestrebung den Radverkehr stärker zu fördern. Gerade Ausbaumaßnahmen bestehender Strecken bieten sich an, um über eine Erweiterung des Radwegnetzes in der Region nachzudenken.

Die vorliegende Arbeit „Untersuchungen zum grundhaften Ausbau der S161 zwischen Heeselicht und Dittersbach“ beschäftigt sich mit dem Ausbau einer alten Bestandsstraße und betrachtet dabei die Möglichkeiten zur Realisierung eines Radweges im Zuge des Ausbaus. Dabei werden verschiedene Varianten der Straßentrassierung und Radwegführung diskutiert.

Selbstständigkeitserklärung

Ich versichere, dass ich die Arbeit selbstständig angefertigt und keine anderen als die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder sinngemäß aus anderen Quellen übernommene Textstellen, Bilder, Tabellen u. a. sind unter Angabe der Herkunft kenntlich gemacht.

Weiterhin versichere ich, dass diese Arbeit noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt wurde.

Zwickau, 14.08.2020

Maximilian Schlachte

Inhaltsverzeichnis

I. Verzeichnis der Bilder.....	I
II. Verzeichnis der Tabellen.....	II
III. Verzeichnis der Anlagen.....	III
IV. Verzeichnis der Kurzzeichen.....	IV
1. Einleitung.....	1
2. Analyse der Defizite des Bestands.....	2
2.1. Straßenschäden.....	2
2.2. Veralterte Verkehrsführung.....	2
2.3. Trassierungselemente.....	3
2.4. Verkehrssicherheit.....	3
3. Beschreibung der Maßnahme.....	4
3.1 Ziele der Planung.....	4
3.2 Straßenkategorie nach RIN.....	4
3.3 Entwurfsklasse nach RAL.....	5
3.4 Entwurfparameter der Fahrbahn.....	7
4. Beschreibung der untersuchten Varianten.....	8
4.1 Variantenübersicht.....	8
4.1.1 Variante 1.....	8
4.1.1.1 Variante 1.1.....	8
4.1.1.2 Variante 1.2.....	9
4.1.1.3 Variante 1.3.....	9
4.1.1.4 Variante 1.4.....	10
4.1.2 Variante 2.....	10
4.1.3 Variante 3.....	11
4.1.3.1 Variante 3.1.....	11
4.1.3.2 Variante 3.2.....	11
4.1.3.3 Variante 3.3.....	12
4.1.3.4 Variante 3.4.....	12
4.1.4 Variante 4.....	13
4.2 Auszuschließende Varianten.....	13
4.3 Beurteilung der Varianten.....	14
4.3.1 Verkehrliche Beurteilung.....	14
4.3.1.1 Verkehrliche Beurteilung der Fahrbahntrassierung.....	14
4.3.2.2 Verkehrliche Beurteilung der Radwegführung.....	19
4.3.3. Entwurfs- und sicherheitstechnische Beurteilung.....	23
4.3.3.1 Sicherheitsbeurteilung der Straßenführung.....	23
4.3.3.2 Sicherheitsbeurteilung der Radwegführung.....	25
4.3.3.3 Zusammenfassung der Sicherheitsbeurteilung.....	28
4.3.4 Umweltverträglichkeit.....	28
4.3.4.1 Darstellung der Umweltauswirkungen.....	28
4.3.4.2 Zusammenfassung der Umweltverträglichkeit.....	30
4.3.5. Finanzielle Wirtschaftlichkeit.....	31
4.3.6 Gesamtbewertung der Varianten.....	31
5. Detaillierung der gewählten Linie.....	33
5.1 Knotenpunkte.....	33
5.2 Befestigungsaufbau - Dimensionierung nach RStO 12.....	34
5.3 Minstdicke des frostsicheren Oberbaus.....	37
6. Zusammenfassung.....	39
Literaturverzeichnis.....	41

I. Verzeichnis der Bilder

Bild	Titel	Seite
1	Straßenschäden der S161 im Bestand	6
2	Straßenschäden der S161 im Bestand	6
3	Straßenschäden der S161 im Bestand	6
4	Knotenpunkt S163	6
5	Knotenpunkt Polenztalstraße	6
6	Sichtschatten Bestand	7
7	Graph für Steigungsklasse 2, Kurvigkeitsklasse 1 aus HBS	18
8	Graph für Steigungsklasse 1, Kurvigkeitsklasse 3 aus HBS	18
9	Graph für Steigungsklasse 1, Kurvigkeitsklasse 3 aus HBS	19
10	Sichtschattenband Varianten 1 und 2	23
11	Sichtschattenband Varianten 3 und 4	23
12	Radwegquerung bei Knotenpunkt S163 - Variante 1.1	25
13	Radwegquerung bei Knotenpunkt S163 - Variante 2	25
14	Unfallträchtige Konfliktsituationen bei Zweirichtungsradverkehr an Einmündungen ohne Lichtsignalanlage	26
15	Beispiel für eine Einmündung ohne Lichtsignalanlage, übergeordnete Straße EKL 3/untergeordnete Straße EKL 4	26
16	Schleppkurve Linkseinbieger von der S163	33
17	Schleppkurve Rechtseinbieger von der S163	33
18	Schleppkurve Linkseinbieger von der Polenztalstraße	33
19	Schleppkurve Rechtseinbieger von der Polenztalstraße	33
20	Sichtfeld Knotenpunkt S163	34
21	Sichtfeld Knotenpunkt Polenztalstraße	34
22	Ausschnitt aus der Karte der Frosteinwirkungszonen	38

II. Verzeichnis der Tabellen

Tabelle	Titel	Seite
1	Verbindungsfunktionsstufen gemäß RIN, Tabelle 4	4
2	Entwurfsklassen für Landstraßen gemäß RAL, Tabelle 7	5
3	Anhaltswerte für Abweichung gemäß RAL, Tabelle 8	5
4	Steigungsklasse	15
5	Achsprotokoll der Varianten 1 und 2	16
6	Achsprotokoll der Varianten 3 und 4	17
7	Kurvigkeitsklassen gemäß HBS	17
8	Zuordnung der Kurvigkeitsklassen zu den Teilstrecken	18
9	Zusammenfassung Verkehrsqualität	19
10	Vermeidung von Umwegen	20
11	Halte	21
12	Maximale Länge der Steigungsstrecken bei Rampen gemäß ERA	21
13	Gewichtete Steigungsstrecken	22
14	Gewichtete Steigungsstrecken	22
15	Zusammenfassung verkehrliche Beurteilung	23
16	Achsprotokoll Varianten 1, 2	24
17	Achsprotokoll Varianten 3, 4	24
18	Sicherheit für Straßenführung	24
19	Manuelle Straßenverkehrszählung 2015 - Ergebnisse auf Staatsstraßen	27
20	Sicherheit für den Knotenpunkt mit der S163	27
21	Sicherheit für den Knotenpunkt mit der Polenztalstraße	27
22	Sicherheitsbeurteilung	28
23	Beeinträchtigung von Gewässern	29
24	Beeinträchtigung der Flora	29
25	Flächenversiegelung	30
26	Zusammenfassung Umweltverträglichkeit	30
27	Kostenvergleich	31
28	Variantenvergleich	32

III. Verzeichnis der Anlagen

Anlage	Titel
--------	-------

0 / 1	Übersichtslageplan
1 / 1	Lageplan Variantenuntersuchung – Variante 1.1
1 / 2	Lageplan Variantenuntersuchung – Variante 1.2
1 / 3	Lageplan Variantenuntersuchung – Variante 1.3
1 / 4	Lageplan Variantenuntersuchung – Variante 1.4
1 / 5	Lageplan Variantenuntersuchung – Variante 2
1 / 6	Lageplan Variantenuntersuchung – Variante 3.1
1 / 7	Lageplan Variantenuntersuchung – Variante 3.2
1 / 8	Lageplan Variantenuntersuchung – Variante 3.3
1 / 9	Lageplan Variantenuntersuchung – Variante 3.4
1 / 10	Lageplan Variantenuntersuchung – Variante 4
2 / 1	Höhenplan (Fahrbahn) Variantenuntersuchung – Variante 1
2 / 2	Höhenplan (Fahrbahn) Variantenuntersuchung – Variante 2
2 / 3	Höhenplan (Fahrbahn) Variantenuntersuchung – Varianten 3 und 4
2 / 4	Höhenplan (Radweg) Variantenuntersuchung – Varianten 1.1 und 1.3
2 / 5	Höhenplan (Radweg) Variantenuntersuchung – Varianten 1.2 und 1.4
2 / 6	Höhenplan (Radweg) Variantenuntersuchung – Variante 2
2 / 7	Höhenplan (Radweg) Variantenuntersuchung – Varianten 3.1 und 3.3
2 / 8	Höhenplan (Radweg) Variantenuntersuchung – Varianten 3.2 und 3.4
2 / 9	Höhenplan (Radweg) Variantenuntersuchung – Variante 4
3 / 1	Regelquerschnitt Variantenuntersuchung – Variante 1
3 / 2	Regelquerschnitt Variantenuntersuchung – Variante 2
3 / 3	Regelquerschnitt Variantenuntersuchung – Variante 3
3 / 4	Regelquerschnitt Variantenuntersuchung – Variante 4
4 / 1	Kostenberechnung – Variante 1.1
4 / 2	Kostenberechnung – Variante 1.2
4 / 3	Kostenberechnung – Variante 1.3
4 / 4	Kostenberechnung – Variante 1.4
4 / 5	Kostenberechnung – Variante 2
4 / 6	Kostenberechnung – Variante 3.1
4 / 7	Kostenberechnung – Variante 3.2
4 / 8	Kostenberechnung – Variante 3.3
4 / 9	Kostenberechnung – Variante 3.4
4 / 10	Kostenberechnung – Variante 4
5 / 1	Lageplan Vorzugsvariante (Blatt 1)
5 / 2	Lageplan Vorzugsvariante (Blatt 2)
6 / 1	Formblatt L3-1 – Verkehrsqualität der Varianten 1 und 2
6 / 2	Formblatt L3-1 – Verkehrsqualität der Varianten 3 und 4
7 / 1	Ausschnitt des Baugrundgutachtens
8 / x	Massenberechnung

IV. Verzeichnis der Kurzzeichen

Kurzzeichen	Einheit	Bedeutung
DTV	$\frac{Kfz}{24 h}$	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke
DTV ^(SV)	$\frac{Kfz}{24 h}$	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs
b _{SV}	-	Schwerverkehrsanteil
p	-	mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs
N _H	-	Hochrechnungszeitraum in Jahren
q _B	$\frac{Kfz}{h}$	Bemessungsverkehrsstärke
KU	$\frac{gon}{km}$	Kurvigkeit der Teilstrecke
n	-	Anzahl der Kurven im Lageplan innerhalb der betrachteten Teilstrecke i
γ _j	gon	Winkeländerung im Lageplan innerhalb der Kurve j
L	km	Länge der Teilstrecke
V _F	$\frac{km}{h}$	mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeit
f _i	-	Gewichtungsfaktor
L _i	m	max. Länge der Steigungsstrecke aus ERA, Tabelle 7
B	Aü	Summe der gewichteten äquivalenten 10-t-Achsübergänge im zugrunde gelegten Nutzungszeitraum
N	a	Anzahl der Jahre des zugrunde gelegten Nutzungszeitraumes; in der Regel 30 Jahre
DTA ^(SV)	$\frac{Aü}{24 h}$	Durchschnittliche Anzahl der täglichen Achsübergänge (Aü) des Schwerverkehrs
q _{Bm}	-	Der Straßenklasse zugeordnete mittlere Lastkollektivquotient
f ₁	-	Fahrstreifenfaktor
f ₂	-	Fahrstreifenbreitenfaktor
f ₃	-	Steigungsfaktor
f _z	-	Mittlerer jährlicher Zuwachsfaktor des Schwerverkehrs

1. Einleitung

Im Zuge des Ausbaus der Staatsstraße S161 soll im Bereich zwischen den Ortsteilen Stürza und Heeselicht die Fahrbahn grundhaft ausgebaut werden und ein Konzept für die Radwegführung entlang der Trasse entworfen werden. Dabei ist der südlich gelegene Radweg Napoleonweg mit einzubinden.

Die S161 liegt nordöstlich von Pirna und verbindet die Gemeinden bzw. Ortsteile Heeselicht, Stürza, Dobra und Dürrröhrsdorf – Dittersbach. Die Staatsstraße S161 beginnt am Netzknoten 4950 052 an der S152 und endet am Netzknoten 4949 002 in Eschdorf. Der betrachtete Streckenabschnitt beginnt bei ca. Netzknoten 4950 016 Station 2+800 und endet bei ca. Netzknoten 4950 014 Station 0+360. Die Gesamtlänge beträgt ca. 1.130 m.

Im Laufe der Diplomarbeit werden zunächst die Defizite der Bestandsstrecke analysiert, danach werden die Ausbauvarianten vorgestellt und verglichen. Zum Schluss werden für die Vorzugsvariante noch die Knotenpunkte diskutiert und die Dimensionierung des Oberbaus vorgenommen.

2. Analyse der Defizite des Bestands

Die Defizite der Bestandsstrecke lassen sich in Straßenschäden, veraltete Verkehrsführung, Verkehrssicherheit und defizitäre Trassierungselemente gliedern:

2.1. Straßenschäden

Die Fahrbahn der S161 ist teilweise in schlechtem Zustand: Die Asphaltdecke hat viele Schlaglöcher und die Ränder sind ebenfalls beschädigt (Bild 1 bis 3). Durch die Schäden ist der Fahrkomfort eingeschränkt.



Bild 1, 2, 3 (von links nach rechts): Straßenschäden der S161 im Bestand

2.2. Veraltete Verkehrsführung

Da ein Teil der S161 ein Abschnitt des ehemaligen Deutschlandrings ist, besteht eine undefinierte bzw. irreführende Verkehrsführung für den MIV. Der Deutschlandring war eine Rennstrecke die in den 1930er Jahren betrieben wurde. Die S163 bindet im Bestand spitz auf die S161 auf (Bild 4), genau wie die Polenztalstraße. Weiterhin ist im Bestand der Knotenpunktarm S161 – Polenztalstraße bevorrechtigt (Bild 5).



Bild 4: Knotenpunkt S163



Bild 5: Knotenpunkt Polenztalstraße

Der Radverkehr wird im bestehenden Zustand auf der Fahrbahn geführt. Bei Landstraßen ist dies laut RAL [2] nur bei sehr geringen Schwerverkehrsanteilen und klein dimensionierten Entwurfsklassen wie der EKL 4 zulässig.

2.3. Trassierungselemente

Die Trassierung entspricht nicht mehr den heutigen in der Richtlinie für die Anlage von Landstraßen (RAL [2]) festgelegten Normen. Im Knoten S161 – Polenztalstraße verläuft die S161 in einer Kurve mit einem Radius von unter 200 m. Die Art der beiden Knotenpunkte ist ebenfalls kritisch, da es sehr spitze Aufbindungen gibt, was der Übersicht im Knotenpunktsbereich abträglich ist.

2.4. Verkehrssicherheit

Im derzeitigen Zustand ist durch teilweise geringe Kurvenradien eine erhöhte Unfallgefahr gegeben. Weiterhin sind die spitzen Aufbindungen in den Knotenpunkten ein Hindernis für das sichere Einbiegen.

Anhand einer an den Bestand angenäherten Achse und Gradienten, ist zu erkennen, dass kritische Sichtschatten im Höhenplan auftreten (Bild 6).

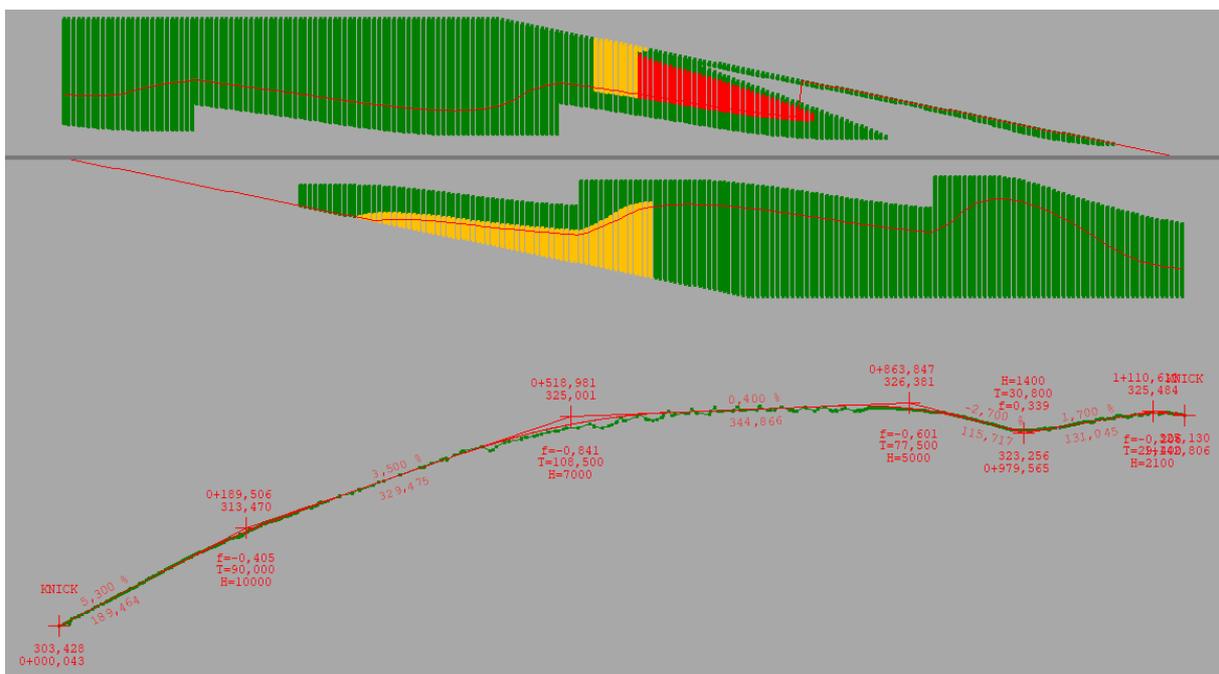


Bild 6: Sichtschatten Bestand

3. Beschreibung der Maßnahme

3.1 Ziele der Planung

Die Führung der S161 soll so angepasst werden, dass sie als übergeordnete Straße im Abschnitt auftritt. Die Trassierung soll nach aktuellen Normen und Sicherheitsstandards erfolgen. Als Angebot für den Radverkehr, soll außerdem ein Radweg parallel zur S161 angelegt werden. Der Bau des Radweges wurde auch auf ein Bürgerbegehren hin in die Planung eingegliedert [6].

3.2 Straßenkategorie nach RIN

Mit Hilfe des Systems der zentralen Orte aus der Richtlinie für die integrierte Netzgestaltung (RIN [1]) wird die Straßenkategorie ermittelt. Die Straßenkategorie lässt sich aus der Kombination aus Verbindungsfunktion und Kategoriegruppe bilden. Die Verbindungsfunktion spiegelt die Verbindungsbedeutung einer Straße wider. Diese Verbindungsbedeutung resultiert aus der Bedeutung der Zentren die verbunden werden. Die RIN [1] unterscheidet Verbindungsfunktionsstufen von 0 bis IV bzw. kontinental bis kleinräumig. Die S161 verbindet mit Heeselicht und Stürza zwei Gemeinden miteinander und lässt sich somit als Verbindungsfunktionsstufe IV, also nahräumige Verbindungsfunktion kategorisieren (Bild 4).

Tabelle 1: Verbindungsfunktionsstufen gemäß RIN, Tabelle 4

Tabelle 4: Verbindungsfunktionsstufen für Verbindungen

Verbindungsfunktionsstufe		Einstufungskriterien		Beschreibung
Stufe	Bezeichnung	Versorgungsfunktion	Austauschfunktion	
0	kontinental	-	MR – MR	Verbindung zwischen Metropolregionen
I	großräumig	OZ – MR	OZ – OZ	Verbindung von Oberzentren zu Metropolregionen und zwischen Oberzentren
II	überregional	MZ – OZ	MZ – MZ	Verbindung von Mittelzentren zu Oberzentren und zwischen Mittelzentren
III	regional	GZ – MZ	GZ – GZ	Verbindung von Grundzentren zu Mittelzentren und zwischen Grundzentren
IV	nahräumig	G – GZ	G – G	Verbindung von Gemeinden/Gemeindeteilen ohne zentralörtliche Funktion zu Grundzentren und Verbindung zwischen Gemeinden/Gemeindeteilen ohne zentralörtliche Funktion
V	kleinräumig	Grst – G	-	Verbindung von Grundstücken zu Gemeinden/Gemeindeteilen ohne zentralörtliche Funktion

MR Metropolregion
 OZ Oberzentrum
 MZ Mittelzentrum, auch innergemeindliches Mittelzentrum
 GZ Grundzentrum, Unter- und Kleinzentren, auch innergemeindliches Grundzentrum
 G Gemeinde/Gemeindeteile ohne zentralörtliche Funktion
 Grst Grundstück
 - nicht vorhanden

Weiterhin ist die S161 in die Kategoriegruppe „Landstraßen“ einzuordnen und hat damit die Straßenkategorie LS IV.

3.3 Entwurfsklasse nach RAL

Die Entwurfsklasse wird laut Richtlinie für die Anlage von Landstraßen (RAL [2]) zunächst anhand der Straßenkategorie bestimmt:

Tabelle 2: Entwurfsklassen für Landstraßen gemäß RAL, Tabelle 7

Tabelle 7: Entwurfsklassen für Landstraßen in Abhängigkeit von der Straßenkategorie

Straßenkategorie	Entwurfsklasse
LS I	EKL 1
LS II	EKL 2
LS III	EKL 3
LS IV	EKL 4

Anhand der Tabelle 2 kann die S161 mit der LS IV der Entwurfsklasse 4 zugeordnet werden. Weiterhin muss jedoch geprüft werden ob eine Aufstufung oder, im Falle einer EKL I oder II, eine Abstufung vorgenommen werden sollte. Diese Abweichung muss vorgenommen werden, wenn Grenzwerte der durchschnittlichen tägliche Verkehrsstärke (DTV) über- bzw. unterschritten werden:

Tabelle 3: Anhaltswerte für Abweichung gemäß RAL, Tabelle 8

Tabelle 8: Anhaltswerte für Abweichungen von der in Tabelle 7 ausgewiesenen Entwurfsklasse

Straßenkategorie	Verkehrsnachfrage auf dem Streckenzug DTV _{Querschnitt} [Kfz/24 h]	
	Prüfung einer niederrangigen EKL	Prüfung einer höherrangigen EKL
LS I	< 12.000	
LS II	< 8.000	> 15.000
LS III		> 13.000
LS IV		> 3.000 ^{*)}

^{*)} höherrangige EKL in der Regel erforderlich (gilt auch für SV > 150 Fz/24 h)

Laut Straßenverkehrszählung 2015 (SVZ 2015) beträgt die DTV 2.800 Kfz/24h. Die S161 liegt damit zwar unter dem kritischen Grenzwert von 3.000 Kfz/24h, allerdings

ist zu beachten, dass ab einer Schwerverkehrsstärke von über 150 Fz/24h ebenfalls eine Aufstufung vorzunehmen ist (Tabelle 3). Der Schwerverkehrsanteil der S161 beträgt 5,7% laut SVZ 2015.

$$DTV_{2015}^{(SV)} = DTV \cdot b_{SV} = 2.800 \frac{\text{Kfz}}{24 \text{ h}} \cdot 0,057 = 159,6 \frac{\text{Kfz}}{24 \text{ h}} \quad (1)$$

$$DTV_{2020}^{(SV)} = DTV \cdot b_{SV} \cdot (1+p)^N = 2.800 \frac{\text{Kfz}}{24 \text{ h}} \cdot 0,057 \cdot (1+0,01)^5 = 167,7 \frac{\text{Kfz}}{24 \text{ h}} \quad (2)$$

Darin bedeutet:

DTV	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke	[Kfz/24h]
$DTV^{(SV)}$	durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs	[Kfz/24h]
b_{SV}	Schwerverkehrsanteil	[-]
p	mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs	[-]
N	Hochrechnungszeitraum in Jahren	[-]

Anhand des SV von 159,6 Kfz/24h (Gleichung 1) ist also ersichtlich, dass eine Aufstufung von der EKL 4 auf die EKL 3 vorzunehmen ist.

Wenn keine aktuellen Werte für die DTV vorliegen kann es sinnvoll sein die DTV auf das betreffende Jahr hochzurechnen (Gleichung 2). Im vorliegenden Fall sind die DTV-Daten aus dem Jahr 2015. Laut BAST (Bundesanstalt für Verkehrswesen) wird die Straßenverkehrszählung 2020 wegen der Covid-19-Pandemie vorerst auf das Jahr 2021 verschoben:

„Aufgrund der Verkehrsbeeinflussung durch die Corona-Pandemie wurde die SVZ auf das Jahr 2021 verschoben.“

(BAST, https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Statistik/Verkehrsdaten/Manuelle-Zaehlung.html, abgerufen 20.08.2020 [9])

Die Hochrechnung in Gleichung 2 erfolgt anhand der mittleren jährlichen Zunahme des Schwerverkehrs basierend auf der Tabelle A 1.6 aus der RStO 12.

Da eine Hochrechnung nur eine Approximation ist, ist die Verlässlichkeit der Daten natürlich fraglich. Es ist in diesem Fall für die Entscheidung ob eine Aufstufung vorzunehmen ist oder nicht jedoch nicht kritisch, da sowohl mit der alten Datenlage von 2015 als auch mit der approximierten Datenlage für das Jahr 2020 eine Aufstufung notwendig ist.

3.4 Entwurfsparameter der Fahrbahn

Der Regelquerschnitt für die EKL 3 ist der RQ 11 mit einer Fahrstreifenbreite von 3,50 m und einem Randstreifen von 0,5 m. Es ist laut RAL [2] möglich bei geringen Schwerverkehrsstärken bis zu 300 Kfz/24h die Fahrstreifenbreite zu reduzieren. Dies wäre im Fall der S161 mit einem SV von bis zu 170 Kfz/24h also denkbar, allerdings weist die Richtlinie im Folgenden darauf hin: *„Bei Ansatz durchschnittlicher Kostensätze ist davon auszugehen, dass bei schmaleren Fahrstreifen als 3,50 m die während der Nutzungsdauer zusätzlich entstehenden Unfallkosten bereits bei sehr geringen Verkehrsstärken die Einsparungen bei den Bau- und Betriebskosten übersteigen.“* (RAL, Fußnote 2) [2]

Die Breite des vorgesehenen Radwegs wird mit 2,50 m definiert, was laut ERA [3] der Minimalbreite für einen einseitigen Zweirichtungsradweg entspricht. Aus Gründen der Reduzierung von Flächenversiegelung und der finanziellen Wirtschaftlichkeit wurde diese Mindestbreite gewählt. Der Radweg ist durch eine Mulde und eine Böschung von der Fahrbahn getrennt.

Die Entwässerung von Radweg und Fahrbahn geschieht über Bankette in die anliegend geplanten Mulden.

4. Beschreibung der untersuchten Varianten

Insgesamt wurden 4 Varianten für den Ausbau der S161 und die Anlage der Radwegführung untersucht. Wobei sich die Varianten 1 und 3 jeweils in 4 Untervarianten aufteilen.

4.1 Variantenübersicht

4.1.1 Variante 1

Die Variante 1 ist in 4 Untervarianten unterteilt: Variante 1.1, 1.2, 1.3 und 1.4. Allen Untervarianten ist gemein, dass die Trasse der S161 einen gestreckten Charakter hat. Dadurch weicht sie relativ stark vom Korridor der Bestandsstrecke ab. Sie ist in Dammlage bzw. geländenah geplant. Bei etwa 0+240 bindet die S163 auf die S161 auf. In diesem Bereich wird auch die nördliche Feuerwehrezufahrt angebunden. Bei etwa 0+950 befindet sich der Knotenpunkt mit der Polenztalstraße. Die Fahrbahn beschreibt von Stürza aus kommend zunächst eine weite Kurve und geht dann in eine längere Gerade über, die beim Knotenpunkt Polenztalstraße in eine enge Kurve geht.

Es werden bei den Untervarianten Radwegführungen nördlich der Trasse mit verschiedenen Querungsmöglichkeiten und Anbindungen an den Napoleonweg untersucht:

4.1.1.1 Variante 1.1

Der Radweg von Variante 1.1 (siehe Lageplan: *Anlage 1 / 1*, Höheplan des Radwegs: *Anlage 2 / 4*) beginnt im Innerortsbereich von Stürza und zweigt dort von der Fahrbahn ab. Sie verläuft zunächst südlich von der S161. Am Knotenpunkt mit der S163 quert der Radweg die Fahrbahn der S161 und wird nördlich weitergeführt. Die Querung geschieht über eine Insel im Knotenpunktsbereich. Bis zum Innerortsbereich von Heeselicht verläuft der Radweg parallel zur Fahrbahn der S161. Hier befindet sich eine Insel über die die Radfahrer die Fahrbahn queren können. Auf der gegenüberliegenden Straßenseite befindet sich eine Aufstellfläche, von der aus

sich die Radfahrer in den Straßenverkehr eingliedern können. Am Knotenpunkt Polenztalstraße wird der Napoleonweg angebunden. Der Napoleonweg quert dafür die Fahrbahn der S161 über eine Insel im Knotenpunktsbereich.

4.1.1.2 Variante 1.2

Der Radweg von Variante 1.2 (siehe Lageplan: *Anlage 1 / 2*, Höheplan des Radwegs: *Anlage 2 / 5*) beginnt im Innerortsbereich von Stürza auf einem Feldweg nördlich der Trasse. Sie verläuft zunächst parallel entlang des Stürzaer Bachs und quert diesen nach ca. 70 m mittels eines Brückenbauwerks. Bis zum Innerortsbereich von Heeselicht verläuft der Radweg parallel zur Fahrbahn der S161. Am Ortseingang Heeselicht befindet sich eine Insel über die die Radfahrer die Fahrbahn queren können. Auf der gegenüberliegenden Straßenseite befindet sich eine Aufstellfläche, von der aus sich die Radfahrer in den Straßenverkehr eingliedern können. Am Knotenpunkt Polenztalstraße wird der Napoleonweg angebunden. Der Napoleonweg quert dafür die Fahrbahn der S161 über eine Insel im Knotenpunktsbereich.

4.1.1.3 Variante 1.3

Variante 1.3 (siehe Lageplan: *Anlage 1 / 3*, Höheplan des Radwegs: *Anlage 2 / 4*) hat bezüglich des Hauptradwegs die gleiche Führung wie Variante 1.1: Der Radweg beginnt im Innerortsbereich von Stürza und zweigt dort von der Fahrbahn ab. Er verläuft zunächst südlich von der S161. Am Knotenpunkt mit der S163 quert der Radweg die Fahrbahn der S161 und wird nördlich weitergeführt. Die Querung geschieht über eine Insel im Knotenpunktsbereich. Bis zum Innerortsbereich von Heeselicht verläuft der Radweg parallel zur Fahrbahn der S161. Hier befindet sich eine Insel über die die Radfahrer die Fahrbahn queren können.

Der Napoleonweg bindet in dieser Variante nicht direkt beim Knotenpunkt Polenztalstraße auf den Hauptradweg auf, sondern quert die Polenztalstraße und verläuft bis zum Ortseingang Heeselicht parallel zur S161. An der Insel am Ortseingang geschieht die Querung zum Hauptradweg bzw. die Anbindung ans Straßennetz.

4.1.1.4 Variante 1.4

Variante 1.4 (siehe Lageplan: *Anlage 1 / 4*, Höheplan des Radwegs: *Anlage 2 / 5*) hat bezüglich des Hauptradwegs die gleiche Führung wie Variante 1.2: Der Radweg beginnt im Innerortsbereich von Stürza auf einem Feldweg nördlich der Trasse. Sie verläuft zunächst parallel entlang des Stürzaer Bachs und quert diesen nach ca. 70 m mittels eines Brückenbauwerks. Bis zum Innerortsbereich von Heeselicht verläuft der Radweg parallel zur Fahrbahn der S161. Am Ortseingang Heeselicht befindet sich eine Insel über die die Radfahrer die Fahrbahn queren können.

Der Napoleonweg bindet in dieser Variante nicht direkt beim Knotenpunkt Polenztalstraße auf den Hauptradweg auf, sondern quert die Polenztalstraße und verläuft bis zum Ortseingang Heeselicht parallel zur S161. An der Insel am Ortseingang geschieht die Querung zum Hauptradweg bzw. die Anbindung ans Straßennetz.

4.1.2 Variante 2

Die Trasse der Fahrbahn für Variante 2 (siehe Lageplan: *Anlage 1 / 5*, Höheplan der Fahrbahn: *Anlage 2 / 2*) gleicht der von Variante 1: Die Trasse der S161 hat einen gestreckten Charakter. Dadurch weicht sie relativ stark vom Korridor der Bestandsstrecke ab. Sie ist in Dammlage bzw. geländenah geplant. Bei etwa 0+240 bindet die S163 auf die S161 auf. In diesem Bereich wird auch die nördliche Feuerwehrezufahrt angebunden. Bei etwa 0+950 befindet sich der Knotenpunkt mit der Polenztalstraße. Die Fahrbahn beschreibt von Stürza aus kommend zunächst eine weite Kurve und geht dann in eine längere Gerade über, die beim Knotenpunkt Polenztalstraße in eine enge Kurve geht.

Die Radwegführung (siehe Höheplan des Radwegs: *Anlage 2 / 6*) erfolgt durchgehend südlich von der S161. Der Radweg beginnt im Innerortsbereich von Stürza und zweigt dort von der Fahrbahn ab. Er quert die S163 verläuft dann weiter parallel zur S161 bis zum Knotenpunkt Polenztalstraße. Hier quert der Radweg die Polenztalstraße und verläuft dann weiter bis zum Ortseingang Heeselicht. Nördlich der Fahrbahn befindet sich ein Aufstellbereich für Radfahrer die von Heeselicht aus kommen. Von diesem Bereich aus können die Radfahrer die S161 über die Insel queren.

4.1.3 Variante 3

Die Variante 3 ist wie die Variante 1 in 4 Untervarianten unterteilt: Variante 3.1, 3.2, 3.3 und 3.4. Die Trasse der S161 verläuft in allen 4 Varianten geschwungen, wodurch es möglich ist den vorhandenen Korridor der Bestandsstrecke mehr zu nutzen. Die Trasse ist in Einschnittslage geplant. Bei etwa 0+240 bindet die S163 auf die S161 auf. In diesem Bereich wird auch die nördliche Feuerwehrezufahrt angebunden. Bei etwa 0+960 befindet sich der Knotenpunkt mit der Polenztalstraße. Die Fahrbahn beschreibt von Stürza aus kommend zunächst eine weite Kurve, worauf Kurven mit stetig abnehmenden Radien folgen.

Es werden bei den Untervarianten Radwegführungen nördlich der Trasse mit verschiedenen Querungsmöglichkeiten und Anbindungen an den Napoleonweg untersucht:

4.1.3.1 Variante 3.1

Der Radweg von Variante 3.1 (siehe Lageplan: *Anlage 1 / 6*, Höheplan des Radwegs: *Anlage 2 / 7*) beginnt im Innerortsbereich von Stürza und zweigt dort von der Fahrbahn ab. Sie verläuft zunächst südlich von der S161. Am Knotenpunkt mit der S163 quert der Radweg die Fahrbahn der S161 und wird nördlich weitergeführt. Die Querung geschieht über eine Insel im Knotenpunktsbereich. Bis zum Innerortsbereich von Heeselicht verläuft der Radweg parallel zur Fahrbahn der S161. Hier befindet sich eine Insel über die die Radfahrer die Fahrbahn queren können. Auf der gegenüberliegenden Straßenseite befindet sich eine Aufstellfläche, von der aus sich die Radfahrer in den Straßenverkehr eingliedern können. Am Knotenpunkt Polenztalstraße wird der Napoleonweg angebunden. Der Napoleonweg quert dafür die Fahrbahn der S161 über eine Insel im Knotenpunktsbereich.

4.1.3.2 Variante 3.2

Der Radweg von Variante 3.2 (siehe Lageplan: *Anlage 1 / 7*, Höheplan des Radwegs: *Anlage 2 / 8*) beginnt im Innerortsbereich von Stürza auf einem Feldweg nördlich der Trasse. Sie verläuft zunächst parallel entlang des Stürzaer Bachs und quert diesen nach ca. 70 m mittels eines Brückenbauwerks. Bis zum Innerortsbereich von

Heeselicht verläuft der Radweg parallel zur Fahrbahn der S161. Am Ortseingang Heeselicht befindet sich eine Insel über die die Radfahrer die Fahrbahn queren können. Auf der gegenüberliegenden Straßenseite befindet sich eine Aufstellfläche, von der aus sich die Radfahrer in den Straßenverkehr eingliedern können. Am Knotenpunkt Polenztalstraße wird der Napoleonweg angebunden. Der Napoleonweg quert dafür die Fahrbahn der S161 über eine Insel im Knotenpunktsbereich.

4.1.3.3 Variante 3.3

Variante 3.3 (siehe Lageplan: *Anlage 1 / 8*, Höheplan des Radwegs: *Anlage 2 / 7*) hat bezüglich des Hauptradwegs die gleiche Führung wie Variante 3.1: Der Radweg beginnt im Innerortsbereich von Stürza und zweigt dort von der Fahrbahn ab. Er verläuft zunächst südlich von der S161. Am Knotenpunkt mit der S163 quert der Radweg die Fahrbahn der S161 und wird nördlich weitergeführt. Die Querung geschieht über eine Insel im Knotenpunktsbereich. Bis zum Innerortsbereich von Heeselicht verläuft der Radweg parallel zur Fahrbahn der S161. Hier befindet sich eine Insel über die die Radfahrer die Fahrbahn queren können.

Der Napoleonweg bindet in dieser Variante nicht direkt beim Knotenpunkt Polenztalstraße auf den Hauptradweg auf, sondern quert die Polenztalstraße und verläuft bis zum Ortseingang Heeselicht parallel zur S161. An der Insel am Ortseingang geschieht die Querung zum Hauptradweg bzw. die Anbindung ans Straßennetz.

4.1.3.4 Variante 3.4

Variante 1.4 (siehe Lageplan: *Anlage 1 / 4*, Höheplan des Radwegs: *Anlage 2 / 5*) hat bezüglich des Hauptradwegs die gleiche Führung wie Variante 3.2: Der Radweg beginnt im Innerortsbereich von Stürza auf einem Feldweg nördlich der Trasse. Sie verläuft zunächst parallel entlang des Stürzaer Bachs und quert diesen nach ca. 70 m mittels eines Brückenbauwerks. Bis zum Innerortsbereich von Heeselicht verläuft der Radweg parallel zur Fahrbahn der S161. Am Ortseingang Heeselicht befindet sich eine Insel über die die Radfahrer die Fahrbahn queren können.

Der Napoleonweg bindet in dieser Variante nicht direkt beim Knotenpunkt Polenztalstraße auf den Hauptradweg auf, sondern quert die Polenztalstraße und

verläuft bis zum Ortseingang Heeselicht parallel zur S161. An der Insel am Ortseingang geschieht die Querung zum Hauptradweg bzw. die Anbindung ans Straßennetz.

4.1.4 Variante 4

Die Fahrbahn der S161 verläuft bei der Variante 4 wie auch bei der Variante 3 geschwungen, wodurch es möglich ist den vorhandenen Korridor der Bestandsstrecke mehr zu nutzen. Die Trasse ist in Einschnittslage geplant. Bei etwa 0+240 bindet die S163 auf die S161 auf. In diesem Bereich wird auch die nördliche Feuerwehrezufahrt angebunden. Bei etwa 0+960 befindet sich der Knotenpunkt mit der Polenztalstraße. Die Fahrbahn beschreibt von Stürza aus kommend zunächst eine weite Kurve, worauf Kurven mit stetig abnehmenden Radien folgen.

Die Radwegführung erfolgt durchgehend südlich von der S161. Der Radweg beginnt im Innerortsbereich von Stürza und zweigt dort von der Fahrbahn ab. Er quert die S163 verläuft dann weiter parallel zur S161 bis zum Knotenpunkt Polenztalstraße. Hier quert der Radweg die Polenztalstraße und verläuft dann weiter bis zum Ortseingang Heeselicht. Nördlich der Fahrbahn befindet sich ein Aufstellbereich für Radfahrer die von Heeselicht aus kommen. Von diesem Bereich aus können die Radfahrer die S161 über die Insel queren.

4.2 Auszuschließende Varianten

Auszuschließen ist eine geländenahe, geschwungene Variante, da es hier durch das anliegende Gelände zu mehr verdeckten Kurvenbeginnen bzw. kritischen Sichtschatten kommt als im Bestand. Diese Variante wäre unsicherer als die Bestandsvariante und kommt damit nicht in Frage.

Eine Variante bei der der Radverkehr auf der Straße geführt wird ist ebenfalls auszuschließen, da laut Straßenverkehrszählung 2015 die DTV der S161 bei 2.800 Kfz/24h liegt. In der ERA [3] wird der Grenzwert für die Führung des Radverkehrs auf der Fahrbahn mit 2.500 Kfz/24h oder weniger definiert (Tabelle 19: Entwurfsklassen nach den RAL [2] und Radverkehrsführung an Landstraßen).

4.3 Beurteilung der Varianten

Um eine Vorzugsvariante zu ermitteln werden die Varianten anhand der folgenden Entwurfskriterien verglichen:

- Verkehrliche Beurteilung
- Entwurfs- und sicherheitstechnische Beurteilung
- Umweltverträglichkeit
- Wirtschaftlichkeit

In jedem Kriterium wird jeder Variante eine Bewertung auf einer Skala von 1 bis 10 zugeordnet. Wobei 1 die unwirtschaftlichste Variante in der Kategorie und eine 10 die wirtschaftlichste Variante in der Kategorie ist. Anschließend werden die Bewertungen zu einer Gesamtbewertung addiert. Die Variante mit der höchsten durchschnittlichen Bewertung ist als Vorzugsvariante zu wählen.

4.3.1 Verkehrliche Beurteilung

Die verkehrliche Beurteilung wird unterteilt in die Beurteilung der Fahrbahntrassierung und die Beurteilung der Radwegführung. Beide Kriterien gehen zu gleichen Anteilen in die Gesamtwertung ein.

4.3.1.1 Verkehrliche Beurteilung der Fahrbahntrassierung

Die Neugestaltung der S161 soll eine definiertere Führung der S161 schaffen, als auch eine Radverkehrsverbindung zwischen Stürza und Heeselicht mit Anbindung an den Napoleonweg realisieren.

Die ehemalige Rennstrecke S163 wurde als untergeordnete Straße klar durch die Anbindung im Knotenpunkt verdeutlicht, wodurch Verkehrsteilnehmer sie gut zuordnen können. Die Varianten 1 und 2 unterscheiden sich zwar in ihrer Trassierung im Lageplan von den Varianten 3 und 4, sie erfüllen aber beide das vorgegebene Ziel. In diesem Zusammenhang sei an dieser Stelle die Verkehrsqualität für die freie Strecke nachgewiesen.

Für den Nachweis der Verkehrsqualität ist die Bemessungsverkehrsstärke q_B entscheidend. Diese lässt sich laut HBS [5] 2 – 7 aus der DTV ableiten: Für zweistreifige Außerortsstraßen lautet die Umrechnungsformel wie in Gleichung 3 zu sehen.

$$q_B = 0,10 \cdot DTV \quad (3)$$

Laut Straßenverkehrszählung 2015 beträgt die DTV auf der S161 2.800 Kfz/h. Somit ergibt sich das Ergebnis von Gleichung 4.

$$q_B = 0,10 \cdot 2.800 \text{ Kfz/24h} = 280 \text{ Kfz/h} \quad (4)$$

Die geplanten Trassen werden jetzt in Teilstrecken unterteilt, wobei diese Teilstrecken laut HBS [5] in Abschnitte mit Längsneigungen von -3% bis 3% und Abschnitte mit Längsneigungen kleiner als -3% und größer als 3% zu unterscheiden sind. Untersucht wird der Außerortsbereich der Trassen, der sich von 0+061 bis 1+057 bei den Varianten 1 und 2 und von 0+061 bis 1+050 bei den Varianten 3 und 4 erstreckt. Diesen Abschnitten wird dann eine Steigungsklasse zugeordnet. Die Steigungsklassen sind im HBS [5] festgelegt und basieren auf der durchschnittlichen, nach Abschnittslänge gewichteten Längsneigung und der Länge der Teilstrecke. Folgende Teilstrecken ergeben sich:

Tabelle 4: Steigungsklasse

Varianten 1, 2	Anfang	Ende	Länge	Steigung	Steigungsklasse
Teilstrecke 1	0+061	0+229	168 m	5,00 %	–
	0+229	0+549	320 m	4,00 %	–
Gesamt:	0+061	0+549	488 m	4,34 %	2
<hr/>					
Teilstrecke 2	0+549	0+959	410 m	-1,00 %	–
	0+959	1+050	91 m	1,20 %	–
Gesamt:	0+549	1+050	501 m	1,04 %	1
<hr/>					
Varianten 3, 4	Anfang	Ende	Länge	Steigung	Steigungsklasse
Teilstrecke 1	0+061	0+125	64 m	5,50 %	–
Gesamt:	0+061	0+125	64 m	5,50 %	2
<hr/>					
Teilstrecke 2	0+125	0+553	428 m	1,00 %	–
	0+553	1+057	504 m	2,30 %	–
Gesamt:	0+125	1+057	932 m	1,70 %	1

Die Teilstrecke 1 der Varianten 3 und 4 hat eine Länge von 64 m, was diese laut HBS [5] für die Bewertung der Verkehrsqualität disqualifiziert. Im Folgenden wird nur Teilstrecke 2 für diese Varianten berücksichtigt.

Zur Bestimmung der Verkehrsqualität ist weiterhin die Kurvigkeit der Teilstrecken notwendig. Die Kurvigkeit ist laut HBS [5] „die Summe der Absolutbeträge der Winkeländerung des Teilabschnitts bezogen auf seine Länge“ (HBS 2001 5 – 8). So lässt sich die Kurvigkeit für die Teilstrecken nach Gleichung 5 ermitteln.

Tabelle 5: Achsprotokoll der Varianten 1 und 2

Nr.	Typ	Station	Länge	Radius	Parameter	Richtung
1	G	0,00	23,19			88,82
2	A	23,19	61,25	0,00	175,00	88,82
3	R	84,44	138,35	500,00		92,72
4	A	222,79	61,25	500,00	-175,00	110,33
5	G	284,04	521,24			114,23
6	A	805,27	33,33	0,00	100,00	114,23
7	R	838,61	254,58	-300,00		110,69
8	A	1093,19	33,33	-300,00	-100,00	56,67
9	G	1126,52	11,89			53,13
10	E	1138,42	0,00			53,13

$$KU = \frac{\sum_{j=1}^n |\gamma_j|}{L} \quad (5)$$

Darin bedeutet:

KU	Kurvigkeit der Teilstrecke	[gon/km]
n	Anzahl der Kurven im Lageplan innerhalb der betrachteten Teilstrecke i	[-]
γ_j	Winkeländerung im Lageplan innerhalb der Kurve j	[gon]
L	Länge der Teilstrecke	[km]

Steigungsbereiche die nicht in Gänze innerhalb der Teilstrecken liegen, werden anteilmäßig berücksichtigt (siehe Gleichungen 6, 7 und 8).

$$KU_{TS1} = \frac{\frac{(92,72 - 88,82) \cdot (84,44 - 61,00)}{84,44 - 23,19} + 110,33 - 92,72 + 114,23 - 110,33}{488 \cdot 0,001} = 47,14 \quad (6)$$

$$KU_{TS2} = \frac{|110,33 - 114,23| + \frac{|56,67 - 110,69| \cdot (1093,19 - 838,61)}{1093,19 - 838,61}}{501 \cdot 0,001} = 100,48 \quad (7)$$

Tabelle 6: Achsprotokoll der Varianten 3 und 4

Nr.	Typ	Station	Länge	Radius	Parameter	Richtung
1	G	0,00	23,05			88,82
2	A	23,05	61,25	0,00	175,00	88,82
3	R	84,30	161,12	500,00		92,72
4	A	245,41	61,25	500,00	-175,00	113,23
5	A	306,66	39,06	0,00	125,00	117,13
6	R	345,73	87,29	-400,00		114,02
7	A	433,02	39,06	-400,00	-125,00	100,13
8	A	472,08	44,64	0,00	125,00	97,02
9	R	516,72	121,30	350,00		101,08
10	A	638,03	44,64	350,00	-125,00	123,14
11	G	682,67	68,42			127,20
12	A	751,09	33,33	0,00	100,00	127,20
13	R	784,42	315,72	-300,00		123,67
14	A	1100,14	33,33	-300,00	-100,00	56,67
15	G	1133,47	11,94			53,13
16	E	1145,41	0,00			53,13

$$\begin{aligned}
 KU_{TS2} = & \frac{(113,23 - 92,72) \cdot (245,41 - 125,00)}{245,41 - 84,30} + 117,13 - 113,23 + |97,02 - 117,13| + 127,20 \\
 & \frac{(1050 - 125) \cdot 0,001}{(1050 - 125) \cdot 0,001} \quad (8) \\
 & - 97,02 + |123,67 - 127,20| + \frac{|56,67 - 123,67| \cdot (1050 - 784,42)}{1100,14 - 784,42} \\
 & \frac{}{(1050 - 125) \cdot 0,001} = 139,90
 \end{aligned}$$

Den so ermittelten Kurvigkeitswerten lässt sich nach HBS [5] eine Kurvigkeitsklasse zuordnen (Tabelle 7 und 8).

Tabelle 7: Kurvigkeitsklassen gemäß HBS

Kurvigkeit KU [gon/km]	Kurvigkeitsklasse
$KU \leq 50$	1
$50 < KU \leq 100$	2
$100 < KU \leq 150$	3
$KU > 150$	4

Tabelle 8: Zuordnung der Kurvigkeitsklassen zu den Teilstrecken

Teilstrecken - Varianten 1, 2	KU [gon/km]	Kurvigkeitsklasse
Teilstrecke 1	47,14	1
Teilstrecke 2	100,48	3

Teilstrecken - Varianten 3, 4	KU [gon/km]	Kurvigkeitsklasse
Teilstrecke 2	139,90	3

Aus der Kombination von Steigungsklasse, Kurvigkeitsklasse und Bemessungsverkehrsstärke lässt sich die mittlere Pkw-Fahrgeschwindigkeit V_F ermitteln. Anhand der Höhe der V_F wird die Verkehrsqualität bestimmt.

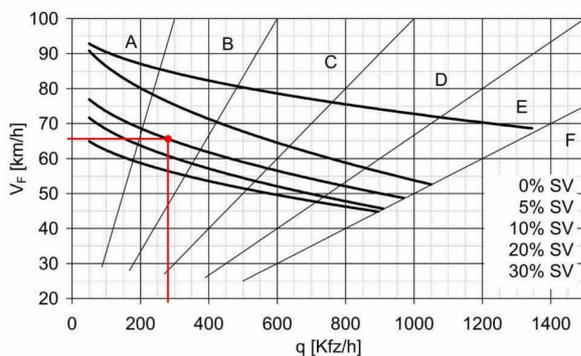


Bild 7: Graph für Steigungsklasse 2, Kurvigkeitsklasse 1 aus HBS

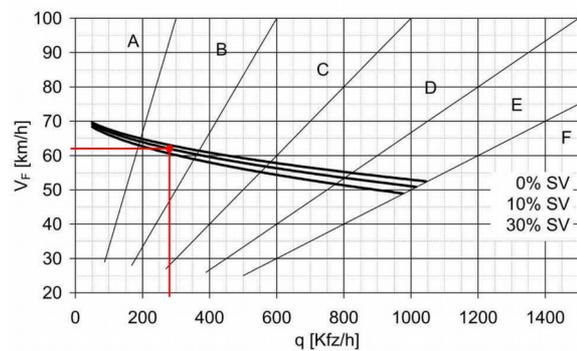


Bild 8: Graph für Steigungsklasse 1, Kurvigkeitsklasse 3 aus HBS

Für die Varianten 1 und 2 gelten die Diagramme aus Bild 7 und 8. Bei einer q_B 280 Kfz/h und einem SV-Anteil von 5,7 % beträgt die V_F für Teilstrecke 1 65,5 km/h (siehe Bild 7), was einer Qualitätsstufe B entspricht. Für Teilstrecke 2 ergeben sich 62 km/h, was ebenfalls einer Qualitätsstufe B entspricht (siehe Bild 8).

Damit ergibt sich eine mittlere Pkw-Fahrtgeschwindigkeit für die Gesamtstrecke von 63,75 km/h (siehe *Anlage 6 / 1: Formblatt L3-1*).

Die Kurvigkeitsklasse 3 und die Steigungsklasse 1 der Varianten 3 und 4 wird in Bild 9 dargestellt.

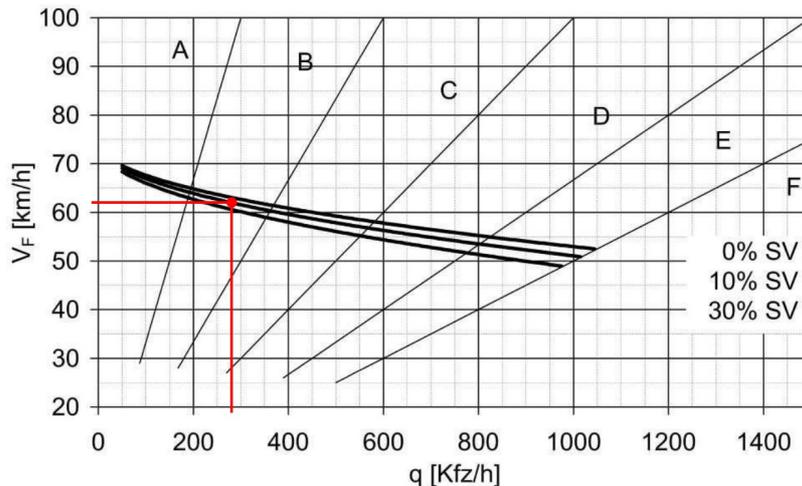


Bild 9: Graph für Steigungsklasse 1, Kurvigkeitsklasse 3 aus HBS

Bei einer q_B 280 Kfz/h und einem SV-Anteil von 5,7 % beträgt die V_F für Teilstrecke 2 62 km/h, was einer Qualitätsstufe B entspricht (siehe Anlage 6 / 2: Formblatt L3-1).

Zusammenfassung Verkehrsqualität der offenen Strecke

Sowohl die Varianten 1 und 2, als auch die Varianten 3 und 4 erreichen die Qualitätsstufe B. Allerdings ist bei der Variante 1 und 2 eine höhere durchschnittliche Geschwindigkeit mit 63,75 km/h möglich. Im Vergleich dazu erreichen die Varianten 3 und 4 62 km/h, bedingt durch die kurvenreiche Strecke. Unter diesem Gesichtspunkt sind die Varianten 1 und 2 zu bevorzugen. Allerdings ist der Unterschied so niedrig, dass sich eine klare Kategorisierung nur schwer definieren lässt:

Tabelle 9: Zusammenfassung Verkehrsqualität

Variante		1.x	2	3.x	4
Verkehrsqualität	V_F	63,75	63,75	62	62
	Verhältnis	1	1	0,97	0,97

4.3.2.2 Verkehrliche Beurteilung der Radwegführung

Die Radwegführung lässt sich stärker unterscheiden als die Führung der Fahrbahn. Die Bewertung geschieht basierend auf den Kriterien Minimierung von Umwegen,

Minimierung vermeidbarer Steigungen und Minimierung unnötiger Halte. Diese Kriterien wurden der Tabelle 4 der ERA [3] entnommen.

Minimierung von Umwegen

Die Varianten 1.3, 1.4, 3.3 und 3.4 vermeiden Querungen im Knotenpunkt Polenztalstraße, zwingen dadurch allerdings den Radfahrer der Richtung Stürza fahren möchte, zuerst Richtung Heeselicht zu fahren, am dortigen Ortseingang zu queren und dann den nördlichen Radweg zurückzufahren. Die anderen Varianten lassen eine Anbindung auf kurzem Wege für den Napoleonweg zu und ermöglichen eine freie Richtungswahl ohne Umwege in Kauf nehmen zu müssen. In dieser Hinsicht sind die Varianten zu bevorzugen, die den Napoleonweg direkt am Knotenpunkt Polenztalstraße anbinden bzw. queren und anbinden. Dies gilt für die Varianten 1.1, 1.2, 2, 3.1, 3.2 und 4. Die Radwege in den Varianten 3 und 4 sind durch die geschwungene Führung auch etwas länger als die vergleichbaren Varianten 1 und 2, allerdings ist dieser Längenunterschied von maximal 25 m so gering, dass er zu vernachlässigen ist. In der Tabelle 10 ist jeder Variante eine Wertung zugeordnet, welche anschließend in einen Verhältniswert umgerechnet wird.

Tabelle 10: Vermeidung von Umwegen

Variante	1.1	1.2	1.3	1.4	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
<i>Vermeidung von Umwegen</i>	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2
<i>Verhältnis</i>	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00

Minimierung unnötiger Halte

Die Varianten 1.2, 1.4, 3.2 und 3.4 vermeiden bei Knotenpunkt S163 eine Querung und damit Halte. Die Varianten 1.1, 1.3, 3.1 und 3.3 haben jeweils mindestens einen Halt um die S161 bei dem Knotenpunkt mit der S163 zu queren. Die Varianten 3 und 4 sehen jeweils 2 Halte vor; um die S163 und die S161 zu queren. Betrachtet man zusätzlich die Anbindung des Napoleonwegs kommen jedoch alle Varianten bis auf die Varianten 1.2, 1.4, 3.2 und 3.4 auf zwei Halte. Die Varianten 1.2, 1.4, 3.2 und 3.4 machen einen Halt notwendig um vom Napoleonweg auf den Hauptradweg zu gelangen. Daraus ergibt sich die in Tabelle 11 abgebildete Wertung der Varianten.

Tabelle 11: Halte

Variante	1.1	1.2	1.3	1.4	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Halte	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2
Verhältnis	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50

Minimierung vermeidbarer Steigungen

Die in Tabelle 12 abgebildeten Längen für Steigungsstrecken können auch von wenig geübten Radfahrern befahren werden.

Tabelle 12: Maximale Länge der Steigungsstrecken bei Rampen gemäß ERA

Steigung [%]	max. Länge der Steigungsstrecke [m]
10	20
6	65
5	120
4	250
3	> 250

Durch die Geländelage ist die Einhaltung dieser Grenzwerte in keiner Variante vollumfänglich gegeben, allerdings kann sich der Grad der Überschreitung dieser Grenzwerte zwischen den Varianten unterscheiden. Kritisch ist hier vor allem der Bereich zwischen 0+000 und etwa 0+330, da in diesem Bereich die größten Steigungen zu überwinden sind. Auf der restlichen Strecke liegen die Steigungen des Radwegs bei allen Varianten entweder bei unter 3 % oder die maximale Länge der Steigungsstrecken wird eingehalten.

Als Bewertungsmaßstab werden die Steigungsstrecken der Varianten für die einzelnen Steigungen akkumuliert. Anschließend werden die so ermittelten Strecken mit einem Gewichtungsfaktor multipliziert und die Ergebnisse zu einem Wert zusammenaddiert (Ergebnisse in Tabelle 13).

$$f_i = \frac{250 \text{ m}}{L_i} \rightarrow f_{10\%} = \frac{250 \text{ m}}{L_{10\%}} = \frac{250 \text{ m}}{20 \text{ m}} = 12,5 \quad f_{6\%} = \frac{250 \text{ m}}{L_{6\%}} = \frac{250 \text{ m}}{65 \text{ m}} = 3,8 \quad \dots \quad (9)$$

Darin bedeutet:

- f_i Gewichtungsfaktor
- L_i max. Länge der Steigungsstrecke aus ERA, Tabelle 7

Anschließend wird den jeweiligen Variante eine Wertung zugeordnet, wobei 1 für die Variante mit den meisten gewichteten Steigungsstrecken steht. Die Wertung jeder Variante wird dann mit der maximal erreichten Wertung ins Verhältnis gesetzt, wodurch eine Bewertung auf einer Skala von 0 bis 1 für jede Variante entsteht.

Es ist zu beachten, dass es sich hierbei nicht um ein normiertes Bewertungsverfahren handelt. Es ist lediglich der Versuch einer detaillierteren Differenzierung der Varianten.

Tabelle 13: Gewichtete Steigungsstrecken

Variante	Steigungsstrecken [m]				Ergebnis		
	10 % $f_{10\%} = 12,5$	6 % $f_6\% = 3,8$	5 % $f_5\% = 2,1$	4 % $f_4\% = 1,0$	Wert	Wertung	Verhältnis
1.1	0,0	96,0	90,7	124,3	679,57	4	0,67
1.2	18,5	121,1	50,0	81,5	877,93	1	0,17
1.3	0,0	96,0	90,7	124,3	679,57	4	0,67
1.4	18,5	121,1	50,0	81,5	877,93	1	0,17
2	0,0	40,4	143,4	116,5	571,16	5	0,83
3.1	0,0	60,9	157,8	0,0	562,80	6	1,00
3.2	18,5	113,0	68,9	0,0	805,34	2	0,33
3.3	0,0	60,9	157,8	0,0	562,80	6	1,00
3.4	18,5	113,0	68,9	0,0	805,34	2	0,33
4	0,0	197,6	0,0	0,0	750,88	3	0,50

Die Unterkriterien werden zusammengefasst, wodurch eine Bewertung für die Radwegführung entsteht:

Tabelle 14: Gewichtete Steigungsstrecken

Variante	1.1	1.2	1.3	1.4	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
<i>Minimierung von Umwegen</i>	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00	1,00	1,00	0,50	0,50	1,00
<i>Minimierung von Steigungen</i>	0,67	0,17	0,67	0,17	0,83	1,00	0,33	1,00	0,33	0,50
<i>Minimierung unnötiger Halte</i>	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	1,00	0,50	0,50
<i>Durchschnitt</i>	0,72	0,72	0,56	0,56	0,77	1,00	0,61	0,83	0,44	0,66

Die geeignetsten Varianten für die Radwegführung sind in der verkehrlichen Beurteilung die Varianten 1.2 und 3.2.

4.3.2.3 Zusammenfassung der verkehrlichen Beurteilung

Die Kombination aus verkehrlicher Beurteilung der Straßentrassierung und der Radwegführung resultiert in dem Gesamtergebnis für die verkehrliche Beurteilung im Allgemeinen:

Tabelle 15: Zusammenfassung verkehrliche Beurteilung

Variante	1.1	1.2	1.3	1.4	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
<i>Straßentrassierung</i>	1	1	1	1	1	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
<i>Radwegführung</i>	0,72	0,72	0,56	0,56	0,77	1,00	0,61	0,83	0,44	0,66
<i>Durchschnitt</i>	0,86	0,86	0,78	0,78	0,89	0,99	0,79	0,90	0,71	0,82

In der verkehrlichen Beurteilung erreichen die Varianten 1.2 und 3.2 die besten Bewertungen. Die Varianten 3.1 und 2 haben jedoch nur unwesentlich niedrigere Bewertungen. Die niedrigsten Bewertungen erreichen die Varianten 1.4 und 3.4.

4.3.3. Entwurfs- und sicherheitstechnische Beurteilung

4.3.3.1 Sicherheitsbeurteilung der Straßenführung

Die Verkehrssicherheit der Varianten wurde anhand des Sichtschattenbands überprüft. Die Trassenführung der S161 ist in den Varianten 1 und 2 gleich: Es gibt keine kritischen Sichtschatten und keine verdeckten Kurvenbeginne auf der Trasse (Bild 10).

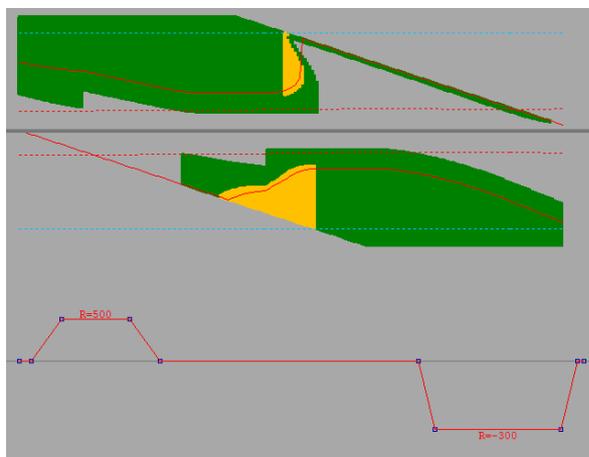


Bild 10: Sichtschattenband Varianten 1 und 2

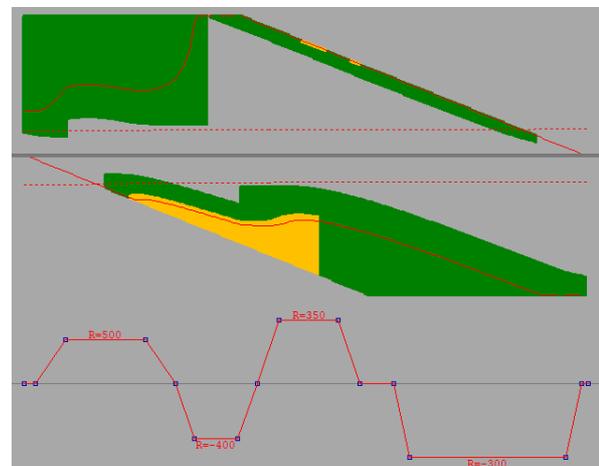


Bild 11: Sichtschattenband Varianten 3 und 4

Die Führung der S161 in den Varianten 3 und 4 weist ebenfalls keine kritischen Sichtschatten und keine verdeckten Kurvenbeginne auf (Bild 11).

Aus Richtung Stürza kommend könnte es dazu kommen, dass bei den Varianten 1 und 2 (Tabelle 16) der Fahrer den Minimalradius von 300 m beim Knotenpunkt Polenztalstraße unterschätzt, da vorher der Radius von 500 m am Ortsausgang Stürza durchfahren wurde. Zwischen den beiden Kurven befindet sich eine lange Gerade, die eine Beschleunigung auf eine hohe Geschwindigkeit zulässt.

Bei den Varianten 3 und 4 kann durch die geschwungene Führung (Tabelle 17) keine zu große Geschwindigkeit aufgebaut werden. Die Radien von Stürza aus kommend nehmen langsam ab, was die Anforderungen an den Fahrer langsam anpasst.

Tabelle 16: Achsprotokoll Varianten 1, 2

Nr.	Typ	Station	Radius
1	G	0,00	
2	A	23,19	0,00
3	R	84,44	500,00
4	A	222,79	500,00
5	G	284,04	
6	A	805,27	0,00
7	R	838,61	-300,00
8	A	1093,19	-300,00
9	G	1126,52	
10	E	1138,42	

Tabelle 17: Achsprotokoll Varianten 3, 4

Nr.	Typ	Station	Radius
1	G	0,00	
2	A	23,05	0,00
3	R	84,30	500,00
4	A	245,41	500,00
5	A	306,66	0,00
6	R	345,73	-400,00
7	A	433,02	-400,00
8	A	472,08	0,00
9	R	516,72	350,00
10	A	638,03	350,00
11	G	682,67	
12	A	751,09	0,00
13	R	784,42	-300,00
14	A	1100,14	-300,00
15	G	1133,47	
16	E	1145,41	

Angesichts des homogeneren Kurvenverlaufes der Varianten 3 und 4 sind diese in der Sicherheitsbeurteilung zu bevorzugen.

Tabelle 18: Sicherheit für Straßenführung

Variante	1.1	1.2	1.3	1.4	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Wertung	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2

4.3.3.2 Sicherheitsbeurteilung der Radwegführung

Die sicherheitskritischen Punkte bei der Radwegführung sind die Querungen mit der Fahrbahn.

Da die Varianten 1.2, 1.4, 3.2 und 3.4 an diesem Knoten nicht kreuzen sind sie die sichersten Varianten, da es zu keinen Konflikten zwischen den verschiedenen Verkehrsmitteln kommt.

Bei den Varianten 1.1, 1.3, 3.1 und 3.3 findet die Querung beim Knotenpunkt S163 bei 0+200 über eine Insel auf der S161 statt.

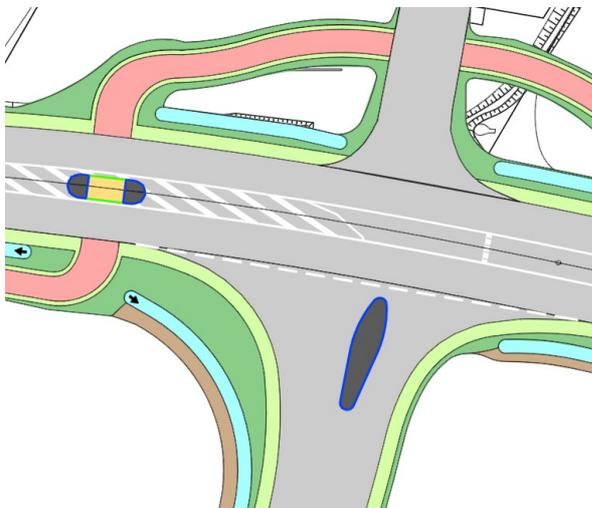


Bild 12: Radwegquerung bei Knotenpunkt S163 - Variante 1.1

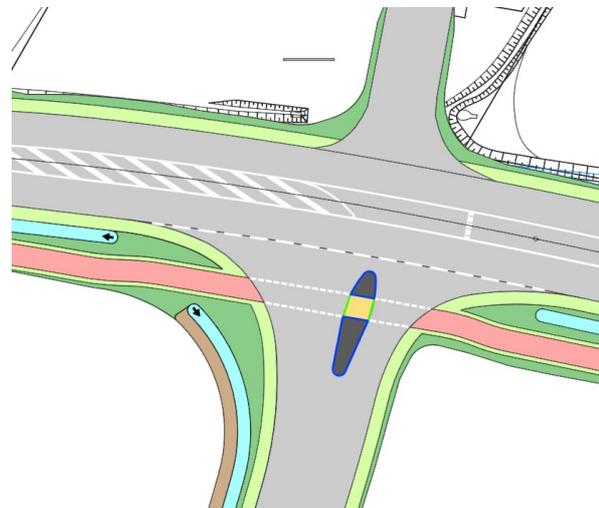


Bild 13: Radwegquerung bei Knotenpunkt S163 - Variante 2

Die Varianten 2 und 4 verwenden die nach RAL [2] typische Querung des Radverkehrs in der untergeordneten Straße für Rechtsabbiegetyp RA5, Zufahrtstyp KE5 und Linksabbiegetyp LA2. Die ERA [3] warnt vor Querungen bei Rechtseinbiegern aus der untergeordneten Straße.

„Die Hauptgefährdung für den Zweirichtungsradverkehr geht an Knotenpunkten ohne Lichtsignalanlage von rechts einbiegenden Kraftfahrzeugen aus den untergeordneten Knotenpunktzufahrten aus. Der Kraftfahrzeugverkehr konzentriert sich auf den von links kommenden Fahrverkehr, um eine Zeitlücke zum Einbiegen zu finden und kann dabei von rechts kommenden Radverkehr übersehen.“

ERA, 4.3.6 Zweirichtungsradverkehr an vorfahrtgeregelten Knotenpunkten, Konfliktsituationen [3]

Es ist jedoch anzumerken, dass sich diese Warnung auf eine Radwegquerung der untergeordneten Straße auf Höhe der Trennlinie zur übergeordneten Fahrbahn bezieht (Bild 14).

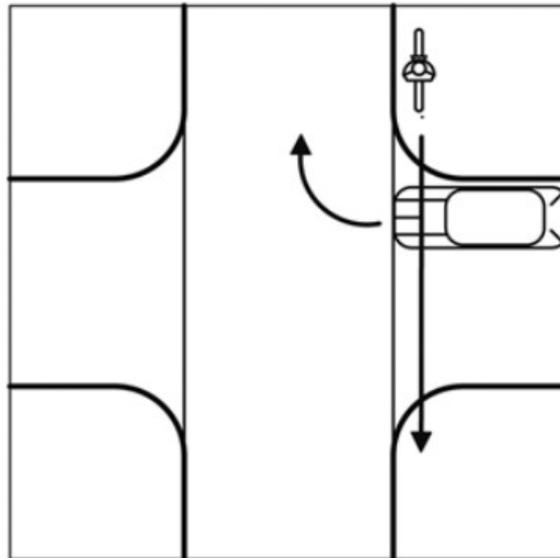


Bild 42: Unfallträchtigste Konfliktsituation bei Zweirichtungsradverkehr an Einmündungen ohne Lichtsignalanlage
Bild 14: Unfallträchtige Konfliktsituationen bei Zweirichtungsradverkehr an Einmündungen ohne Lichtsignalanlage, ERA, Bild 42, 4.3.6 Zweirichtungsradverkehr an vorfahrtgeregelten Knotenpunkten [3]

Im Gegensatz dazu findet die Querung der Fahrbahn bei der von der RAL [2] vorgeschlagenen Einmündungsform im abgesetzten Bereich auf der untergeordneten Straße statt. Somit kann sich der Rechtseinbieger hinter der Radwegquerung aufstellen und auf seine Lücke warten, während der nachfolgende Verkehr auf der untergeordneten Straße die Radwegquerung freihält und sich auch auf diese konzentrieren kann:

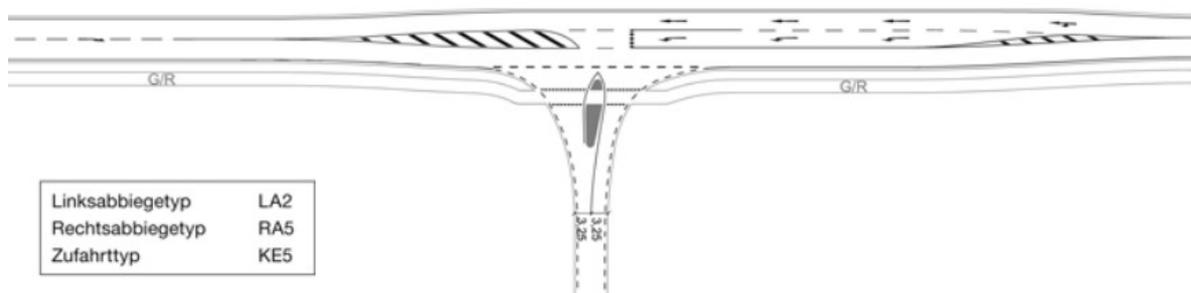


Bild 15: Beispiel für eine Einmündung ohne Lichtsignalanlage, übergeordnete Straße EKL 3/untergeordnete Straße EKL 4, RAL, Ausschnitt aus Bild 75 [2]

Bei 9.3.1 Allgemeines verweist die ERA [3] ebenfalls auf die RAL [2] und die Anwendung der Musterlösungen.

Unter den diskutierten Gesichtspunkten sind also die Varianten 1.1, 1.3, 2, 3.1, 3.3 und 4 an diesem Knoten in gleicher Weise sicher. Entscheidend sollte also die Beeinträchtigung der Querung durch den fließenden Verkehr auf der zu querenden Straße sein. Hierzu können die Zahlen aus der Straßenverkehrszählung 2015 herangezogen werden:

Tabelle 19: Manuelle Straßenverkehrszählung 2015 - Ergebnisse auf Staatsstraßen

Strecke	DTV [KfZ/24h]	SV-Anteil [%]	DTV ^(SV) [KfZ/24h]
S161	2.800	5,7	160
S163	2.800	3,5	98

Die DTV der beiden Straßen unterscheidet sich zwar nicht, allerdings hat die S161 einen größeren Schwerverkehrsanteil. Die Querung über die S163 ist damit vorzuziehen.

Für den Knoten mit der S163 lassen sich die Varianten wie folgt bewerten:

Tabelle 20: Sicherheit für den Knotenpunkt mit der S163

Variante	1.1	1.2	1.3	1.4	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Wertung	1	3	1	3	2	1	3	1	3	2

Für den Knotenpunkt mit der Polenztalstraße ist ebenfalls die Radwegquerung über die untergeordnete Polenztalstraße vorzuziehen. Es liegen zwar keine DTV für die Polenztalstraße vor, aber der momentane Ausbauzustand mit EKL 4 Charakter und die Kategorisierung als Kreisstraße legen eine geringere Attraktivität für den motorisierten Verkehr nahe.

Der Napoleonweg wird in den Varianten 1.1, 1.2, 3.1 und 3.2 über eine Insel in der S161 an den Neubauradweg angebunden. Bei den Varianten 2 und 4 wird die Polenztalstraße über den Tropfen im Knotenpunkt gequert. In den Varianten 1.3, 1.4, 3.3 und 3.4 quert der Napoleonweg die Polenztalstraße über den Tropfen.

Tabelle 21: Sicherheit für den Knotenpunkt mit der Polenztalstraße

Variante	1.1	1.2	1.3	1.4	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Wertung	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2

4.3.3.3 Zusammenfassung der Sicherheitsbeurteilung

Die Verkehrssicherheit der Varianten lässt sich aus der Überlagerung der Sicherheit der Strecke und der Sicherheit der Knotenpunkte für den Radverkehr ermitteln. Die bisher ermittelten Bewertungen werden dafür ins Verhältnis zu der maximal erreichbaren Bewertung in den jeweiligen Kategorien gesetzt. Die Gesamtwertung der Variante ergibt sich aus dem Durchschnitt der Verhältniswerte:

Tabelle 22: Sicherheitsbeurteilung

Variante	Straßenführung		KP S163		KP Polenztalstr.		Gesamt
	Wertung	Verhältnis	Wertung	Verhältnis	Wertung	Verhältnis	Durchschnitt
1.1	1	0,50	1	0,33	1	0,50	0,44
1.2	1	0,50	3	1,00	1	0,50	0,67
1.3	1	0,50	1	0,33	2	1,00	0,61
1.4	1	0,50	3	1,00	2	1,00	0,83
2	1	0,50	2	0,67	2	1,00	0,72
3.1	2	1,00	1	0,33	1	0,50	0,61
3.2	2	1,00	3	1,00	1	0,50	0,83
3.3	2	1,00	1	0,33	2	1,00	0,78
3.4	2	1,00	3	1,00	2	1,00	1,00
4	2	1,00	2	0,67	2	1,00	0,89

Die Variante 3.4 ist nach Überlagerung der Sicherheitsaspekte die sicherste Variante.

4.3.4 Umweltverträglichkeit

4.3.4.1 Darstellung der Umweltauswirkungen

Die Varianten berühren in verschiedener Weise umweltrelevante Bereiche im Planungsgebiet. Die RAL [2] stellt in Tabelle 4: Umweltverträglichkeit Ziele und Einflussmöglichkeiten bezüglich der umwelttechnischen Gestaltung einer Planung dar: Zum einen soll die Beeinträchtigung von Gewässern vermieden werden: Der Stürzaer Bach verläuft von Nord nach Süd am Ortseingang Stürza und quert die Bestandsstrecke über einen Durchlass. Er ist aus umwelttechnischen Gründen zu schützen. Weiterhin gibt es am Ortseingang Stürza und entlang der Strecke Bäume.

Die Eingriffe in den Baumbestand sollten im Sinne der Umweltverträglichkeit ebenfalls so gering wie möglich gehalten werden.

Neben diesen qualitativen Faktoren, sollten weiterhin Parameter wie die Größe der Versiegelungsfläche der einzelnen Varianten in Betracht gezogen werden.

Beeinträchtigung von Gewässern

Folgende Varianten machen eine Querung des Baches über ein Brückenbauwerk notwendig: 1.2, 1.4, 3.2 und 3.4. Die anderen Varianten vermeiden Kontakt mit dem Bach und sind deshalb zu bevorzugen.

Tabelle 23: Beeinträchtigung von Gewässern

Variante	1.1	1.2	1.3	1.4	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Wertung	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2

Beeinträchtigung der Flora

Alle Varianten machen die Fällung von Bäumen notwendig, allerdings kann bei manchen Varianten mehr des Baumbestands erhalten werden. Im Folgenden ist die Anzahl der Baumfällungen pro Variante aufgeführt. Alle Varianten sehen Neupflanzungen als Ausgleich für die Fällungen vor.

Tabelle 24: Beeinträchtigung der Flora

Variante	1.1	1.2	1.3	1.4	2	3.1	3.2	3.3	3.4	4
Baumfällungen	15	12	15	12	12	11	8	11	8	12
Wertung	1	2	1	2	2	3	4	3	4	2

Flächenversiegelung

Der Radweg in Asphaltbauweise und die Fahrbahnen der S161, sowie der S163 und der Polenztalstraße versiegeln das Gelände und reduzieren dadurch die wasseraufnahmefähigen Flächen. Im Tabelle 25 sind die Versiegelungsflächen aufgeführt. Den Varianten wird eine Wertung zugeordnet die höher ist je weniger Fläche in der Variante versiegelt wird.

Tabelle 25: Flächenversiegelung

Variante	Fahrbahnfläche [m ²]	Radwegfläche [m ²]	Gesamtfläche [m ²]	Wertung
1.1	13.682,84	2.834,64	16.517,48	8
1.2	13.722,62	2.789,44	16.512,06	9
1.3	13.682,84	3.056,83	16.739,67	3
1.4	13.722,62	3.005,63	16.728,25	4
2	13.682,84	2.704,98	16.387,82	10
3.1	13.833,17	2.829,78	16.662,95	6
3.2	13.873,01	2.790,92	16.663,93	5
3.3	13.833,17	3.045,70	16.878,87	2
3.4	13.873,01	3.006,77	16.879,78	1
4	13.833,17	2.710,04	16.543,21	7

4.3.4.2 Zusammenfassung der Umweltverträglichkeit

Die Umweltverträglichkeit der Varianten lässt sich aus der Überlagerung der drei Umweltaspekte ermitteln. Die bisher ermittelten Bewertungen werden dafür ins Verhältnis zu der maximal erreichbaren Bewertung in den jeweiligen Kategorien gesetzt. Die Gesamtwertung der Varianten ergibt sich aus dem Durchschnitt der Verhältniswerte (Tabelle 26).

Tabelle 26: Zusammenfassung Umweltverträglichkeit

Variante	Gewässer		Flora		Flächenversiegelung		Ergebnis
	Wertung	Verhältnis	Wertung	Verhältnis	Wertung	Verhältnis	Durchschnitt
1.1	2	1,00	1	0,25	8	0,80	0,68
1.2	1	0,50	2	0,50	9	0,90	0,63
1.3	2	1,00	1	0,25	3	0,30	0,52
1.4	1	0,50	2	0,50	4	0,40	0,47
2	2	1,00	2	0,50	10	1,00	0,83
3.1	2	1,00	3	0,75	6	0,60	0,78
3.2	1	0,50	4	1,00	5	0,50	0,67
3.3	2	1,00	3	0,75	2	0,20	0,65
3.4	1	0,50	4	1,00	1	0,10	0,53
4	2	1,00	2	0,50	7	0,70	0,73

Die Variante 2 ist nach Überlagerung der Umweltaspekte die geeignetste Variante. Sie berührt nicht den Stürzaer Bach und sie versiegelt die wenigsten Flächen. Die Variante 1.4 erreicht die niedrigste Wertung.

4.3.5. Finanzielle Wirtschaftlichkeit

Die Kosten aller 4 Varianten einschließlich der Untervarianten wurden nach den „Anweisung zur Kostenermittlung und zur Veranschlagung von Straßenbaumaßnahmen“ (AKVS) [8] berechnet (siehe *Anlage 4 / 1 bis 4 / 10*) und sind im folgenden dargestellt. Die Einzelkosten in der Kostenberechnung basieren auf Erfahrungswerten. Die Massen (siehe *Anlage 8 / 1 bis 8 / 4*) wurden basierend auf den Plänen flächenmäßig ermittelt oder mit Hilfe der CARD-Software berechnet. Alle ermittelten Werte werden auf die nächste Zehnerstelle gerundet. Der finanziell günstigsten Variante wird die höchste Wertung zugeordnet, der teuersten wird die niedrigste Wertung zugewiesen (Tabelle 27).

Tabelle 27: Kostenvergleich

Variante	Kosten [mio. €]	Wertung	Verhältnis
1.1	1,196	10	1,00
1.2	1,360	7	0,70
1.3	1,206	9	0,90
1.4	1,371	6	0,60
2	1,209	8	0,80
3.1	1,558	4	0,40
3.2	1,723	2	0,20
3.3	1,582	3	0,30
3.4	1,736	1	0,10
4	1,508	5	0,50

4.3.6 Gesamtbewertung der Varianten

Aus den untersuchten Kriterien lässt sich anhand der Wertungen nun die Gesamtwertung einer jeden Variante berechnen. Dazu wird der Durchschnitt der Einzelwertungen gebildet. Die einzelnen Varianten erhalten dann einen Wertung

anhand des ermittelten Durchschnitts. Die Variante mit der höchsten Wertung ist als Vorzugsvariante zu wählen (Tabelle 28).

Tabelle 28: Variantenvergleich

Variante	Verkehrliche Beurteilung	Sicherheits-technische Beurteilung	Umweltver-träglichkeit	Wirtschaft-lichkeit	Gesamtwertung	
					Durchschnitt	Wertung
1.1	0,86	0,44	0,68	1,00	0,75	8
1.2	0,86	0,67	0,63	0,70	0,72	6
1.3	0,78	0,61	0,52	0,90	0,70	5
1.4	0,78	0,83	0,47	0,60	0,67	4
2	0,89	0,72	0,83	0,80	0,81	9
3.1	0,99	0,61	0,78	0,40	0,70	5
3.2	0,79	0,83	0,67	0,20	0,63	2
3.3	0,90	0,78	0,65	0,30	0,66	3
3.4	0,71	1,00	0,53	0,10	0,59	1
4	0,82	0,89	0,73	0,50	0,74	7

Die Variante 2 ist als Vorzugsvariante zu wählen, da sie die höchste Gesamtwertung erreicht und damit die wirtschaftlichste Variante in der Gesamtbetrachtung der Kategorien ist. Mit 6 Prozentpunkten liegt sie über der zweitbesten Variante 1.1. Die Variante schneidet in allen Kategorien mit relativ hohen Werten ab. Mit einer Bewertung von 0,72 ist die sicherheitstechnische Beurteilung die niedrigste Wertung die die Variante in den vier Kategorien erreicht. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die Variante mit der gestreckten Führung der S161 geplant ist, woraus sehr heterogene Radienfolgen in der Trasse folgen. Außerdem mutet sie dem Radfahrer zwei Querungen über Fahrbahnen des motorisierten Verkehrs zu, was einige Varianten vermeiden.

Die Variante 2 ist die umweltverträglichste Variante aller untersuchten Varianten, bedingt durch den relativ niedrigen Versiegelungsgrad.

5. Detaillierung der gewählten Linie

5.1 Knotenpunkte

Im Folgenden werden die Knotenpunkte der Vorzugsvariante hinsichtlich der Schleppkurven und Sichtweiten untersucht. Die kritischen Schleppkurven; die Linkseinbieger und die Rechtseinbieger von den untergeordneten Straßen, wurden mit einem Sattelzug als Test-Fahrzeug untersucht. Die Schleppkurven wurden mit Hilfe der CARD-Software simuliert (Bilder 16 bis 19). Die Möglichkeit der Befahrung der Knotenpunkte mit Fahrzeugen bis zur Größe eines Sattelzugs ist somit nachgewiesen.

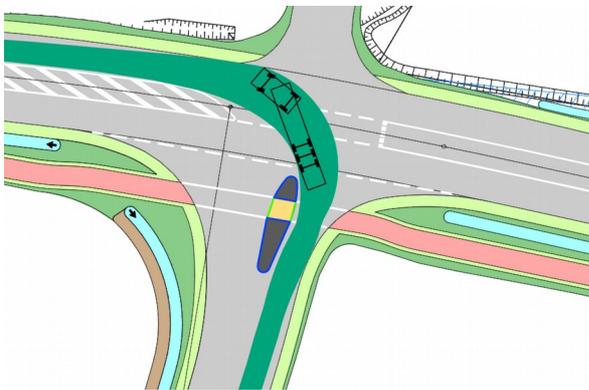


Bild 16: Schleppkurve Linkseinbieger von der S163

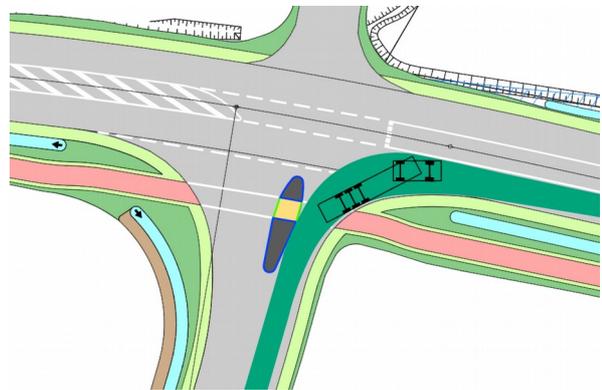


Bild 17: Schleppkurve Rechtseinbieger von der S163

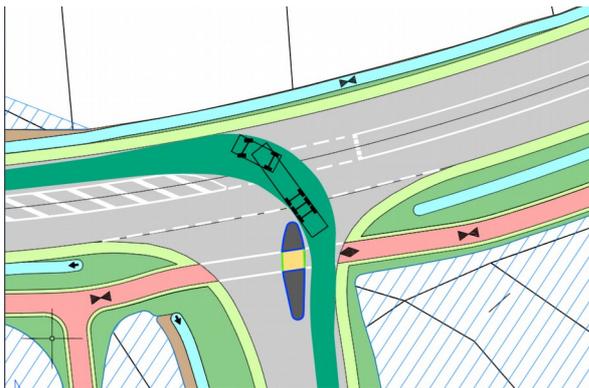


Bild 18: Schleppkurve Linkseinbieger von der Polenztalstraße

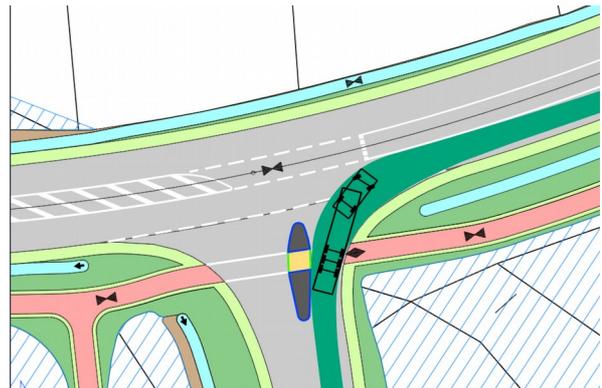


Bild 19: Schleppkurve Rechtseinbieger von der Polenztalstraße

Die Anfahrtsicht ist laut RAL [2] zu überprüfen, um festzustellen, ob im Knotenpunktbereich eine Reduzierung der Geschwindigkeit unter 70 km/h vorgenommen werden muss. Um die Regelgeschwindigkeit in Knotenpunkten von

70 km/h beizubehalten muss das Sichtfeld für den Fahrzeugführer in der untergeordneten Straße ausreichend groß sein: Für ein Fahrzeug, das 3 m vor der Haltelinie steht muss eine Länge des Sichtfeldes von 110 m nachgewiesen werden (RAL, 6.6.3 Anfahrsicht). Innerhalb des so aufgespannten Sichtfeldes dürfen keine Objekte sein die die Sicht so versperren, dass sie sich nähernde Fahrzeug verdecken würden. In der gewählten Linie kann ein freies Sichtfeld für beiden Knotenpunkte nachgewiesen werden (Bilder 20 und 21).

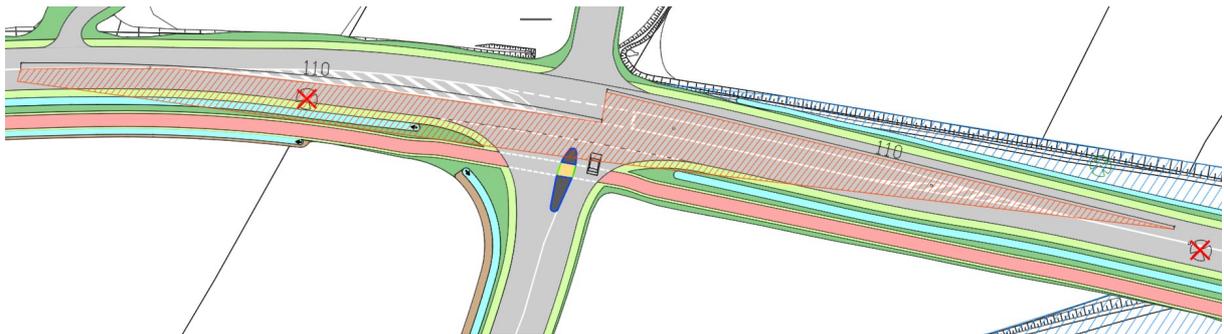


Bild 20: Sichtfeld Knotenpunkt S163

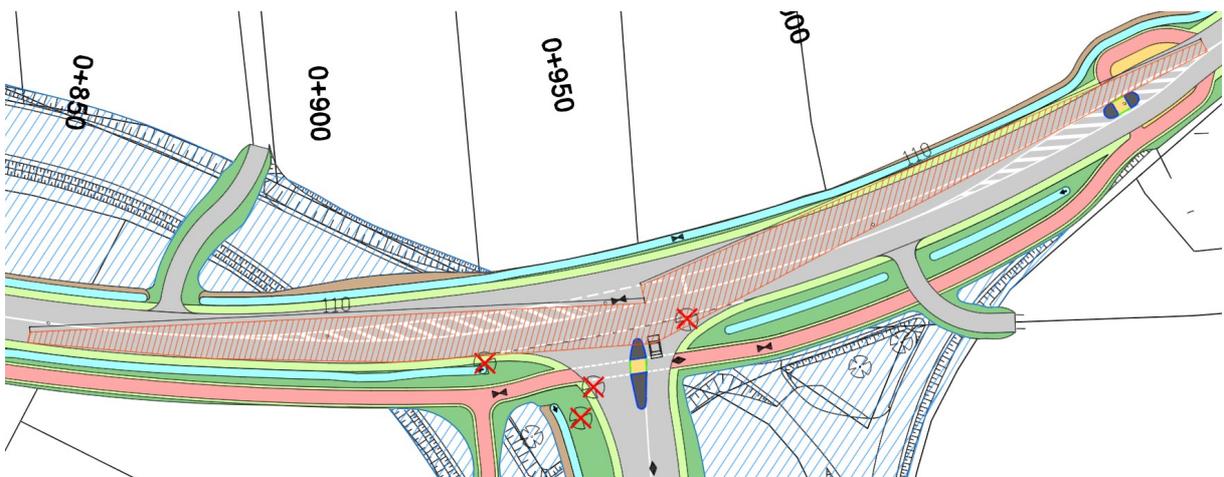


Bild 21: Sichtfeld Knotenpunkt Polenztalstraße

5.2 Befestigungsaufbau - Dimensionierung nach RStO 12

Laut RStO 12 [4] lässt sich der Befestigungsaufbau anhand der dimensionierungsrelevanten Beanspruchung B bestimmen. Dieser ist die Summe der gewichteten äquivalenten 10-t-Achsübergänge im Nutzungszeitraum zugrunde gelegt. Im Fall der S161 wird B mithilfe der „Methode 1 - Bestimmung von B aus DTV^(SV)-Werten“ im

Allgemeinen und der „Methode 1.2 – Bestimmung von B bei konstanten Faktoren“ im Speziellen berechnet. Hierbei wird der B-Wert laut RStO 12 [4] wie folgt ermittelt:

$$B = N \cdot DTA^{(SV)} \cdot q_{Bm} \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_z \cdot 365 \quad (10)$$

Darin bedeutet:

B	Summe der gewichteten äquivalenten 10-t-Achsübergänge im zugrunde gelegten Nutzungszeitraum
N	Anzahl der Jahre des zugrunde gelegten Nutzungszeitraumes; in der Regel 30 Jahre
DTA ^(SV)	Durchschnittliche Anzahl der täglichen Achsübergänge (Aü) des Schwerverkehrs
q _{Bm}	Der Straßenklasse zugeordnete mittlere Lastkollektivquotient
f ₁	Fahrstreifenfaktor
f ₂	Fahrstreifenbreitenfaktor
f ₃	Steigungsfaktor
f _z	Mittlerer jährlicher Zuwachsfaktor des Schwerverkehrs

Standardmäßig wird als Nutzungszeitraum N = 30 Jahre angenommen.

Die DTA^(SV) wird mit Hilfe der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärke des Schwerverkehrs (DTV^(SV)) und dem Achszahlfaktor (f_A) berechnet:

$$DTA^{(SV)} = DTV^{(SV)} \cdot f_A \quad (11)$$

Laut der sächsischen Verkehrszählung 2015 beträgt die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) auf der S161 2.800 KfZ/24h mit einem Schwerverkehrsanteil von 5,7 %. Es lässt sich so die durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schwerverkehrs (DTV^(SV)) ermitteln. Da der gemessene Wert im Jahr 2015 erhoben wurde, ist es jedoch notwendig die jährliche Zunahme des Schwerverkehrs mit einzurechnen. Die mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs beträgt laut Tabelle A 1.6 der RStO 12 [4] bei Landesstraße 1% (p=0,01). Die Zunahme wird für 5 Jahre auf das Jahr 2020 berechnet:

$$DTV^{(SV)} = DTV \cdot b_{SV} \cdot (1+p)^N = 2.800 \cdot 0,057 \cdot (1+0,01)^5 = 167,74 \quad (12)$$

Die DTA^(SV) werden anhand der DTV^(SV) und der durchschnittlichen Achszahl des Schwerverkehrs auf der Strecke berechnet. Der Achszahlfaktor kann aus Tabelle A

1.1 der RStO 12 [4] abgeleitet werden. Die Straßenklasse identifiziert hierbei den f_A :
Im Fall einer Landesstraße beträgt der $f_A = 3,3$.

$$DTA^{(SV)} = 167,74 \cdot 3,3 = 553,54 \quad (13)$$

Der Lastkollektivquotient q_{Bm} wird anhand der Tabelle A 1.2 aus der RStO 12 [4] bestimmt. Die Straßenklasse bestimmt den q_{Bm} . Als Landesstraße wird der S161 ein q_{Bm} von 0,23 zugeordnet.

Der Fahrstreifenbreitenfaktor f_1 wird anhand der Tabelle A 1.3 aus der RStO 12 [4] bestimmt. Identifiziert wird der f_1 -Wert anhand der Zahl der Fahrstreifen im Querschnitt und je nach Erfassung des DTV. Im vorliegenden Fall gilt der DTV in beiden Fahrrichtungen, weshalb der f_1 -Wert 0,50 beträgt.

Der Fahrstreifenbreitenfaktor f_2 wird anhand der Tabelle A 1.4 aus der RStO 12 [4] bestimmt. Die Fahrbahnbreite definiert den f_2 . Die geplante Fahrstreifenbreite der S161 beträgt 4,00 m, weshalb der f_2 1,00 beträgt.

Der Steigungsfaktor f_3 wird anhand der Tabelle A 1.5 aus der RStO 12 [4] bestimmt. Die Höchstlängsneigung definiert den Steigungsfaktor. Im Bereich 0+000 bis 0+229 der geplanten Strecke tritt die höchste Steigung mit 5,00 % auf. Dieser Steigung entspricht einem f_3 von 1,09.

Der mittlere jährliche Zuwachsfaktor des Schwerverkehrs f_z wird anhand der Tabelle A 1.7 aus der RStO 12 [4] bestimmt und setzt sich aus Nutzungszeitraum N und mittlerer jährlicher Zunahme des Schwerverkehrs p zusammen. Wie bereits erwähnt beträgt der Nutzungszeitraum 30 Jahre. Die mittlere jährliche Zunahme des Schwerverkehrs wird nach Tabelle A 1.6 der RStO 12 [4] bestimmt und ist für eine Landesstraße $p = 0,01$. Für einen $p = 0,01$ und einen $N = 30$ beträgt der $f_z = 1,159$.

Aus den so ermittelten Daten ergibt sich folgender laut Formel 7 folgender Wert für B:

$$B = 30 \cdot 553,54 \cdot 0,23 \cdot 0,50 \cdot 1,00 \cdot 1,09 \cdot 1,159 \cdot 365 = 880.584,23 \quad (14)$$

Anhand des B-Wertes wird die Belastungsklasse ermittelt. Für die S161 kommt laut Tafel 1 aus der RStO 12 [4] die Belastungsklasse Bk1,0 in Frage, da $B = 0,88$ Mio. beträgt.

5.3 Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus

Um die Lastverteilung zu sichern und schädliche Verformungen durch Frost-Tau-Wechsel zu verhindern, ist laut RStO 12 [4] die Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus zu definieren. Entscheidende Kriterien dafür sind die Frostepfindlichkeit des Untergrundes/Unterbaus und die Ermittlung der Mehr- und Minderdicken durch Standortfaktoren.

Anhand der Tabelle 6 der RStO 12 [4] kann mit der Frostepfindlichkeitsklasse und der Belastungsklasse der Ausgangswert für die Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus bestimmt werden. Laut Baugrundgutachten (Anlage 7 / 1) lässt sich der Baugrund in die Frostepfindlichkeitsklasse F3 einordnen. Mit einer Bk1,0 ergibt sich daraus eine Mindestdicke von 60 cm.

Für den Oberbau des Radwegs wird nach RStO 12 [4] eine Dicke von 40 cm angenommen (RStO 12, Tafel 6).

Mehr- und Minderdicken

Bedingt durch örtliche Verhältnisse ergeben sich Mehr- bzw. Minderdicken für die Mindestdicke des frostsicheren Oberbaus. Diese örtlichen Verhältnisse sind laut RStO 12 [4] (3.2.3 Mehr- oder Minderdicken) eingeteilt in Frosteinwirkung (A), kleinräumige Klimaunterschiede (B), Wasserverhältnisse im Untergrund (C), Lage der Gradienten (D) und Entwässerung der Fahrbahn/Ausführung der Randbereiche (E).

$$\text{Mehr- oder Minderdicke} = A + B + C + D + E \quad (15)$$

Die Frosteinwirkung wird anhand der Frosteinwirkungszone in der sich die Trasse befindet bestimmt. Die Frosteinwirkungszone ist in die Frosteinwirkungszone I bis III unterteilt.

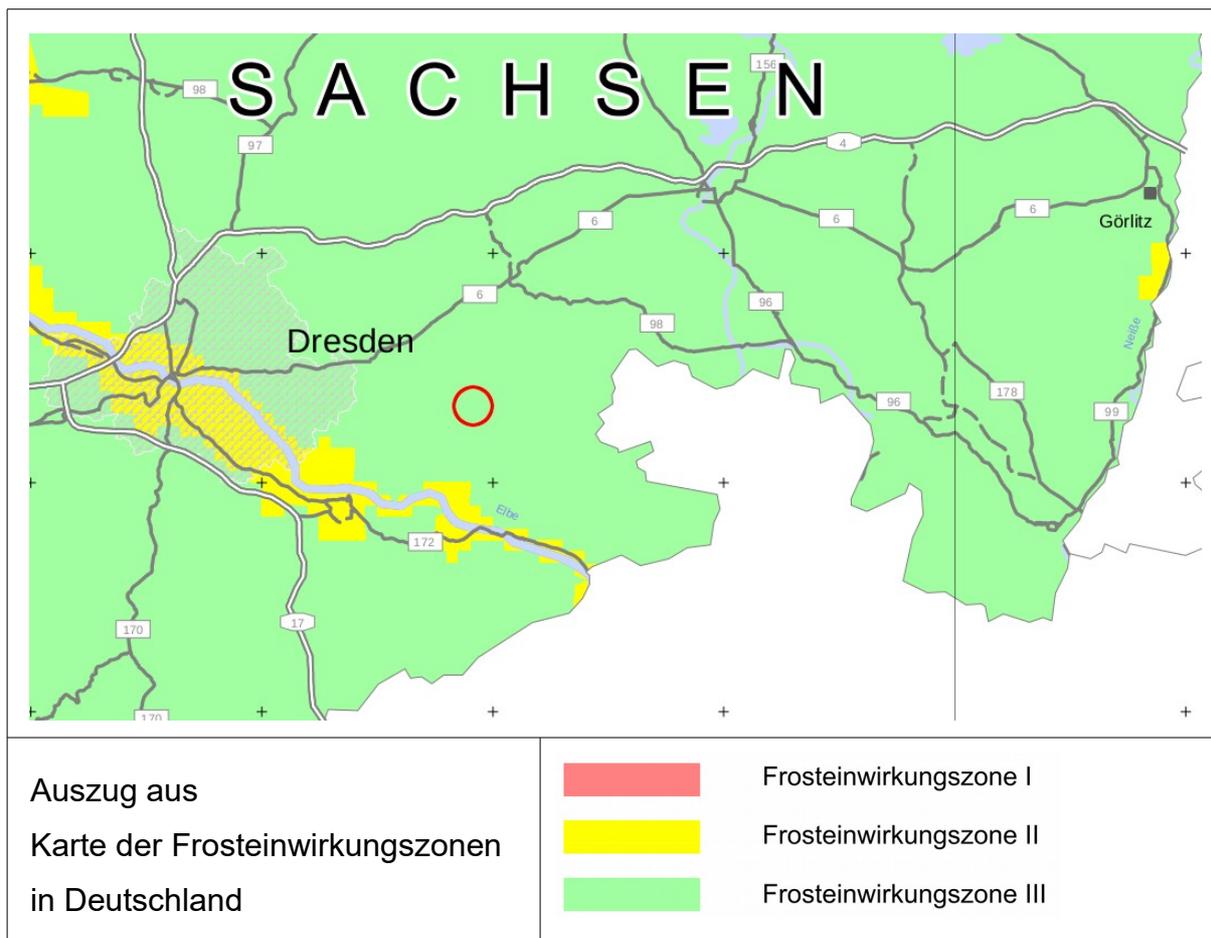


Bild 22: Ausschnitt aus der Karte der Frosteinwirkungszonen, Bundesanstalt für Straßenwesen, bast.de
https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Strassenbau/Fachthemen/S2-Frostzonenkarte.html (abgerufen 03.08.2020)
 [7]

Die S161 liegt in der Frosteinwirkungszone III. Damit ist laut Tabelle 7 der RStO 12 [4] eine Mehrdicke von $A = 15 \text{ cm}$ verbunden.

Die kleinräumigen Klimaeinflüsse hängen von der Lage der Trasse im Gelände und von angrenzender Bebauung ab. Die S161 liegt diesbezüglich ungünstig an einem Nordhang, woraus laut Tabelle 7 der RStO 12 [4] eine Mehrdicke von $B = 5 \text{ cm}$ entsteht.

Die Wasserverhältnisse im Untergrund der S161 variieren. Im Bereich des Knotenpunkts mit der Polenztalstraße wurde ein Wasserzutritt festgestellt (*Anlage 7 / 1; Wasserverhältnisse*). Da ein solcher Wasserzutritt an den anderen Schurfstellen nicht festgestellt wurde, wird im Folgenden davon ausgegangen, dass im Großteil der Trasse kein signifikanter Grund- bzw. Schichtenwasserzutritt auftritt. Es ist in späteren Planungsphasen zu überlegen, ob eine lokale Mehrdicke in kritischen

Bereichen von 5 cm vorzusehen ist. Unter den genannten Vorbehalten ergibt sich jedoch $C = 0 \text{ cm}$.

Die Gradiente liegt hauptsächlich in Dammlage bis 2,0 m Höhe, was $D = 0 \text{ cm}$ ergibt. Die Entwässerung der Fahrbahn findet über Mulden, Gräben bzw. Böschungen statt, was zu $E = 0 \text{ cm}$ führt.

$$\text{Mehr- oder Minderdicke} = 15 \text{ cm} + 5 \text{ cm} + 0 \text{ cm} + 0 \text{ cm} + 0 \text{ cm} = 20 \text{ cm} \quad (16)$$

Es ergibt sich also eine Mehrdicke von 20 cm. In Verbindung mit dem Ausgangswert für F3-Böden von 60 cm kann sich die Gesamtdicke des frostsicheren Oberbaus so mit 80 cm definieren lassen.

Basierend auf der Mindestdicke des Oberbaus und der ermittelten Belastungsklasse ist der Oberbau der Fahrbahn nach RStO 12 [4] wie folgt definiert:

Asphalttragschicht auf Frostschutzschicht (Tafel 1, Zeile 1 nach RStO 12)

- 4 cm Asphaltdeckschicht
- 14 cm Asphalttragschicht
- 62 cm Frostschutzschicht
- 80 cm Gesamtaufbau

Der Oberbau des Radwegs ist nach RStO 12 [4] wie folgt definiert:

Radweg in Asphaltbauweise (Tafel 6, Zeile 2 nach RStO 12)

- 10 cm Asphalttragdeckschicht
- 30 cm Frostschutzschicht
- 40 cm Gesamtaufbau

6. Zusammenfassung

In dieser Diplomarbeit wurde die S161 im Abschnitt zwischen Stürza und Heeselicht hinsichtlich der Ausbaumöglichkeiten und der Anlage eines Radwegs untersucht. Es wurden 4 Varianten und deren etwaige Untervarianten verglichen und eine Vorzugsvariante ausgewählt. In der Vorzugsvariante verläuft die Fahrbahn gestreckt zwischen dem Ortsein-/ausgang Stürza bis zum Ortsein-/ausgang Heeselicht. Der

Radweg wird südlich der Trasse geführt und quert die beiden untergeordneten Straßen S163 und die Polenztalstraße. Am Anfang und am Ende des Radweges bestehen Möglichkeiten zur Querung der Fahrbahn.

Literaturverzeichnis

- [1] Richtlinie für die integrierte Netzgestaltung RIN, Ausgabe 2008, aufgestellt durch Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Verkehrsplanung“, veröffentlicht bei FGSV Verlag, Köln
- [2] Richtlinien für die Anlage von Landstraßen RAL, Ausgabe 2012, aufgestellt durch Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“, veröffentlicht bei FGSV Verlag, Köln
- [3] Empfehlungen für Radverkehrsanlagen ERA, Ausgabe 2010, aufgestellt durch Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Straßenentwurf“, veröffentlicht bei FGSV Verlag, Köln
- [4] Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen RStO 12, Ausgabe 2012, aufgestellt durch Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), Arbeitsgruppe „Infrastrukturmanagement“, veröffentlicht bei FGSV Verlag, Köln
- [5] Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen HBS, Ausgabe 2015, aufgestellt durch Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV), veröffentlicht bei FGSV Verlag, Köln
- [6] Petition: Radweg an einem Teilstück der "Alten Rennstrecke" S 163, [openpetition.de https://www.openpetition.de/petition/online/radweg-an-einem-teilstueck-der-alten-rennstrecke-s-163](https://www.openpetition.de/petition/online/radweg-an-einem-teilstueck-der-alten-rennstrecke-s-163), abgerufen am 03.08.2020
- [7] Karte der Frosteinwirkungszonen, Bundesanstalt für Straßenwesen, [bast.de https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Strassenbau/Fachthemen/S2-Frostzonenkarte.html](https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Strassenbau/Fachthemen/S2-Frostzonenkarte.html), abgerufen am 03.08.2020
- [8] Anweisung zur Kostenermittlung und zur Veranschlagung von Straßenbaumaßnahmen AKVS, Ausgabe 2014, aufgestellt durch Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
- [9] Informationen zur Auswertung der Jahre 2016 bis 2020 (SVZ 2020), Bundesanstalt für Straßenwesen BASt, https://www.bast.de/BASt_2017/DE/Statistik/Verkehrsdaten/Manuelle-Zaehlung.html, abgerufen 20.08.2020