

Konstruktionskonzept für das QUICKWAY System

Johannes Oppeneder

Institut für Betonbau, Technische Universität Graz, Österreich

KURZFASSUNG:

QUICKWAY ist ein Verkehrsnetzwerk über bestehende oder neue Straßen für den Personen- und Güterverkehr in „Green Cities“, sowohl für neue als auch für vorhandene Megacities. Das System besteht aus schlanken kreuzungsfreien Hochfahrwegen, auf dem sich autonomen Fahrzeuge bewegen. Ein zentrales Navigationssystem sorgt für eine zieloptimierte Verkehrssteuerung. Unter dem System entstehen des Weiteren neue Wege für den Rad- und Fußgängerverkehr. Neben den Fahrwegen in unterschiedlichen Ebenen, wird eine Dachkonstruktion zum Schutz der Verkehrsteilnehmer vor Umwelteinflüssen integriert. Diese kann dem Sammeln von Regenwasser sowie durch zusätzliche Photovoltaikmodule der Gewinnung von Sonnenenergie dienen.

Dieser Beitrag befasst sich mit der Baukonstruktion von QUICKWAY. Die Leichtigkeit der Tragkonstruktion sowie der Fahrwege wird dabei durch UHPC erreicht. Die Fertigteilsegmente werden aus einem modularen Baukastensystem entnommen. Diese werden durch eine externe Vorspannung und Trockenfugen zusammengesetzt. Die Konstruktionsmethode ermöglicht dabei eine einfach vervielfältigbare Herstellung der Segmente und eine schnelle und leichte Montage des QUICKWAY Systems.

1 Einleitung

Quickway ist ein neues Verkehrskonzept für den Personen- und Güterverkehr in Städten. Das System besteht aus schlanken weitgespannten Hochfahrwegen entlang gewöhnlicher Verkehrswege. Speziell für „Green Cities“ oder auch für Städte mit hohem Verkehrsaufkommen bietet QUICKWAY eine Möglichkeit zur Lösung des Verkehrsproblems.

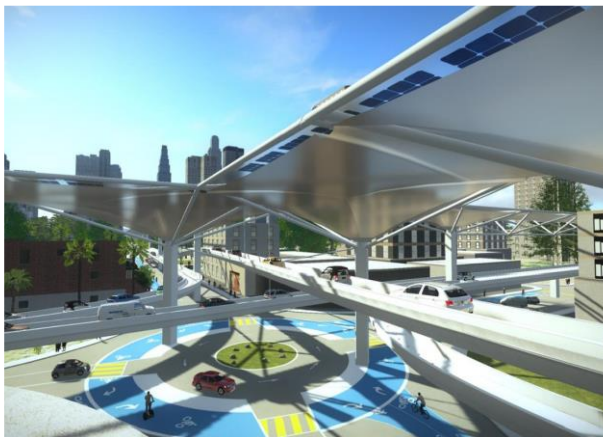


Abbildung 1: QUICKWAY

QUICKWAY besteht hierfür aus verschiedenen Hochfahrwegen die miteinander verbunden sind. Speziell im Kreuzungsbereich, sowie auch für Auf- und Abfahrten von den Hochfahrwegen sind verschiedene Trassierungselemente notwendig. Um eine schnelle und einfache Produktion, sowie auch Montage der Struktur zu gewährleisten, ist ein einfaches flexibles, adaptierbares Baukastensystem notwendig. Durch kreuzungsfreie Knoten und zentrale Navigation, sowie Verwendung von autonomen Fahrzeugen kann ein sehr effizientes System für bestehende Megacities geschaffen werden. Des Weiteren soll QUICKWAY durch eine transparente Dachkonstruktion nach oben hin abgeschlossen werden. Diese bietet Schutz vor Umwelteinflüssen, und ermöglicht auch Energie und oder Regenwasser zu gewinnen. Diese sind für solche Städte immer wichtigere Rohstoffe.

In diesem Beitrag wird das Konstruktionskonzept für Quickway vorgestellt, das trotz eines durchdachten Verkehrssystems mit einer geringen Anzahl von Bauteilen aus UHPC auskommt.

2 Quickway Netz

Das Quickway System besteht aus drei verschiedenen Verkehrsnetzen welche miteinander verbunden sind. Das Primäre- und Sekundäre Netz, siehe Abbildung 2, bestehen aus Hochfahrwegen (Höhe mindestens 5,5m) über dem gewöhnlichen Straßennetz von bestehenden oder neuen Städten und dienen als Hauptverkehrswege für Lang- und Kurzverbindungen. Das Tertiäre Netz besteht aus dem gewöhnlichen Straßennetz und dient vorwiegend für Verkehrswege im Quell- und Zielbereich. Mit diesen drei Netzwerktypen ermöglicht Quickway einen effizienten und zieloptimierten öffentlichen und privaten Verkehr von Haus- zu Haustür sowie Gütertransport.

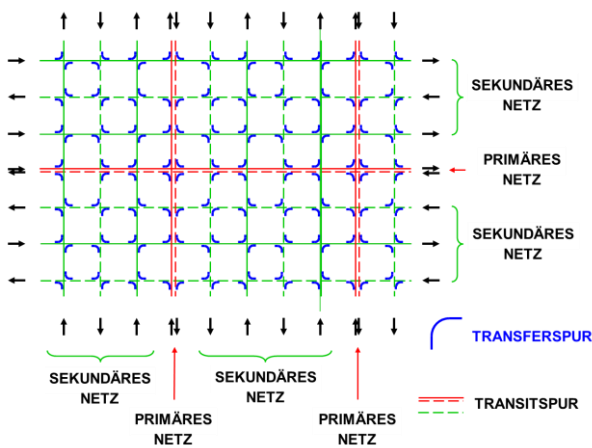


Abbildung 2: QUICKWAY NETZ (schematisch)

2.1 Primäres Straßennetz

Das Primäre Netz ist auf eine Geschwindigkeit von 80km/h ausgelegt und ist mit Fahrwegen in beide Richtungen ausgestattet. Die Fahrwege können hier in Transitspuren und Transferspuren, Abbiegespuren im Kreuzungsbereich zum Verbinden der verschiedenen Transitspuren, unterteilt werden. Die Maschenweite im Primären Netz liegt bei ~ 4 km.

Tabelle 1 Kreuzungsfreier Knoten

| Achse 1 | Achse 2 | R [m] | V Gerade [km/h] | V Kurve [km/h] |
|----------|----------|---------|-----------------|----------------|
| Sekundär | Sekundär | 15 / 30 | 40 / 50 | 22,5 / 30 |
| Primär | Sekundär | 15 / 30 | 50 / 80 | 22,5 / 30 |
| | | 50 / 80 | | 40 / 50 |
| Primär | Primär | 50 / 80 | 80 / 80 | 40 / 50 |

Die zugehörigen Transferspuren sind, abhängig von den Kurvenradien, mit einer maximale Geschwindigkeit, siehe Tabelle 1, durchfahrbar. Das Primäre Netz ist direkt über Transferspuren mit dem Sekundären Netz verbunden.

2.2 Sekundäres Netz

Das Sekundäre Netz ist auf eine Geschwindigkeit von 50km/h trassiert und wird als Einbahnsystem ausgeführt, siehe Abbildung 3. Um ein effizientes System zu erhalten, ist der Abstand der verschiedenen Transitspuren enger angeordnet und weist einen Abstand von 600- 900m auf.



Abbildung 3: Sekundäres Netz

Die zugehörigen Kurvenradien mit einer definierten Geschwindigkeit der Transferspuren sind der Tabelle 1 zu entnehmen. Das Sekundäre Netz stellt des Weiteren die Verbindung zum Tertiären, dem bestehenden Straßennetz, über Rampen her.

2.3 Kreuzungsfreie Knoten

Das Primäre sowie Sekundäre Quickway Netz wird, um den Verkehrsfluss zu erhöhen, ohne niveaugleiche Kreuzungen ausgeführt.

Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen einen Kreuzungsknoten im sekundären Netz. Kreuzungsknoten im Primären Netzt sind nach dem gleichen Funktionsprinzip aufgebaut. Für eine niveaufreie Kreuzung wird abwechselnd ein Fahrweg der Transitspur mit Rampen über die querenden Transitspur geführt. Abbiegende Fahrzeuge werden über Entflechtungs- und Verflechtungsstrecken und Transferspuren niveaugleich auf die querende Transitspur geführt, wobei in den Verflechtungs- und Entflechtungszonen die Auf- und Abfahrtsrampen vom Straßennetz in Ebene 0 angeordnet sind. Dieser Kreuzungstyp ermöglicht eine einfache und schlanke

Tabelle 3: Quickway Baukasten Teil 2 Tragkonstruktion

| Bauteile | Elemente Tragsstruktur | Segmente | Kurvenradius R_K [m] | Anschlusstyp | Querschnitt* | Nummer | |
|------------------------------------|------------------------|----------------|------------------------|---------------------|--------------|---------------|--------|
| Tragkonstruktion der Aufständering | Alle Elemente | Auflagerträger | ∞ | seitlich / darunter | QS 1 | 37 / 38 | |
| | | | $\infty / 15$ | seitlich / darunter | QS 2 | 39/40 / 41/42 | |
| | | | $\infty / 30$ | seitlich / darunter | QS 3 | 43/44 / 45/46 | |
| | | | ∞ | seitlich / darunter | QS 4 | 47 / 48 | |
| | | | ∞ | seitlich / darunter | QS 5 | 49 / 50 | |
| | | Segmente | Abmessungen | | | Querschnitt | Nummer |
| | | | L / B [m] | H [m] | T [m] | | |
| | | Stütze | 1,6 / 1,6 | $\leq 13,5$ | 0,2 | QS 6 | 51 |
| | | | - | - | - | QS 7 | 52 |
| | | Stützenfuß | 1,6 / 1,6 | 1,6 | 0,2 | QS 6 | 53 |
| | | | - | - | - | QS 7 | 54 |
| | | Stützenkop | 1,6 / 1,6 | - | 0,2 | QS 6 | 55 |
| | | | - | - | - | QS 7 | 56 |

* siehe Tabelle 4

3.1 Material

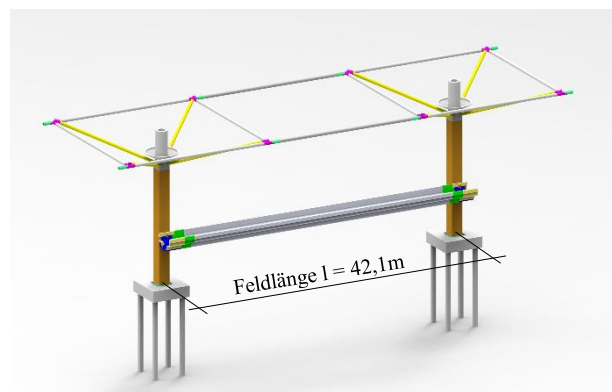
Um eine schlanke Konstruktion zu ermöglichen, sollen die in ihrer Form optimierten Segmente aus selbstverdichtendem UHPC hergestellt werden. Durch Zugabe von Mikrostauffasern soll der Einsatz von Bewehrung grundsätzlich vermieden und der Herstellungsprozess der Segmente wesentlich vereinfacht werden. Für hochbeanspruchte Bauteile in Bereichen der Verankerung der Vorspannkraft oder auch in Bereichen hoher Torsion ist eine zusätzliche Bewehrung unumgänglich. Für QUICKWAY wird ein spezieller selbstverdichtender UHPFRC verwendet [1]. Um den geforderten Festbetoneigenschaften zu entsprechen, werden Fasern mit einem Durchmesser von 0,16mm, einer Länge von 13mm und einem Fasergehalt von 2% verwendet.

Folgende Eigenschaften können erzielt werden: Ausbreitmaß 800 mm, $E_c = 52.000 \text{ MN/m}^2$ und $f_{ck} = 180 \text{ MN/m}^2$ nach 28 Tagen ohne Wärmebehandlung. Das Zugverhalten wird an Standardbiegebalken ermittelt. Die für die Bemessung benötigte Spannungs-Dehnungslinie unter zentrischem Zug wird durch Nachrechnung gemäß [2] ermittelt. Für die Nachweisführung wird zwischen gerissenen und

ungerissenen Bereichen unterschieden. Die Design Werte werden nach [3], [4] und [5] berechnet, siehe [6].

3.2 Tragstruktur

Abbildung 6 gibt einen Überblick über die Tragstruktur des QUICKWAY Systems. Diese besteht dabei aus einem Fundament, einer Stütze, der Dachkonstruktion und den Fahrwegen. Der standardisierte Achsabstand der Stützenkonstruktionen ergibt sich dabei aus den Trassierungselementen, siehe Kapitel 4, zu einer Feldlänge von 42,1m.



**Abbildung 6: Standard Tragstruktur QUICKWAY
Feldlänge 42,1m**

Für das QUICKWAY Netz stehen hier in Abhängigkeit der Belastung, 3 verschiedene Stützentypen zur Verfügung, siehe Tabelle 3. Jede Stütze steht dabei in einem vor Ort hergestellten Köcherfundament, das in Abhängigkeit der Eigenschaften des Untergrundes vorwiegend als Tiefgründung ausgeführt wird. Die Abmessungen werden in Abstimmung mit dem Bodengutachten festgelegt. Der Köcher dient der Stütze als Fundament, sowie als Toleranzausgleich. Durch eine genaue Justierung der Stütze und einem kraftschlüssigen Fugenverguss kann so die hohe geforderte Genauigkeit gewährleistet werden.

Die Stütze wird mit dem Stützenfuß und der Dachkonstruktion durch externe im Stützeninnern liegende Spannglieder verbunden. Die Vorspannung erfolgt dabei im Vorspannkeller des Köcherfundamentes.

Die Dachkonstruktion besteht aus vorgefertigten vorgespannten UHPFRC Stäben. Der Stützenkopf verbindet die Dachkonstruktion mit der Stütze.

Als Lager für die Fahrwege dienen Auflagerträger, die flexibel über die Höhe durch eine Vorspannung und Reibung mit der Stützen verbunden werden. Die Lagerung der geraden Einfeldträger erfolgt auf Elastomer Lager. Eine Längsneigung der Fahrbahn wird durch eine Drehung des Auflagerträgers, um die Achse normal zur Stütze, ermöglicht.

4 Fahrwege

Die Hochfahrwegkonstruktion für QUICKWAY soll vorwiegend aus Einfeldträgern aus UHPFRC bestehen. Wie in Abbildung 4 ersichtlich sind verschiedene Elemente erforderlich. Das Baukastensystem für die Segmentbauweise, siehe Tabelle 2, gibt hierzu einen Überblick über die verschiedenen Konstruktionselemente und unterschiedlichen Segmente.

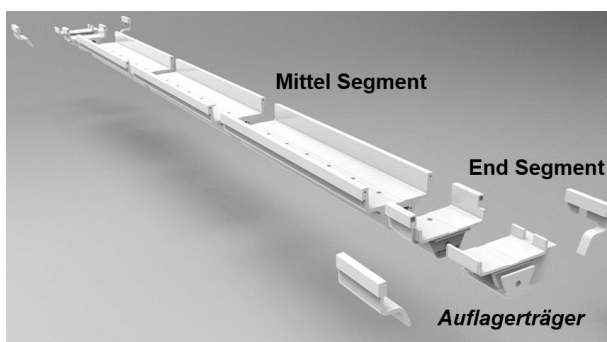


Abbildung 7: Segmente für den geraden QUICKWAY Träger

Die verschiedenen Segmente werden dabei mit einer externen Vorspannung und Trockenfugen zu einem Element zusammengespannt. Ein Konstruktionselement besteht dabei aus zwei Endsegmenten und verschiedenen Standardsegmenten, siehe Abbildung 7. Die vom Querschnitt abhängigen Endsegmente sind für die jeweiligen Trassierungselemente gleich. Eine genauere Darstellung der Segmente erfolgt in [7].

4.1 Querschnitte Fahrweg

Der Querschnitt für die Fahrwege besteht aus einem Hohlkasten, der monolithisch mit den Handläufen verbunden ist. Tabelle 4 gibt einen Überblick der verschiedenen Querschnitte. Die Bauhöhe beträgt hierfür 1,80m wobei die Konstruktionshöhe nur 1,00m beträgt. Die Lage der Stege des Hohlkastens berücksichtigt die Position der Fahrzeugräder. Die maximale Bauteildicke beträgt 12cm, wobei der

Anschluss der Stege zur Fahrbahnplatte mit Vouten ausgeführt wird. Abbildung 8 zeigt den Querschnitt 3 eines im Grundriss gekrümmten Trägers mit $R = 30m$.

Tabelle 4 Abmessungen Fahrwegquerschnitte

| Querschnitt | Kurvenradius R_K [m] | Breite [m] | Fläche A [m ²] | t_1 [cm] | t_2 [cm] | t_3 [cm] | t_4 [cm] |
|-------------|------------------------|------------|----------------------------|------------|------------|------------|------------|
| QS 1 | ∞ | 2,50 | 0,76 | 8 | 6 | 8 | 10 |
| QS 2 | 15 | 3,10 | 1,06 | 10 | 10 | 12 | 12 |
| | 50 | 3,10 | 1,06 | 10 | 10 | 12 | 12 |
| QS 3 | 30 | 2,75 | 1,05 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| | 50 | 2,75 | 1,05 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| QS 4 | ≥ 50 | 2,50 | 0,91 | 10 | 8 | 12 | 12 |
| QS 5 | ∞ | 7,30 | - | 8 | 10 | 8 | 10 |

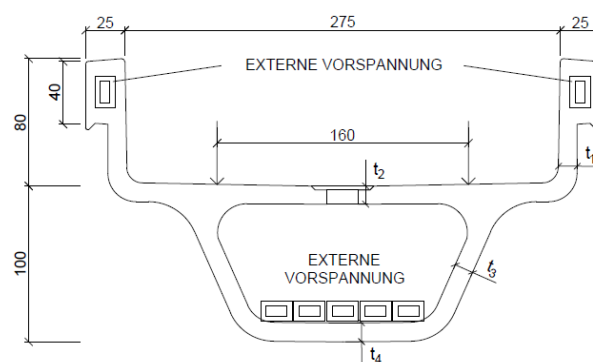


Abbildung 8: Darstellung des Querschnitts, als Beispiel QS 3

Für das Quickway Netz wurde eine Beschränkung der maximalen Fahrzeugabmessung von 2 x 7m gewählt. Die Breite der Fahrbahn wird, um geringe Richtungsänderungen ohne Fahrbahnverbreiterung durchführen zu können, inklusive eines Sicherheitsabstandes mit 2,50m festgelegt. In engeren Kurven $R < 60m$ wird in Abhängigkeit von der Fahrzeugbreite und dem geforderten Platzbedarf in den Schleppkurven ein breiterer erforderlicher Fahrweg definiert. Diese Verbreiterung des Fahrweges wird hierfür im davor liegenden geraden Element durch ein Verbreiterungssegment umgesetzt, siehe Kapitel 4.3.

4.2 Vorstatik

Das statische Grundkonzept für die Konstruktion basiert auf geraden oder im Grundriss gekrümmte Einfeldträgern, die auf Auflagerträgern mit Elastomer Lagern gelagert sind. Diese ermöglichen eine zwängungsfreie Lagerung in Längsrichtung, wobei

für die im Grundriss gekrümmten Träger die Torsion behindert wird.

Die ständigen Lasten für die Konstruktion ergeben sich durch das Eigengewicht mit einer Dichte von $\gamma = 26 \text{ kN/m}^3$ des UHPFRC und einer zusätzlichen Ausbaulast von 2 kN/m^2 . Für das Quickway Netz besteht des Weiteren eine Beschränkung der maximalen Last für Fahrzeuge von 5 to.

Die verschiedenen Segmente werden mit geraden, im Hohlkasten liegenden Spanngliedern und Trockenfugen verbunden. Die erforderliche Anzahl von Spannritzen wird durch den Dekompressionsnachweis in der seltene Lastfallkombination ermittelt. Genauere Angaben zur Berechnung und Bemessung gibt [6].

4.3 Gerade Träger

Der vorwiegende Teil der Konstruktion für das Quickway Netz soll aus im Grundriss geraden Elementen bestehen. Diese werden mit einer Elementlänge von $L = 40,5\text{m}$ mit einem $L/H = 22,5$ ausgebildet. Jedes Feld setzt sich aus zwei Endsegmenten und drei $\times 12,5\text{m}$ langen Geradensegmenten des Querschnittes 1 (oder zwei gerade Segmente und ein Verbreiterungssegment) zusammen. Um die Produktion zu vereinfachen, wird auf dieses Maß auch in der Netzplanung Rücksicht genommen. Kürzere, sowie längere Felder bis max. 50m , sind ebenfalls möglich. Eine abweichende erforderliche Segmentlänge wird hierfür bereits in der Produktion berücksichtigt.

4.4 Kurvenelemente mit Feldradien $R_F > 20.000\text{m}$

Die Fahrspur besteht in den Kurven aus Klothoiden und Kreisbögen. Bis zu einem Radius von $R_F > 20.000\text{m}$ können die Träger aufgrund der geringen Richtungsänderung in einem polygonalen Verlauf mittels gerader Fahrwege mit Querschnitt 1 ausgeführt werden.

4.5 Kurvenelemente mit Feldradien zwischen $R_F = 20.000\text{m}$ bis $R_F = 150\text{m}$

Kurvenelemente mit einem Radius zwischen $R = 150\text{m}$ bis 20.000m werden aus fünf oder sechs Segmenten hergestellt. Diese bestehen dabei aus zwei Endsegmente, zwei geraden Segmenten ($L = 6,25 \div 12,5\text{m}$) und einem ($L_B = 12,5\text{m}$) oder

zwei ($L_B = 12,5 + 4 \div 12,5\text{m}$) Segmente mit einem konstanten Radius. Mit sieben verschiedenen Kurvenradien, und einer Variation der Länge der gekrümmten und geraden Segmente bei konstanter Elementlänge von $40,5\text{m}$, kann der gesamte Bereich zwischen $R = 150\text{m} - 20.000\text{m}$ ausgebildet werden, siehe Abbildung 9. Für diese Segmente wird der Querschnitt 1 oder 4 mit einer Breite von $2,5\text{m}$ verwendet, um den Einfluss der Torsion in der Bemessung zu berücksichtigen.

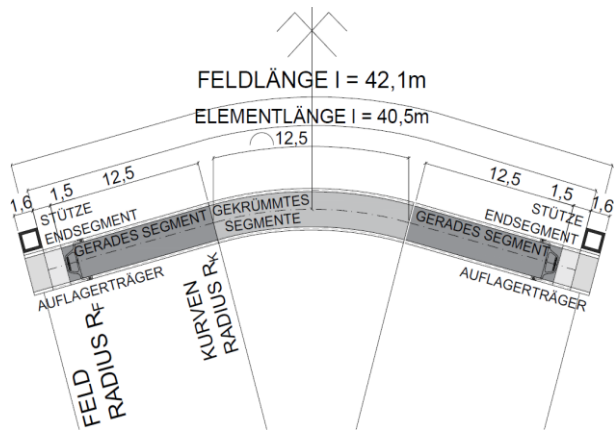


Abbildung 9: Kurvenradien Einteilung $R_F \geq 150 - 20.000\text{m}$

4.6 Kurvenelemente mit Radien $R < 150\text{m}$

Kurvenelemente im Kreuzungsbereichen und Kurven mit einem Radius kleiner 150m werden als Korbboogen ausgeführt. Hierfür sind 5 verschiedene Kurvenradien und Querschnitt 2, 3 und 4, der den Klothoiden Anteil und die Schleppkurve abdeckt, vorhanden, siehe Abbildung 10 und Tabelle 5. Die kombinierte Ausbildung ermöglicht eine gute Annäherung zur idealen Fahrspur, die aus Klothoiden und Kreisbögen besteht. Bei engen Kurven mit einem Radius kleiner 60m ist des Weiteren eine Verbreiterung des Fahrweges aufgrund der Schleppkurve erforderlich, (vergleiche Tabelle 4 und Tabelle 5).

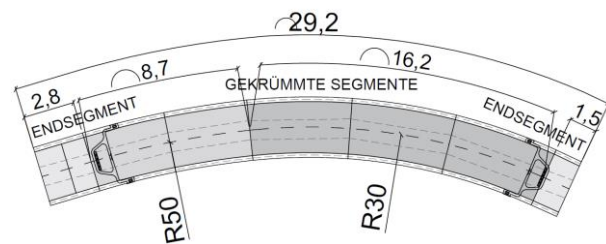


Abbildung 10: Kurvenradien $R_F < 150\text{m}$ R 30

Durch die starke Krümmung bei enger werdenden Radien wird die Beanspruchung aus Torsion maßgebend. Radien $< 80\text{m}$ können dabei ohne zusätzlicher Schubbewehrung nicht mehr mit der Standardlänge von $40,5\text{m}$ ausgeführt werden. Für die verschiedenen Kurvenelemente existiert eine kritische Länge ab der eine zusätzliche Schubbewehrung notwendig ist. Aufgrund der Umlenkung der Vorspannung gibt es des Weiteren eine maximal mögliche Segmentlänge für kleine Radien.

Tabelle 5 Kurvenelemente Radien $R_F < 150\text{m}$

| Kurvenelemente | Querschnitt | Kreisbogen R1 | | Kreisbogen R2 | |
|----------------|-------------|---------------|-------|---------------|------------------------|
| | | R[m] | L[m] | R[m] | $L_{\text{krit.}}$ [m] |
| R 15 | QS 2 | 50 | 8,26 | 15 | - |
| R 30 | QS 3 | 50 | 8,70 | 30 | 21,30 |
| R 50 | QS 4 | 60 | 12,54 | 50 | - |
| R 80 | QS 4 | 100 | 18,84 | 80 | - |
| R 120 | QS 4 | - | - | 120 | - |

4.7 Verziehungselemente

Verziehungselemente (S-Kurven) sind für Quickway im Kreuzungsbereich erforderlich. Die beiden gegengleich gekrümmten Kurven können aufgrund ihrer geringen Richtungsänderung gleich wie die Kurven $R_F > 150\text{m}$ mit Querschnitt 1 oder 4 und der Standardlänge von $40,5\text{m}$ ausgebildet werden.

4.8 Verflechtungselemente

Verflechtungselemente im Bereich eines zweispurigen, geraden Fahrweges werden mit dem Querschnitt 5 ausgeführt, siehe Abbildung 11.

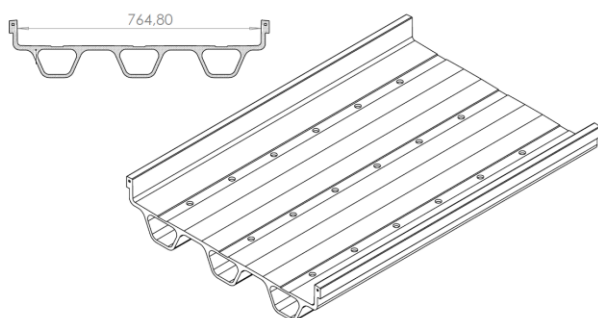


Abbildung 11: Verflechtungssegment $l = 12,5\text{m}$

Sie sind erforderlich, um nach niveaufreien Kreuzungen oder nach dem Auffahren auf das QUICKWAY Netz ein Einordnen des Fahrzeuges in den fließenden Verkehr zu ermöglichen. Verflechtungselemente sind aus fahrdynamischer Betrachtungsweise wie Verziehungselemente zu betrachten. Die

Verflechtungsstrecken sind aufgrund der geringen zulässigen Werte der Querbewehrung und des Querrucks mit einer minimalen Länge von $82,6\text{m}$ (2 Felder) auszuführen.

4.9 Rampen und Änderungen der Längsneigung

Für die Auf- und Abfahrten der Hochfahrwege, sowie für niveaufreie Kreuzungen, sind Rampen erforderlich. Die Bezeichnung „Rampe“ wird hier nur für im Grundriss gerade Trassierungselemente verwendet, die zur Überwindung von Höhenunterschieden angeordnet werden. Für das geplante Netz ist vorwiegend eine Höhe von $5,50\text{m}$ zwischen Level 0 und Level 1 und eine Höhe von $4,50\text{m}$ zwischen Level 1 und Level 2 mit Hilfe der Rampen zu überwinden. In Abhängigkeit der Entwurfsgeschwindigkeit ($v=30\text{km/h}$, 50km/h und 80km/h) ergeben sich in Abhängigkeit des maximalen vertikalen Rucks und Beschleunigung erforderliche Kuppen- und Wannensradien sowie die zugehörigen Längen.

Für eine Änderung der Längsneigung im QUICKWAY Netz werden ebenfalls die Wannens- und Kuppen Segmente verwendet. Die Änderung der Längsneigung wird durch die Variation der Länge des Segments ermöglicht. Hierfür wird die Fuge zwischen den Segmenten normal zur Fahrspur angeordnet.

5 Zusammenfassung

Mit seinen hervorragenden Eigenschaften bietet UHPFRC die Möglichkeit, bisher nicht erreichbare schlanke und architektonisch anspruchsvolle Konstruktionen in Betonbauweise zu errichten. QUICKWAY nutzt diese Möglichkeit. Ein Baukastensystem für die modulare Bauweise mit Vorspannung und Trockenfugen wurde entwickelt. Dieses beinhaltet die verschiedenen Fahrweegelemente die für die zwei zusätzlichen Hochstraßennetze, sowie deren kreuzungsfreien Verkehrsknoten notwendig sind. Des Weiteren beinhaltet das Baukastensystem die Tragkonstruktion der Aufständigung bis zum Anschlusspunkt am Ortbetonfundament. Die multifunktionale Dachkonstruktion ist nicht Teil dieses Beitrages.

Es kann gezeigt werden, dass mit den hier dargestellten Elementen und Segmenten, das gesamte

Hochstraßennetz für QUICKWAY in einer bestehenden oder neuen Stadt errichtet werden kann. QUICKWAY ist dabei eine Alternative für die U-Bahn und eignet sich als das Verkehrskonzept für Smart Cities. Die Überlegungen zur Zusammensetzung des Netzes und die Ergebnisse der Vorstatik [6] verdeutlicht die Machbarkeit des Systems.

6 Danksagung

Das Forschungsprojekt wird durch die österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) (Vertrag Nr. 840397) gefördert. An der gemeinsamen Forschung sind S+W Wörle Sparowitz Ingenieure ZT GmbH, Hans Lechner ZT GmbH und seitens der Technischen Universität Graz das Institute für Betonbau, Baubetrieb und Bauwirtschaft sowie das Labor für konstruktiven Ingenieurbau beteiligt.

7 Literatur

- [1] Hadl, P.; Henner, S.; Kim, H.; Tue, N.V.: *Experimental investigations on the scattering in the post cracking tensile behaviour of UHP-FRC*, Kassel University Press, Kassel March 2016
- [2] Gröger, J.; Tue, N.V.; Wille, K.: *Bending Behaviour and Variation of flexural Parameters of UHPFRC, Proceedings of the 3rd International Symposium on UHPC and Nanotechnology for High Performance Construction Materials*, Kassel University Press, 2012, Kassel 2012.
- [3] Reichl, M.: *Dünnwandige Segmentfertigteilm Bauweisen im Brückenbau aus gefasertem Ultrahochleistungsbeton (UHF) – Tragverhalten, Bemessung und Konstruktion – Graz Universität of Technology, Dissertation, 2010.*
- [4] Association Française de Génie Civil (AFGC) Documents scientifiques et techniques “Betons fibres a ultra-hautes performances”, Recommandations, Juin 2013
- [5] Deutscher Ausschuss für Stahlbetonbau (DAfStb): Heft 561, Sachstandsbericht Ultrahochfester Beton“, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich, 1. Auflage 2008.
- [6] Oppeneder J., Sparowitz L., Tue N.V.: *Structural Design for the Quickway System*. Kassel University Press, 2016, Kassel 2016.
- [7] Oppeneder J., Sparowitz L., Hadl P., Freytag B., Tue N.V.: *Modular construction kit for the QUICKWAY system*. Proceedings SEMC 2016, Captown 2016.