

Dekarbonisierung Infrastrukturbauten

Technisches Fachwissen

Technischer Bericht – Teilprojekt 2

Prof. Dr. Steffen Franke
Dr. Bettina Franke

Biel/Bienne, 18. November 2023

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Wald, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: Berner Fachhochschule Architektur, Holz und Bau, Forschung und Entwicklung

Autor/Autorin: Prof. Dr. Steffen Franke, Dr. Bettina Franke

Begleitung BAFU: Christian Aebischer, Alfred W. Kammerhofer

Hinweis: Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Ausgangslage und Auftragsbeschrieb	5
2	Methodik zum Teilprojekt 2	7
3	Diskussion zu den Themenfeldern	8
3.1	Themenfeld Wildtierüberführungen	8
3.2	Themenfeld Lärmschutzwände	9
3.3	Themenfeld Brücken quer zur Achse	10
3.4	Themenfeld Tunnelzischendecken	11
3.5	Themenfeld Galerien respektive Galerien-Einhausungen	12
3.6	Themenfeld Pfähle	13
3.7	Themenfeld Stützbauwerke	14
3.8	Themenfeld Brücken längs zur Achse	15
3.9	Themenfeld Tagbautunnel	16
4	Grundlegende Massnahmen zur Umsetzungs- und Forschungsstrategie	17
4.1	Generell	17
4.2	Projektierung und statische Aspekte	18
4.3	Ausführung, Betrieb und Nutzung	18
4.4	Erhaltung/Unterhalt	19
4.5	Tagbautunnel, Galerien, Tunnelzischendecken	19
4.6	Dokumentation, Wissenstransfer, Wissensaufbau und -vermittlung	20
4.7	Massnahmen und Wirkung	20
5	Zusammenfassung	22
6	Literatur zum Bericht	22
ANHANG		23
	Wildtierüberführungen – Technische Grössen, Randbedingungen	25
	Wildtierüberführungen – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie	26
	Wildtierüberführungen - SWOT Analyse	27
	Lärmschutzwände (LSW) - Technische Grössen, Randbedingungen	28
	Lärmschutzwände – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie	29
	Lärmschutzwände - SWOT Analyse	30
	Brücken quer zur Achse - Technische Grössen, Randbedingungen	31
	Brücken quer zur Achse – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie	32
	Brücken quer zur Achse - SWOT Analyse	33
	Tunnelzischendecken - Technische Grössen, Randbedingungen	34
	Tunnelzischendecken – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie	35
	Tunnelzischendecken - SWOT Analyse	36
	Galerien, Einhausungen - Technische Grössen, Randbedingungen	37
	Galerien, Einhausungen – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie	38
	Galerien, Einhausungen - SWOT Analyse	39

Pfähle - Technische Grössen, Randbedingungen	40
Pfähle - Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie	41
Pfähle - SWOT Analyse	42
Stützbauwerke - Technische Grössen, Randbedingungen	43
Stützbauwerke - Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie	44
Stützbauwerke - SWOT Analyse	45
Brücken in Achse - Technische Grössen, Randbedingungen	46
Brücken in Achse - Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie	47
Brücken in Achse - SWOT-Analyse	48
Tagbautunnels - Technische Grössen, Randbedingungen	49
Tagbautunnels - Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie	50
Tagbautunnels - SWOT Analyse	51

1 Ausgangslage und Auftragsbeschreibung

Das BAUFU hat die BFH beauftragt, eine Forschungs- und Umsetzungsstrategie zur Dekarbonisierung von Infrastrukturbauten auszuarbeiten. Dem Auftrag durch das BAUFU liegt die Motion 21.3293, SR Jakob Stark, «Erforschung und Innovation des Werkstoffs Holz für den Einsatz im Infrastrukturbau als Dekarbonisierungs-Beitrag» zugrunde. Ziel der Motion ist die Beauftragung des Bundesrats, «in Zusammenarbeit mit den Hochschulen und den einschlägigen Normenkommissionen die Möglichkeiten zur Dekarbonisierung des Infrastrukturbaus zu erforschen. Insbesondere [sei] zu prüfen bzw. anzustreben, Stahlbeton durch CO₂-speichernde Materialien zu ergänzen bzw. zu ersetzen. Dabei soll die Erforschung und Innovation des Werkstoffs Holz für den breiten Einsatz im Infrastrukturbau im Vordergrund stehen. Es ist eine entsprechende Forschungs- und Umsetzungs-Strategie auszuarbeiten.»

Der Auftrag an die BFH umfasst drei Teilprojekte, die in Anlehnung an den Gesamtprozess von der Vergabe bis zum Rückbau von Infrastrukturbauten gegliedert sind (vgl. Abb. 1). Das Teilprojekt 1 umfasst im Wesentlichen die Prozesse der Vergabe, der Initiierung eines Projekts unter Berücksichtigung der Entscheidungsträger, und der Beschaffung. Im Teilprojekt 2 wird das technische Fachwissen mit der Aus- und Weiterbildung, der Gesetzgebung und der Normung für die Phasen der Projektierung, der Ausführung, der Nutzung und der Erhaltung für jedes Themenfeld bearbeitet. Im Teilprojekt 3 werden schliesslich eine Abschätzung des Dekarbonisierungspotentials ausgewählter Infrastrukturbauten vorgenommen sowie Massnahmen zur Sicherstellung der stofflichen Verwertung am Lebenszyklusende ausgearbeitet. Jedes Teilprojekt mündet in einen technischen Bericht.

Die Auswahl der Typen von Infrastrukturbauten – im Folgenden als Themenfelder bezeichnet – wurde in Anlehnung an die Definition von Infrastrukturbauten gemäss SIA 112/2 vorgenommen. Eine Übersicht über die Themenfelder findet sich in Abb. 2.

Dem Motionstext und dem daraus resultierenden Auftrag durch das BAUFU entsprechend wird in den drei Teilprojekten auf den Werkstoff Holz fokussiert, wobei für Baugruppen bzw. -teil einiger betrachteter Objekte auch eine Kombination bzw. ein Verbund aus Holz und Beton berücksichtigt wird.

Grundsätzlich gilt heute für Infrastrukturbauten eine Präferenz für den Werkstoff Beton, während die Holzbauweise in den vergangenen hundert Jahren vergleichsweise wenig bis gar nicht zum Einsatz kam. Entsprechend niedrig fällt daher auch der wissenschaftlich-technische Kenntnisstand für einige Themenfelder aus. Die in der Motion 21.3293 geforderte Ausarbeitung einer Forschungs- und Umsetzungsstrategie erfordert gerade deshalb, diese bisher nicht in Holz ausgeführten Infrastrukturbauten in die Betrachtung einzubeziehen. Dieses gilt auch, wenn entsprechende Bauten nach heutigem Stand der Normung und reglementarischen Vorgaben nicht realisiert werden können. Es werden in den vorliegenden Berichten also bewusst auch Konzepte skizziert, für die der Nachweis der Umsetzbarkeit noch nicht erbracht ist, um so die Wissenslücken und den Forschungsbedarf, ggf. aber auch das Potential, aufzeigen zu können.

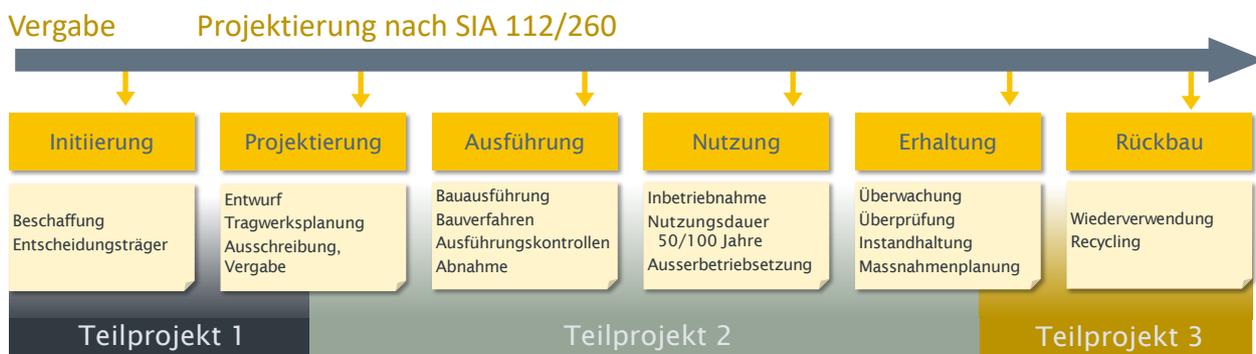


Abb. 1: Phasen der Vergabe und Projektierung zur Ableitung der Teilprojekte. Teilprojekt 3 schliesst ausserdem eine vereinfachte Ökobilanzierung ein.

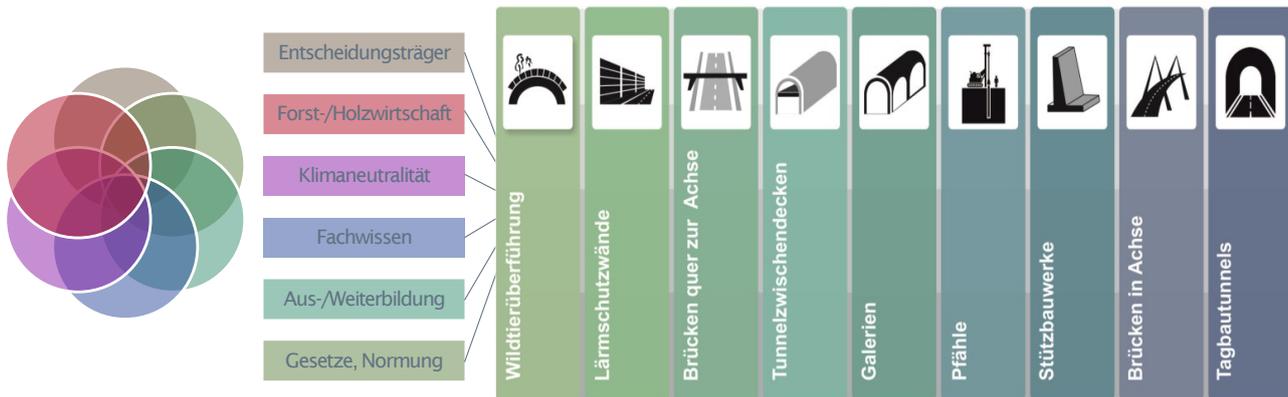


Abb. 2: Grafischer Überblick zu den neun Themenfelder und Verknüpfung zu den wesentlichen Inhalten/Querschnittsthemen

Das Vorgehen und die Ergebnisse für das Teilprojekt 2 werden im vorliegenden Bericht dargestellt. Die gewählte und besprochene Methodik zur Umsetzung ist in Kapitel 2 erläutert. Im Kapitel 3 erfolgt eine Diskussion des technischen vorhandenen und offenen Wissens des Holzeinsatzes in den jeweiligen Themenfeldern als Grundlage zur Ableitung der Forschungs- und Umsetzungsstrategie im Kapitel 4. Im Anhang sind alle Factsheets, mit den für die Durchführung der Workshops relevanten Grundlagen und die abgeleiteten SWOT-Analysen dargestellt.

2 Methodik zum Teilprojekt 2

Im Teilprojekt 2 wurde der Stand des Wissens und der Technik für jedes Themenfeld zu den Querschnittsthemen Fachwissen, Aus- und Weiterbildung, Gesetzgebung, Normung in Fact-Sheets zusammengestellt, siehe Anhang. Die Fact-Sheets dienen der Orientierung und beziehen sich im Wesentlichen auf Normen, Standards und Literatur aus der Schweiz, ergänzt durch Fachliteratur aus den europäischen Nachbarländern Deutschland und Österreich sowie dem skandinavischen Raum. Wie in der Einleitung erwähnt, liegt der Fokus auf dem Werkstoff Holz und seinen Produkten. Weitergehende nachhaltige Produkte, z. B. auf der Basis von Bambus oder Schilf, sind im Stand der Technik nicht explizit berücksichtigt. Entwicklungen und Anwendungen zu diesen weiteren nachhaltigen Produkten beginnen gerade und sind in weiteren Massnahmen zu berücksichtigen. Die Recherche erfolgte nach bestem Wissen und wurde mit den Fachexperten des Workshops diskutiert und ergänzt. Aufgrund der Vielfalt und der raschen Entwicklung der Forschung und Wissenschaften besteht kein Anspruch auf Vollständigkeit.

Die Fact-Sheets bildeten die Grundlage für die Diskussionen in den Workshop mit den Fachexperten. Es wurden hieran Wissenslücken abgeleitet und SWOT-Analysen gemeinsam durchgeführt. Die kollektiv zusammengestellten Inhalte dienen der Ableitung der Forschungs- und Umsetzungsstrategie innerhalb des Teilprojektes 2. Die Komplexität in den Anforderungen und für die Ableitung von Querschnittsthemen wurde mit Netzanalysen gearbeitet, vgl. Abb. 3. In den Netzanalysen wurden die drei Abstufungen 0 - keine, 1 - wenig, 2 - mittlere, 3 - ausreichend Kenntnisse/Grundlagen/Dokumente verwendet. Für die Vergleichbarkeit der Themenfelder untereinander erfolgte eine Kontinuität in den Fachthemen. Ist ein Fachthema nichtzutreffend für das Themenfeld wurde dies mit 3 - ausreichend gleichgesetzt. Zur Darstellung der Bedürfnisse in der Umsetzungs- und Forschungsstrategie liegt der Schwerpunkt dann auf den Minima der Netzanalyse. Im Abschnitt 4 sind grundlegenden Querschnittsthemen gruppierend und als Massnahmen in der Gesamtheit betrachtet.

Die Fachexperten/innen (siehe Anhang) haben aktiv im Workshop und Interviews des Teilprojektes 2 mitgewirkt. Wir danken ihnen für ihr Engagement im Rahmen des Workshops und des Review-Prozesses sowie den Mitgliedern des Fach- und Projektausschusses für die Korrekturen und Anmerkungen im Review Prozess.

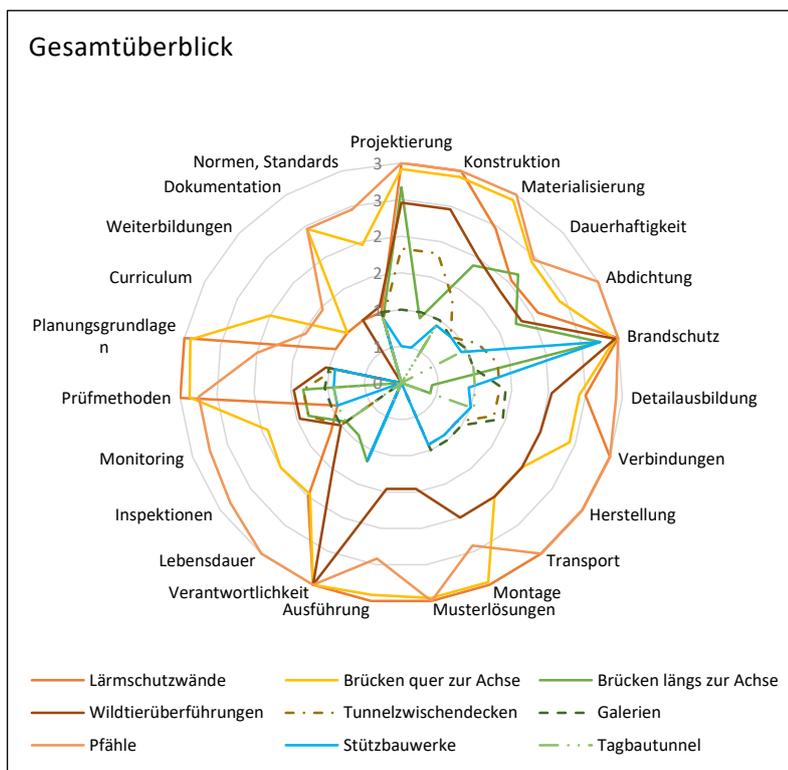


Abb. 3: Netzanalyse über alle neun definierten Themenfeldern

3 Diskussion zu den Themenfeldern

3.1 Themenfeld Wildtierüberführungen

Die folgenden Ausführungen sind vorrangig für Wildtierüberführungen über National- und Kantonstrassen. In den Geometrien müssen Spannweiten von ca. 20 Metern pro Fahrtrichtung einzeln oder über beide Fahrspuren zusammen realisiert werden. Die Breite/Tiefe eine Wildtierbrücke kann von 50 bis 80 Metern variieren, vgl. Anhang. In der Schweiz wurden 2020 und 2021 zwei erste Wildtierbrücken aus Holz realisiert und weitere sind in Planung. Die Realisierung von Wildtierbrücken aus Holz ist mit einer gewissen Präsenz und Sichtbarkeit verbunden, was dazu beiträgt, dass in der Gesellschaft ein Umdenken in Bezug auf die Leistungsfähigkeit von Holz stattfindet. Das geringe Eigengewicht der Tragkonstruktion, kurze Montagezeiten durch einen hohen Vorfertigungsgrad und die Zugänglichkeit der Tragelemente sowie deren Austauschbarkeit sind Vorteile von Wildtierbrücken in Holzbauweise. Die aktuell ausgeführten und in Planung befindlichen Wildtierüberführungen zeigen, dass diese Bauwerke umsetzbar sind, aber jede Planung neu erfolgt. Ein grosses Potential liegt in der Standardisierung für verschiedene Spannweiten und Erarbeitung abgesicherter Details damit einer breiteren und gleichzeitig sichere Anwendbarkeit ohne grossen neuen Planungsaufwand gegeben ist. In der Netzanalyse, vgl. Abb. 4, wird ein sich entwickelnder Trend mit folgenden offenen Punkten aufgezeigt:

- ▶ Regeldetails und gesichert funktionierende Konstruktionsdetails für eine standardisierte Planung und Ausführung (Holzschutzanwendung)
- ▶ Geprüfte und bewährte Abdichtungssysteme und Aufbauten (Durchwurzelungsschutz) generalisieren und dokumentieren
- ▶ Betrachtung der klimatischen Beanspruchung des Holztragwerkes (Feuchte in Fahrbahnebene) in Bezug auf die Notwendigkeit des Einsatzes von imprägnierten Hölzern
- ▶ Robustheitskonzepte erarbeiten, Integration von Frühwarnsystemen
- ▶ Dauerhafte (entsprechende der vereinbarten Nutzungsdauer) Monitoringsysteme zur Überwachung der Holzfeuchte und Detektion von Leckagen, Wirksamkeit der Abdichtungen über die Nutzungsdauer, fehlende Langzeiterfahrungen
- ▶ Montagekonzepte erarbeiten, die eine Einschränkung des Fahrbetriebs während der Errichtung berücksichtigen
- ▶ Umsetzungsbeschriebe von realisierten Projekten
- ▶ Qualitätshandbuch für den Unterhalt und Erhaltung, Inspektionsprotokolle (digitalisiert und BIM integriert), Instandhaltungskonzepte
- ▶ Aufnahme in die Aus- und Weiterbildungsprogramme von Ingenieuren/innen

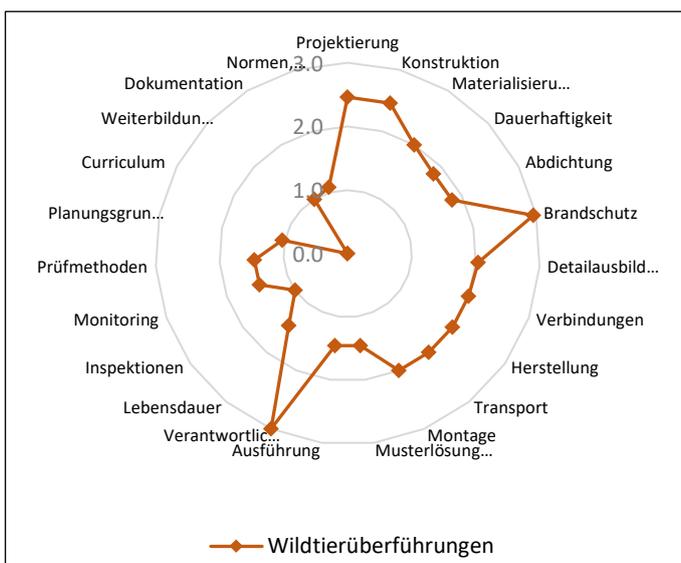


Abb. 4: Wildtierüberführungen – Beziehung zwischen Bedarf und vorhandenen Grundlagen

3.2 Themenfeld Lärmschutzwände

Die Realisierung von Lärmschutzwänden mit nachhaltigen Materialien, explizit Holz, ist bereits gestartet, dokumentiert und in der Branche etabliert. Der Praxis bzw. den Bauherren stehen technische Lösungen mit einem hohen Detaillierungsgrad sowie mehrere Anbieter von Kassetten-Varianten mit Details zur Staunässevermeidung und geprüften Lärmschutzeigenschaften zur Verfügung. Am Markt sind die gebauten Objekte aber noch in der Minderheit und eine aktive Marktzunahme ist nicht zu verzeichnen. Dies ist primär nicht auf fehlende technische Lösungen zurückzuführen, sondern liegt insbesondere im Bereich der Ausschreibung und der generellen Kenntnis. Die Netzanalyse zu Lärmschutzwänden in Abb. 5 zeigt sehr deutlich die Defizite im Bereich Aus- und Weiterbildung, Curriculum und Dokumentation. Für Lärmschutzwände im Bereich von Nationalstrassen sind die Anforderungen in den Dokumenten des ASTRA enthalten. Die Initiative des ASTRA «Photovoltaikanlagen entlang Nationalstrassen» könnte zu einer gleichzeitigen Stärkung von nachhaltigen Tragkonstruktionen führen und Synergien genutzt werden. Für die Umsetzungs- und Forschungsstrategie leiten sich folgende offene Punkte ab:

- ▶ Informationstransfer/-kampagnen und Ausschreibungsvorlagen, Prüfen/Erarbeiten von Einträgen im Normenpositionenkatalog (NPK)
- ▶ Massnahmen und Lösungen zur Kreislaufwirtschaft auf Elementebene erarbeiten
- ▶ Eine Katalogisierung von Lärmschutzwänden aus Holz könnte den Auftraggebern, Planenden und Ausführenden dienen, den Markt der Anbieter erweitern und die praktische Umsetzung erhöhen.
- ▶ Dokumentation und Veröffentlichung bewährter Details zur Reduzierung von Staunässe zur Qualitätssicherung und Dauerhaftigkeit , evtl. weitere Verbesserung durch Forschung
- ▶ Adaption von Profilierungen der Oberfläche zur erweiterten Sicherstellung des Schallschutzes (erhöhte, individuelle Anforderungen) und Erweiterung durch neue Forschungsergebnisse
- ▶ Prüfung von Kombination der Lärmschutzwände mit Holz-Pfahlgründung unter Einhaltung der Nutzungsdauer (ASTRA 100 Jahre) bezüglich Eignung, Umsetzung, Nachhaltigkeit
- ▶ Prüfung der Notwendigkeit von imprägnierten Hölzern (Anbieter vorhanden), alternative Verfahren

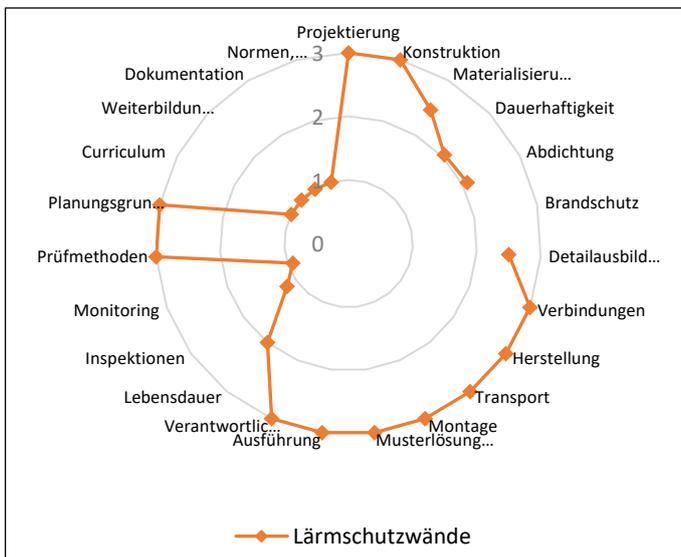


Abb. 5: Lärmschutzwände – Beziehung zwischen Bedarf und vorhandenen Grundlagen

3.3 Themenfeld Brücken quer zur Achse

Anhand der vorhandenen technischen Dokumente und realisierten Holzbrücken auf Kantons- und Gemeindeebene ist eine breite Palette an grundlegenden technischen Lösungen für die Realisierung von Brücken quer zur Achse für den Langsam- und teils Schwerlastverkehr gegeben. Brücken für Langsamverkehr, bei welchen das gesamte Tragwerk des Überbaus aus Holz (+ Stahl, zum Teil + Vorspannung) besteht, können mit den Details gemäss der aktuell publizierten VSS-Norm eine akzeptable Nutzungsdauer erreichen.. Die Dokumentation von Brückentypologien, Brückenquerschnitten und Regeldetails ist noch nicht auf Ebene ASTRA erfolgt. Die Einführung des revidierten Eurocode 5 - Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 2: Brücken ist für 2025 vorgesehen und enthält wesentliche Neuerungen, fachliche Anpassungen und generelle Anforderungen an Details zur Ausführung, die die Planenden und Ausführenden unterstützen. Die Einführung und Anwendung aller Details sind jedoch für den Schweizer Markt zu prüfen. Aktuell werden Details noch zumeist individuell in den Planungsbüros entworfen. Brücken in Holz haben Tradition aber aufgrund des geringen Marktanteiles und gerade im Neubaubereich sind die erforderlichen Kenntnisse noch nicht im gleichwertigen Mass und Tiefe wie für andere Materialien verfügbar. Die Netzanalyse verdeutlicht die guten Grundlagen in den einzelnen Themenbereichen, Abb. 6.

Für die Umsetzungs- und Forschungsstrategie leiten sich folgende offene Punkte ab:

- ▶ Geprüfte und bestätigte Detaillösungen und Systemaufbauten für die Fahrbahn inkl. Fahrbahnplatte mit Unterscheidung zwischen Langsamverkehr und Schwerlastverkehr. Brückenentwässerungen mit zugehörigen Abdichtungen, Fahrbahnplatten durchdringenden Einlaufschächten und Reinigungsschächten sind betriebsintensiv und bekannte Schwachpunkte die zu lösen sind.
- ▶ Prüfungen zur Absicherung der Nutzungsdauer der Fahrbahnplatte und Fahrbahnaufbau für den Schwerlastverkehr mit LKW-Radlasten (Last, Bremskraft, Querkräfte in Kurven, Ermüdung); Einbeziehung von Materialkombinationen (Holz-Beton-Verbund, Holz-UHFB-Verbund)
- ▶ Berücksichtigung von firmenneutralen Verbindungen, mögliche Katalogisierung
- ▶ Erweiterung der Kenntnisse zu integralen und teil-integralen Brücken, schiefen Querrungen und klotoidenförmigen Brücken quer zur Achse
- ▶ Erhöhung der Nutzungsdauer durch die technische Ausführung von Brücken ohne Fahrbahnübergänge, Brücken quer zur Achse werden auf unter 100 m geschätzt und hier sollten neu Fahrbahnübergänge technisch ausgeschlossen werden
- ▶ Untersuchung des Verbundverhaltens von Holz-Beton, Holz-UHFB und Holz-Stahl-; Aspekte der Tragfähigkeit, Verformungen, Dauerhaftigkeit (Feuchtigkeit) und Ermüdung sind zu prüfen, dabei sollen nicht zuzulassende Produkte, sondern normierbare Lösungen das Ziel sein.
- ▶ Zusammenstellung wichtiger grundlegender Daten und Erfahrungsaufbau zur Robustheit, Langzeittragverhalten und Ermüdung von Brücken quer zur Achse für eine Lebensdauer von 100 Jahren
- ▶ Kenntnisse zu den klimatischen Bedingungen im Auflager-/Widerlagerbereich durch den Einfluss von Sprühnebel, Luftzirkulation, Austrocknung, Materialisierung in diesem Bereich abstimmen
- ▶ Unterhaltskonzepte und Detailausbildung, Zugänglichkeit der Tragkonstruktion, Sichtbarkeit der Elemente, neue dauerhafte Monitoringsystem zur Überwachung des Feuchtegehaltes im Holz
- ▶ Kriechverhalten von vorgespannten Brücken, Materialisierung der Spannritzen, Langzeit-Kriechen und Deformationsverhalten

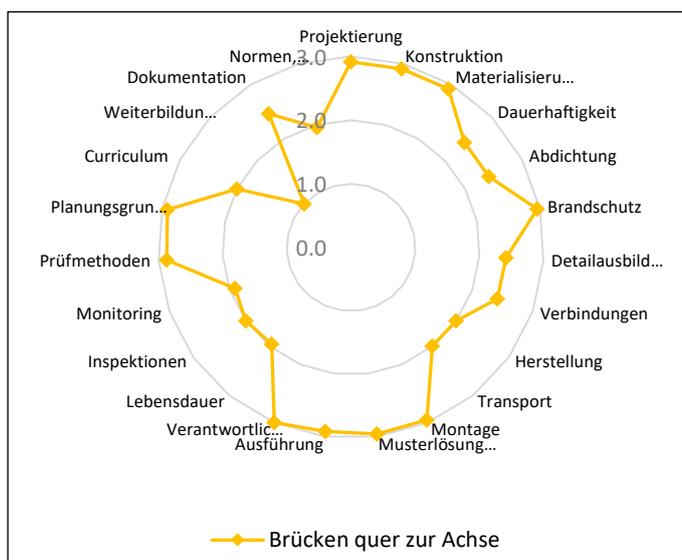


Abb. 6: Brücken quer zur Achse - Beziehung zwischen Bedarf und vorhandenen Grundlagen

- ▶ Muster - Ausschreibungstexte sind zu erarbeiten
- ▶ Qualitätszirkel, qualitative Aus- und Weiterbildung im Bereich Holzbrückenbau
- ▶ Standardbrücken für die Realisierung der Velowege

3.4 Themenfeld Tunnelzischendecken

Tunnelzischendecken trennen den Lüftungskanal vom darunterliegenden Fahrraum. Im Brandfall werden hier Rauch und andere Gase aus dem Fahrraum abgesogen und weitergeleitet. In dieser Situation können extreme Hitzebeanspruchungen erfolgen. Aktuell wird in den technischen Anforderungen des ASTRA aus diesem Grund nach einer Ausführung in Stahlbeton verlangt. Die Netzanalyse in Abb. 7 zur Realisierung von Tunnelzischendecken in Holz und die Anforderungen zur Sicherstellung des Personenschutzes, des Brandschutzes und der Dauerhaftigkeit führen zu den nachfolgenden offenen Punkten. Generell stand in den Diskussionen stets der Personenschutz im Vordergrund. Alle Beteiligte sehen hier einen grossen Forschungsbedarf, um neben den statischen Anforderungen den Betriebsanforderungen gerecht zu werden.

- ▶ Bewertung und Entwicklung von Brandschutzkonzepten bezogen auf das Material Holz, Ausschluss von Dominoeffekt
- ▶ Betrachtung von ergänzenden technischen Lösungen zur Reduzierung der Gefahr des Brandes, der entstehenden Hitze- und Rauchentwicklung
- ▶ Experimentelle Bewertung einer effektiven Brandlast mit Ausführungen in Holz, Beachtung der ISO-Kurve und effektive Brandbeanspruchung HCinc
- ▶ Generelle Sicherheits- und Risikoanalyse, Robustheitskonzepte
- ▶ Spezifischer Materialisierung, Prüfung einer Zusatzebene/Beplankung mit erhöhter Austauschbarkeit nach Brandfall
- ▶ Adaption und Entwicklung von Befestigungen, Detailausbildung (Druck/Sog)
- ▶ Versuche zum Langzeittragverhalten zur Bewertung der Verformung und Schwingungsanfälligkeit
- ▶ Erkenntnisse und Definition der klimatischen Beanspruchungen im Fahrraum
- ▶ Mockups und Pilotprojekte zur Gewinnung von Erkenntnissen und Feldversuchen
- ▶ Entwicklung von Montagekonzepten, modulare Vorfertigung
- ▶ Konzeption von Monitoringsystemen als Frühwarnsystem im Ereignis-, Schadensfall
- ▶ Fugenausbildung zur Gewährleistung der Dichtigkeit im Brandfall
- ▶ Einbindung in Aus- und Weiterbildung, wenn Umsetzungskonzepte verfügbar sind

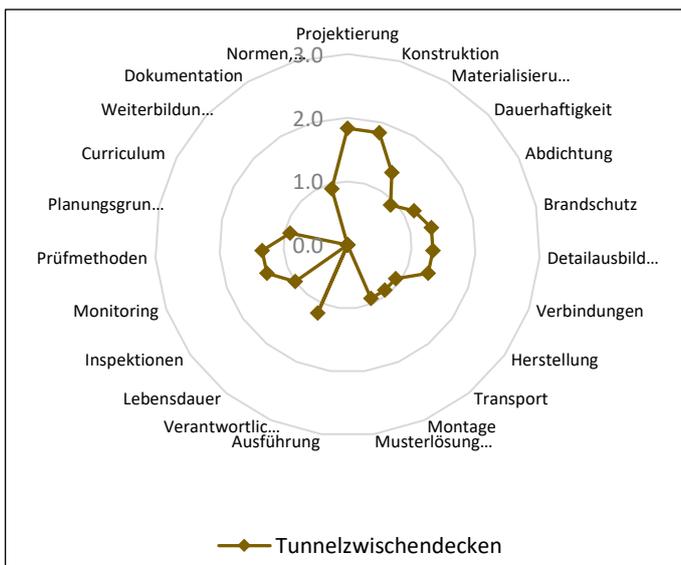


Abb. 7: Tunnelzischendecken – Beziehung zwischen Bedarf und vorhandenen Grundlagen

3.5 Themenfeld Galerien respektive Galerien-Einhausungen

Das Themenfeld Galerien umfasst Schutzbauten gegenüber Lärm, Steinschlag, Lawinen und weitere Naturgewalten. In den Diskussionen mit den Experten wurde als Beispiel zunächst nur eine Lärmschutzgalerie betrachtet. Galerien gegen gravitative Naturgewalten (Steinschlag, Lawinen) erfordern einen hohen duktilen Widerstand der Konstruktion, der mit gegenwärtigem Kenntnisstand im Holzbau noch nicht vorliegt. Eine erste Lärmschutzgalerie aus Holz ist in einer Machbarkeitsstudie an der ETH entworfen worden, Kern & Müllhaupt 2023. Die Entwürfe zeigen zum einem ein hohes Potential, aber zum anderen auch noch offene technischen Fragen wie auch in der Netzanalyse ersichtlich, Abb. 8. Generell stand in den Diskussionen stets der Schutz des in der Galerie geführten Verkehrsträgers im Vordergrund. Hier wird von allen Beteiligten ein grosser Forschungsbedarf gesehen, um nicht nur den statischen, sondern auch den betrieblichen Anforderungen gerecht zu werden. Für die Umsetzungs- und Forschungsstrategie leiten sich folgende offene Punkte ab:

- ▶ Generelle Tragwerks- und Robustheitskonzepte, insbesondere Bewertung von Impulslasten, Verformungen und Dimensionen bei den erhöhten Anforderungen für Galerien gegen gravitative Einwirkungen
- ▶ Abdichtungskonzepte inkl. Materialisierung für erdberührte Oberflächen
- ▶ Nachweis des Brandschutzes anhand vorhandener Methoden oder Applizierung von neuen rauch- und brandreduzierenden Technologien, Abführung von Rauch und Wärme
- ▶ Generelle Konstruktionsregeln und Detailösungen
- ▶ Sicherheits- und Risikoanalyse, Dauerhaftigkeit
- ▶ Kenntnis zu klimatischen Einwirkungsdaten (Feuchte-, Klimaentwicklung, Luftzirkulation, Abtrocknungsvermögen)
- ▶ Pilotprojekte zur Prüfung/Bewertung von entwickelten Details, Montagestössen und Segmentierungen für die Ausführung
- ▶ Unterhalts- und Inspektionskonzepte, Qualitätshandbuch
- ▶ Überwachung der Abdichtung von erdberührten Bauteilen, eingeschränkte Zugänglichkeit und Sichtbarkeit ist zu beachten
- ▶ Musterverträge mit Verantwortlichkeiten
- ▶ Mit Vorlage von Konzepten zur Ausführung Aufnahme in das Aus- und Weiterbildungsprogramm

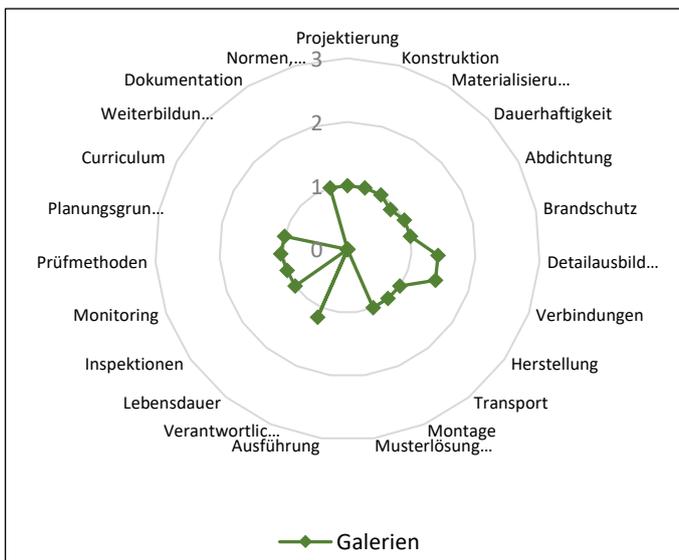


Abb. 8: Galerien – Beziehung zwischen Bedarf und vorhandenen Grundlagen

3.6 Themenfeld Pfähle

Pfähle in Holz sind historisch bewährt und in der Vergangenheit in einer Vielzahl von Projekten in der Schweiz und International eingesetzt. Aktuell werden Pfähle in Holz sehr selten eingesetzt, obwohl sie mit kurzen Ausführungszeiten und weniger Rammlärm verbunden sind. Ferne sind sie nicht schlechter oder besser als Pfähle in Beton kontrollierbar. Gerade in Bereichen mit dauernd anstehenden Grundwasser haben Pfähle aus Holz eine Beständigkeit von über 100 Jahren bewiesen. Das technische Fachwissen und die Grundlagen sind wie in der Netzanalyse gezeigt bekannt, vgl. Abb. 9. Zur Reaktivierung des Einsatzes von Pfählen aus Holz wurden folgende Punkte skizziert:

- ▶ Dokumentation und Regelung der mechanischen Eigenschaften in Abhängigkeit von Holzart, Dimension und Traglast, rationell einsetzbare Systemlösungen
- ▶ Erweiterung und Prüfung neuer Materialien, Holzprodukte wie u.a. Brettschichtholz
- ▶ Neue Grössen von 1 bis 3 Metern Durchmesser in Bezug auf Tragfähigkeit prüfen
- ▶ Konstruktive Ausbildung des Details Übergang Pfahl zum Tragwerk
- ▶ Zu erwartende Erschütterungen und erschütterungsinduzierte Setzungen identifizieren
- ▶ Überprüfung welcher Feuchtegehalt ist ausreichend für «dauernd nass», für die Beständigkeit der Holzpfähle
- ▶ Überprüfung aktueller Rammtechniken mit Betrachtung des Vorbohrens, der Spitzenausführung und der Sicherung des Pfahlkopfes während des Rammens
- ▶ Mustertexte zur Ausschreibung und Nutzungsvereinbarung
- ▶ Monitoring zur Sicherstellung der Kontinuität des Grundwasserspiegels
- ▶ Wiederaufnahme in die Aus- und Weiterbildung

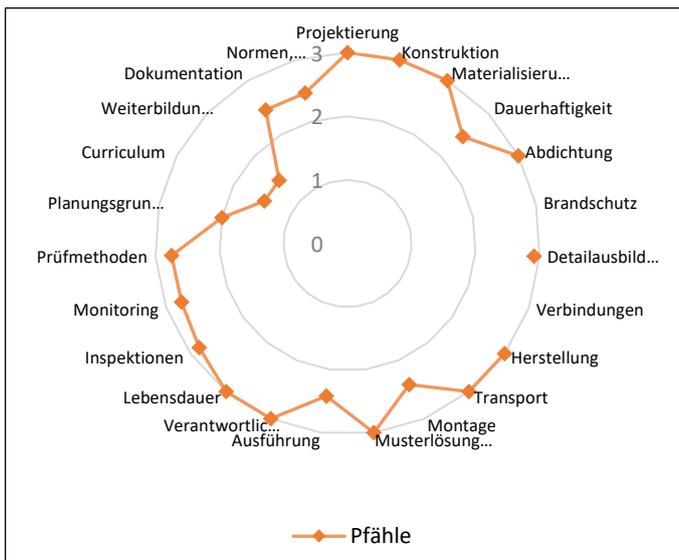


Abb. 9: Pfähle – Beziehung zwischen Bedarf und vorhandenen Grundlagen

3.7 Themenfeld Stützbauwerke

Stützbauwerke dienen der Stützung des Untergrundes ober- oder unterhalb der Trasse, wenn eine natürliche Böschung aus Platzgründen oder geotechnischen Gründen nicht möglich ist. Stützbauwerke in Holz sind als temporäre Bauten für den Baugrubenverbau unter dem Begriff Rühlwand, Trägerbohlwand oder Berliner/Essener/Hamburger-Verbau bekannt. Die Entwicklung von Baukastensystemen könnte zu einer rationellen Bauweise mit hohem zu erwartendem Einsatz führen. Stütztragwerke in Holz für permanente Nutzung sind nicht Stand der Technik und erfordern noch erhöhten Forschungsbedarf in folgenden Punkten, vgl. auch die Netzanalyse in Abb. 10:

- ▶ Dauerhaftigkeit und Abdichtungskonzepte für die Bereiche ständiger Erdkontakt
- ▶ Materialisierung im Zusammenhang mit Holzschutzkonzepten, im Vordergrund steht der konstruktive Holzschutz neben Imprägnierungen/Modifizierungen
- ▶ Ausbildung eines permanenten Stütztragwerkes aus Holz basierend auf bekannten temporären Stütztragwerken aus Holz; Betrachtung des geringen Eigengewichtes von Holz in Bezug auf das allgemeine Stützkonzept; Prüfung des Einsatzes einer Verankerung, biegesteifer Rahmen oder Winkelverbindung
- ▶ Klimatische Beanspruchung allgemein und auf Höhe Fahrbahnebene, in Feldversuchen bestimmen
- ▶ Ausführungsstudien mit Musterlösungen; Pilotprojekte oder Feldstudien mit kurzem Abschnitt in Holz
- ▶ Generelle Sicherheits- und Risikoanalyse für das Tragwerk
- ▶ Langzeittragverhalten, Nutzungsdauer 100 Jahre
- ▶ Qualitätssicherung; Zustandserfassung und Überwachung unter Anwendung von dauerhaftem Monitoringsystem als Frühwarnsystem
- ▶ Instandsetzungs- und Ersetzungsmassnahmen sind zu erarbeiten
- ▶ Musterverträge zu den Verantwortlichkeiten
- ▶ Nach erfolgreicher Pilotrealisierung Aufnahme von Lösungen in der Aus- und Weiterbildung als Spezialgebiete in der Geotechnik

Eine ebenfalls nachhaltige Alternative ist die Ausbildung von Stützbauwerken aus Natursteinen.

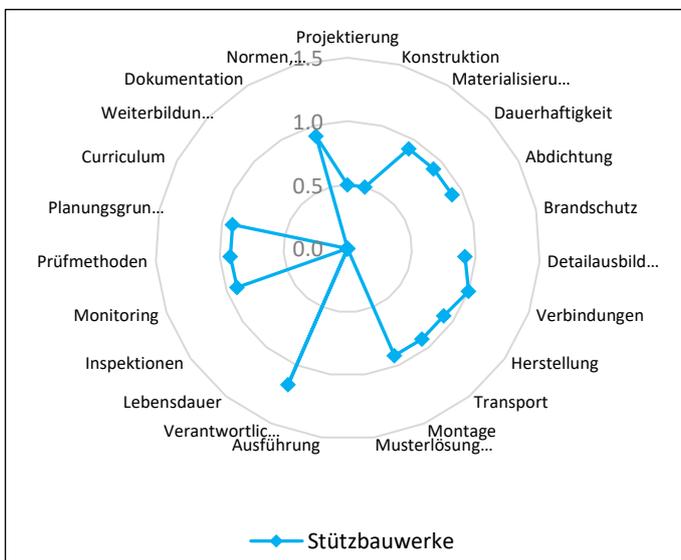


Abb. 10: Stützbauwerke – Beziehung zwischen Bedarf und vorhandenen Grundlagen

3.8 Themenfeld Brücken längs zur Achse

Das Themenfeld Brücken längs zur Achse umfasst Brücken für die ordentlichen Verkehrslastmodelle für Strassenlasten gemäss SIA 261 bzw. Eurocode 1 ohne projektspezifische Abminderungen (i. W. Schwerlastbrücken) entlang der Trasse des Verkehrsweges. Es wird hier mit zwei bis drei Fahrspuren plus Pannenstreifen je Fahrtrichtung geplant. Die Spannweiten der Brücken längs zur Achse leiten sich aus der Geografie von 40 - 60 Metern je Feld ab. Eine Realisierung von Brücken längs zur Achse in diesen Dimensionen ist für den Schwerlastverkehr in Holz national wie international noch nicht realisiert. Die Netzanalyse der technischen Themengebiete zeigt noch sehr deutlich einen hohen Bedarf an Forschung auf, um zukünftig geprüfte und bewährte Lösungen für Brücken längs zur Achse zu realisieren, vgl. Abb. 11. In «Machbarkeitsstudie zu Schwerlastbrücken aus Holz», WHFF 2021.15, einem aktuell laufenden Forschungsvorhaben, werden Brückentypologien, Brückenquerschnitte und die Ausführung wie auch Detailausbildung in ersten Ansätzen betrachtet. Die Studien zeigen die generelle Machbarkeit aber auch die erforderliche Notwendigkeit nach abgesicherten und geprüften Lösungen. Es werden folgenden Schwerpunktthemen für die Realisierung in Holz oder in Kombination mit anderen Materialien notwendig:

- ▶ Spannungsoptimierte Ausführung von Brückenquerschnitten in Holz, firmenneutrale Verbindungstechnologien, mögliche Katalogisierung
- ▶ Prüfung der Vorspanntechnologie in Holz für das Tragverhalten in Längsrichtung, wie u.a. Spannliedführung, Materialisierung, Verankerung, Langzeit-Kriechen, Deformationen
- ▶ Realisierung von integralen Brücken, aufgrund der Deformationen, technische Vermeidung von Fahrbahnübergängen
- ▶ Prüfung des dynamischen Verhaltens und des Widerstandes für unterschiedliche Einwirkungen
- ▶ Systemaufbauten für die Fahrbahn inkl. Fahrbahnplatte für den Schwerlastverkehr (LKW-Radlasten mit Last, Bremskraft, Querkräfte in Kurven, Ermüdung)
- ▶ Entwicklung und Prüfung von Detaillösungen wie z. B. Schrammbordanschluss, Entwässerung, Fahrbahnübergang
- ▶ Untersuchung des Verbundverhaltens von Holz-Beton-Verbundbrücken, Aspekte der Tragfähigkeit, Verformung, Dauerhaftigkeit und Ermüdung sind zu prüfen, Ziel wären normierte Lösungen
- ▶ Prüfung der Materialkombination in Fahrbahnplatte respektive Fahrbahnaufbau (Holz-Beton-Verbund, Holz-UHFB-Verbund)
- ▶ Erfahrungsaufbau zu Redundanz, Robustheit und Langzeittragverhalten von Brücken längs zur Achse für eine Lebensdauer von 100 Jahren, Sicherstellung der Qualität
- ▶ Ausführungs- und Montageprozesse sind zu erarbeiten
- ▶ Generelle Unterhaltskonzepte, Qualitätshandbuch mit u.a. der Sicherung der Zugänglichkeit der Tragkonstruktion, Sichtbarkeit der Elemente
- ▶ Dauerhafte Monitoringsystem zur Überwachung des Feuchtegehaltes im Holz und Deformationen des Tragwerkes
- ▶ Pilot- und Mockup-Projekte im Massstab 1:1 zum Erfahrungsaufbau, der Prüfung von Lösungsansätzen und technischen Messungen im Gebrauchszustand
- ▶ Muster - Ausschreibungstexte, Musterverträge mit Pflichten sind zu erarbeiten
- ▶ Qualitätszirkel, qualitative Aus- und Weiterbildung im Bereich Holzbrückenbau

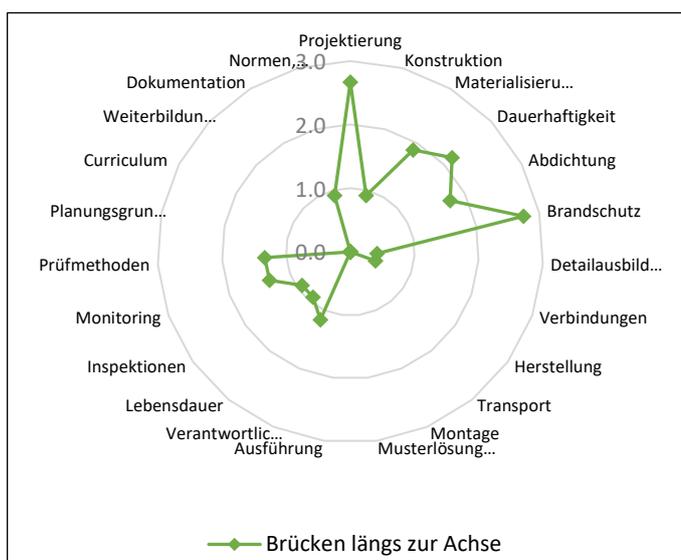


Abb. 11: Brücken längs zur Achse - Beziehung zwischen Bedarf und vorhandenen Grundlagen

3.9 Themenfeld Tagbautunnel

Tagbautunnel werden im Tagbauverfahren von der Erdoberfläche aus gegraben. Man unterscheidet zwischen Tagbautunneln und Einhausungen in Abhängigkeit der Beanspruchung aus Erd drücken. Ein erster Tagbautunnel aus Holz ist in einer Bachelorthesis an der BFH auf seine Machbarkeit betrachtet wurden, Fehse 2023. Alle Beteiligten sind der Meinung, dass in diesem Bereich ein grosser Forschungsbedarf besteht, um neben den statischen auch den betrieblichen Anforderungen gerecht zu werden. Die Netzanalyse in Abb. 12 zur Realisierung von Tagbautunneln in Holz und den Anforderungen zur Sicherstellung des Personenschutzes, Brandschutzes und Dauerhaftigkeit führen zu den nachfolgenden offenen Punkten.

- ▶ Generelle Tragwerks- und Robustheitskonzepte, Bewertung von Verformungen und Dimensionen
- ▶ Abgestimmte Berechnung und Bemessung auf Analyse der Gefährdungen und der daraus abgeleiteten massgebenden Bruchmechanismen, Adaption der Finite-Element-Methode (FEM) respektive des Bettungsmodulverfahren für die Nachweise der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit
- ▶ Nachweis des Brandschutzes anhand vorhandener Methoden oder Applizierung von neuen rauch- und brandreduzierenden Technologien, kontrollierte Abführung von Rauch und Wärme
- ▶ Generelle Konstruktionsregeln und Detaillösungen, Modularisierung und Segmentierung für die Ausführung, Ausführung des Sohlgewölbes ebenfalls aus Holz
- ▶ Abdichtungskonzepte und Materialisierung gegenüber den erdberührten Oberflächen, Einbeziehung von Monitoringkonzepten als Frühwarnsystem
- ▶ Sicherheits- und Risikoanalyse
- ▶ Betrachtung der Dauerhaftigkeit
- ▶ Kenntnis zu klimatischen Einwirkungsdaten (Feuchte-, Klimaentwicklung, Luftzirkulation, Abtrocknungsvermögen)
- ▶ Pilotprojekte zur Prüfung/Bewertung von entwickelten Details, Montagestössen und Segmentierungen für die Ausführung
- ▶ Unterhalts- und Inspektionskonzepte, Qualitätshandbuch
- ▶ Überwachung der Abdichtung von erdberührten Bauteilen, eingeschränkte Zugänglichkeit und Sichtbarkeit ist zu beachten
- ▶ Musterverträge mit Verantwortlichkeiten
- ▶ Mit Vorlage von Konzepten zur Ausführung Aufnahme in das Aus- und Weiterbildungsprogramm

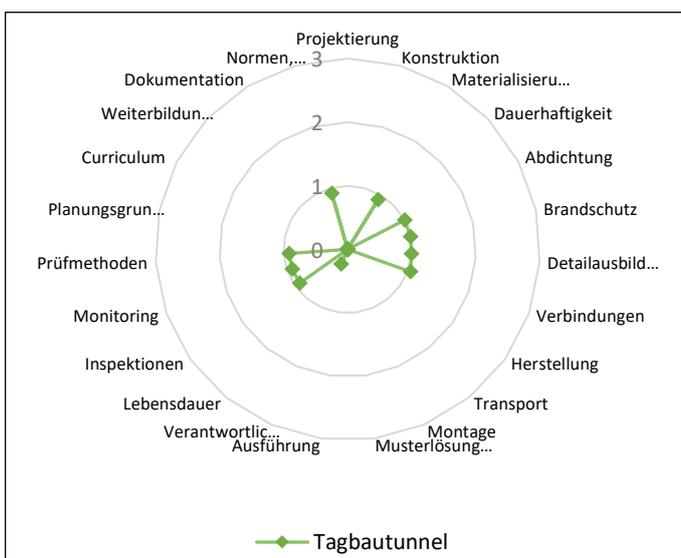


Abb. 12: Tagbautunnels – Beziehung zwischen Bedarf und vorhandenen Grundlagen

4 Grundlegende Massnahmen zur Umsetzungs- und Forschungsstrategie

4.1 Generell

Der Austausch während der Workshops und Interviews mit den Experten aus dem ASTRA, SBB und der Branche hat gezeigt, dass es ein generelles Interesse an der Dekarbonisierung der Infrastrukturbauten in der Schweiz hat. Die Mitwirkenden konnten sich mit der Materialisierung Holz identifizieren und spezifizierten die Vor- wie auch Nachteile je Themenfeld. Es wurde kontrovers diskutiert, kritisch hinterfragt und sich auch positiv geöffnet. Die Hierarchie der ASTRA-Standards, Abb. 13, war hierbei eine gute Ausgangsbasis, um vorhandenes, dokumentiertes Wissen zu reflektieren und neuen Bedarf zu identifizieren bzw. die Umsetzungsstrategie aufzubauen. Anzumerken ist, dass die ASTRA-Hierarchie mit ihren Dokumenten für das Nationalstrassennetz verbindlich ist und auf Stufe Kanton und Gemeinde informellen Charakter hat.

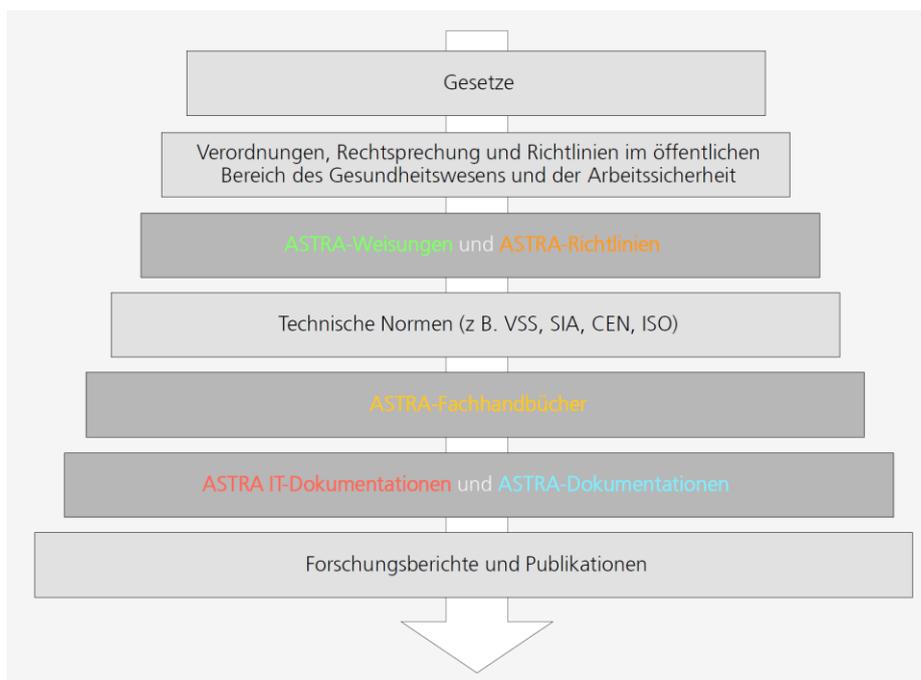


Abb. 13: Hierarchie der Standards des ASTRA, Quelle: <https://www.astra.admin.ch/astra/de/home/fachleute/dokumente-nationalstrassen/standards/hierarchie-der-standards.html>

Aus den geführten Diskussionen wurde der erforderliche Holzbedarf und dessen Sicherstellung durch die Holzwirtschaft bewusst zur Öffnung und Ideenfindung ausgeschlossen. Es ist aber allen Beteiligten, Experten und den Autoren bewusst, dass mit der Ressource Holz nachhaltig gewirtschaftet werden muss. Es benötigt auch hier zukunftsfähige Konzepte in der Forstwirtschaft für ein harmonisches Gleichgewicht zwischen Angebot und Nachfrage. Ein potenzieller Anstieg im flächenmässigen Waldanteil könnte nicht nur die Sicherung der Nachfrage fördern, sondern würde primär eine grössere natürliche CO₂ Sequestrierung hervorrufen.

Für die neun Themenfelder sind die generellen Querschnittsinhalte und -fragen in den weiteren Abschnitten zusammenfassend dargestellt. Für eine zukünftige nachhaltige Realisierungen zeigen die neun Themenfeldern in den technischen Anforderungen mitunter gleiche Bedürfnisse auf. Die offenen Punkte werden nur prägnant skizziert, auf Erörterung und Begründungen wird verzichtet. Die Grundlage hierzu bildet neben den Inhalten in den Factsheets je Themenfeld (siehe Anhang) auch eine zusammenfassende Wichtung gemäss Abb. 14. Die Wichtung ist in den folgenden Stufen erfolgt:

- ▶ 0 - keine Kenntnisse/Grundlagen/Dokumente
- ▶ 1 - wenig Kenntnisse/Grundlagen/Dokumente
- ▶ 2 - mittlere Kenntnisse/Grundlagen/Dokumente
- ▶ 3 - ausreichend Kenntnisse/Grundlagen/Dokumente
- ▶ Leer - kein Bedarf/Relevanz

Der Wissensschwerpunkt wurde grundsätzlich auf die Anwendung, Ausführung und Nutzung von Holz bezogen, weshalb mitunter in Normung, Gesetze ein «0» erscheint, auch wenn die generellen technischen Anforderungen des Themenfeldes dokumentiert sind.

Kategorien		Lärmschutz-wände	Brücken quer zur Achse	Brücken längs zur Achse	Wildtier-überführungen	Tunnelzwischen-decken	Galerien	Pfähle	Stützbauwerke	Tagbautunnel	
Fachwissen	Projektierung	Projektierung	3	2.9	2.7	2.5	1.8	1	3	0.5	0
		Konstruktion	3	2.9	0.9	2.5	1.8	1	3	0.5	0
		Materialisierung	2.5	2.9	1.9	2	1.3	1	3	0.9	0.9
		Dauerhaftigkeit	2	2.4	2.2	1.8	0.9	0.9	2.5	0.9	0
		Abdichtung	2.1	2.4	1.8	1.8	1.2	1	3	0.9	1
		Brandschutz		3	2.8	3	1.3	1			1
		Detailausbildung	2.5	2.4	0.4	2	1.3	1.4	2.9	0.9	1
		Verbindungen	3	2.4	0.4	2	1.3	1.5		1	1
	Ausführung	Herstellung	3	2	0	2	0.9	1	3	0.9	0
		Transport	3	2	0	2	0.9	1	3	0.9	0
		Montage	3	3	0	2	0.9	1	2.4	0.9	0
		Musterlösungen	3	3	0	1.5	0	0	3	0	0
		Ausführung	3	2.9	0	1.5	0	0	2.4	0	0
	Nutzung	Verantwortlichkeit	3	3	1.2	3	1.2	1.2	3	1.2	0.3
		Lebensdauer	2	2	0.9	1.5	0	0	3	0	0
	Unterhalt und Erhaltung	Inspektionen	1.2	2	0.9	1.0	1	1	2.8	0	0.9
		Monitoring	0.9	1.9	1.3	1.5	1.3	1	2.8	0.9	0.9
		Prüfmethoden	3	2.9	1.3	1.5	1.3	1	2.8	0.9	0.9
Planungsgrundlagen		3	2.9	0	1	0.9	1	2	0.9	0	
Aus- und Weiterbildung (explizit mit Holz)	Curriculum	1	2	0	0	0	0	1.5	0	0	
	Weiterbildungen	1	1	0	0	0	0	1.5	0	0	
Normung, Gesetze (explizit für Holz)	Dokumentation	1	2.5	0	1	0	0	2.5	0	0	
	Normen, Standards	1	2	0.9	1.1	0.9	1	2.5	0.9	0.9	

Abb. 14: Wichtungen zum Fachwissen, der Aus- und Weiterbildung und den Normungen über alle neun betrachtete Themenfelder zur Dekarbonisierung der Infrastrukturbauten; die Angaben sind im arithmetischen Mittel gemäss den Expertenantworten dargestellt. Es ist keine Wertung zur Eignung/Anwendung des Materials Holz und dessen Produkte im Themenbereich

4.2 Projektierung und statische Aspekte

Der Entwurf eines geeigneten Tragwerkskonzeptes entsteht anhand den Nutzungsanforderungen respektive der Nutzungsvereinbarung, SIA 260:2013. Als technische Querschnittsthemen können hier zusammenfassend genannt werden:

- ▶ Gestaltung, Konzept und Design des Tragwerkes hat noch architektonisches Potential zur Erhöhung der Baukultur
- ▶ ganzheitliche Bewertung bestehender Konzepte und Ideen für Infrastrukturbauten aus Holz hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Robustheit und Zuverlässigkeit
- ▶ optimaler Materialeinsatz/bessere Materialien (besseres Materialverhalten von Holz und Holzprodukten bei Feuchteeinwirkungen in Bezug auf Festigkeitsreduktionen und Dauerhaftigkeit, Einsatz regionaler Produkte wie z. B. Vollholzprodukte)
- ▶ Lastumlagerungen, situative Fälle, gravitative Impulslasten, robuste Systeme
- ▶ Erweiterung der Vorspannungstechnologie in Holz gegenüber dem Stand der Technik für den Infrastrukturbereich mit angepasster Dimension, sowie Kenntnisse zum Einfluss auf das Langzeittragverhalten und Tragwerksverformungen
- ▶ Ermüdung von Infrastrukturbauten in Holz
- ▶ Duktilität in den Verbindungen
- ▶ Generelle geprüfte und bestätigte Abdichtungskonzepte gegen erdberührte Oberflächen
- ▶ Mustervereinbarungen/-anforderungen/-verträge

4.3 Ausführung, Betrieb und Nutzung

Die Ausführung eines Tragwerkkonzeptes mit dem Werkstoff Holz benötigt gegenüber den konventionellen Methoden neu angepasste Prozesse, Montagen und Projektierungszeiten. Die Anwendung von Holz ist generell eine trockene Bauweise, ohne Aushärtungs- und Endfestigkeitsphasen und bietet die Möglichkeit einer Vorfertigung von Bauteilen und Modulen. Für den Betrieb und die Nutzung gelten die gleichen Anforderungen für nachhaltige Materialien respektive Holz. Zusammenfassend können folgende Querschnittsthemen skizziert werden:

- ▶ Montagekonzepte, die ein hohes Mass an Vorfertigung ermöglichen, Montageverbindungen

- ▶ Angepasste Herstellungs- und Ausführungsprozesse, Qualitätskontrolle in der Abnahme
- ▶ Überwachung von nicht einsehbaren Abdichtungsebenen, Prüfung und Entwicklung geeigneter und dauerhafter Monitoringsysteme
- ▶ Angepasste Methoden der Zustandserfassung und Inspektion; Applizierung bisher neuer Techniken, z. B. Infrarot, Ultraschall, Röntgen
- ▶ Qualitätszirkel, angepasste Qualitätshandbücher
- ▶ Mustervereinbarungen/-anforderungen/-verträge

4.4 Erhaltung/Unterhalt

Holz als nachhaltiges Material hat seine Dauerhaftigkeit bei korrektem Einsatz und Unterhalt von über 100 Jahren Nutzungsdauer bestätigt. Genannt sind hier exemplarisch die Kapellbrücke in Luzern oder die Strassenbrücke in Aarberg. Die neun Themenfelder der Infrastrukturbauten erfordern bei Ausführung mit nachhaltigen Materialien erweiterte, materialspezifisch angepasste Methoden, Techniken und Dokumentationen. Folgend können diese Querschnittsthemen genannt werden:

- ▶ Prognosemodelle und Sicherstellung zur Dauerhaftigkeit von behandelten und -unbehandelten Hölzern für eine Nutzungsdauer von 50 und 100 Jahren, Erfahrungsaufbau und evtl. neue Methoden
- ▶ Konzepte zu Ersatzbauteilen/-elementen/-gruppen
- ▶ Kenntnis zum lokalen Klima an den unterschiedlichen Infrastrukturbauten, klimatische Erfassung über alle Jahreszeiten, Ebenen und statistische Relevanz, numerische Simulationen von Szenarien und deren Auswirkungen
- ▶ Monitoring des Holzfeuchtegehaltes im Tragwerk: Systeme und Techniken, Verantwortlichkeiten
- ▶ Monitoring und Überwachung von nicht einsehbaren Oberflächen, Abdichtungskonzepten, von Holz > 20 cm Überdeckung: Systeme und Techniken, Verantwortlichkeiten
- ▶ Unterhalt und Inspektionsintervalle, -methoden, -kosten, -protokolle
- ▶ Methoden und Konzepte zur Instandsetzung nach Leckagen oder Katastrophen
- ▶ Erweiterung von Fachhandbüchern oder Musterverträgen

4.5 Tagbautunnel, Galerien, Tunnelzwischendecken

Die Themenfelder Tagbautunnel, Galerien und Tunnelzwischendecken sind stets kontrovers von den Experten diskutiert worden. Diese Bauwerke bzw. Bauwerksteile weisen dauerhaft erdberührte Flächen auf oder erfordern ein spezielles Konzept für den Brandschutz und die Sicherheit. Die Anforderungen an die Sicherheit der Menschheit sind zwingend zu erfüllen. Der aktuelle Stand der Technik für konstruktive Lösungen in Holz oder anderen nachhaltigen Materialien lässt Raum für Ideen und Ansätze, die aber auch ein hohes Mass an Innovation, Kreativität und Mut benötigen. Die grundlegenden offenen Punkte sind wie folgt:

- ▶ Bemessungskonzepte – Abstimmung der Eingangsparameter, Modellierung des elastischen und v. a. plastischen Kraft-Verformungsverhaltens, auch unter Stossbelastungen, Validierung, Adaption von vorhandenen methodischen analytischen und FE-Ansätzen
- ▶ Bewertung der Gesamtstabilität von Galerien und Tagbautunneln, Gefahr des Auftriebes und Aufschwimmens
- ▶ Brandschutzkonzept – Frühdetektion, Verminderung der Rauchentwicklung, neue Techniken und Methoden von Brandbekämpfungsmitteln, Einsatz Sprinklertechnik neu definieren
- ▶ Prüfung und Umgang mit «Keine brennbaren Materialien im Tunnel.», brennbare Materialien führen zu zusätzlicher nicht erlaubter Rauchentwicklung; der konkrete Zusammenhang zwischen brennbaren Oberflächen, der erforderlichen Lüftung, kontrollierter Abluft, neuen Brandbekämpfungsmitteln, ist in Pilotversuchen zu bewerten
- ▶ Klima/Innenklima am Portal bei Tunneln, auf Fahrbahnebene, Verlauf über Tunnel-/Galerielänge, Auswirkung von geschätzten 600-700 m langen Feuchteintrag in Tagbautunnel auf Tragwerkkonzepte aus Holz
- ▶ Verformungen, Längendehnung, Differenzierung bei Materialkombinationen, Auswirkungen auf Fugen, Übergängen

- ▶ Verbundbauweise – Austrocknung vom Holz, Sichtbarkeit, Zementschotte, Composite Materials
- ▶ Bewertung der Aufschüttung in der Ausführungsphase von Tagbautunneln, Galerien; M/N Schnittkraftkurven
- ▶ Oberflächenbeschaffenheit – Licht/Reflexion; Auswaschungen durch Salze und Sand an der Oberfläche, jährliche Reinigung mit Wasser

4.6 Dokumentation, Wissenstransfer, Wissensaufbau und -vermittlung

Vorhandenes und neues Wissen professionell zu teilen, fördert die Umsetzung von Infrastrukturbauten mit nachhaltigen Materialien. Aktuell sind die vorhandenen Erkenntnisse in diversen Fachliteraturen, Dokumentationen und/oder Standards partiell erfasst. Eine Vereinheitlichung der Art und Weise der Darlegung des Fachwissens je Themenfeld und ein zentraler Zugang ist hier eine wesentliche Massnahme zur Steigerung des Wissenstandes in der Branche. Nachfolgend sind die Hauptpunkte zusammengefasst:

- ▶ Öffentliche Plattform für Erfahrungs- und Wissensaustausch für u. a. Bauherrn, Projektierende, Ausführende wie z. B. Wissensplattform nachhaltige öffentliche Beschaffung WÖB (woeb.swiss)
- ▶ Geförderter Ausführungsbeschrieb von realisierten Objekten, z. B. Wildtierüberführungen, Brücken, Lärmschutzwänden
- ▶ Dokumentation von bestätigten Methoden, Verfahren und Konzepten
- ▶ Grundlagenwissen für die Aus- und Weiterbildung
- ▶ Erweiterung des Curriculums von Ingenieuren u. a. im Bereich Bauwesen, Maschinenbau, Mess- und Regelungstechnik

4.7 Massnahmen und Wirkung

Für die technische Umsetzung können erste Massnahmen und deren Auswirkungen sowie Kosten (pauschale Kostenschätzung mit wahrscheinlich 200 % Unsicherheit) einer Umsetzungs- und Forschungsstrategie zur Dekarbonisierung von Infrastrukturbauten zusammenfassend skizziert werden, siehe Tabelle 1. In den Massnahmen sind sowohl die grundlegenden und immer wiederkehrenden Fragestellungen aus dem Themenfeld als auch die Querschnittsthemen für eine zukünftige Anwendung von Holz erfasst worden. Alle in den einzelnen Themenfeldern aufgeführten Forschungsfragen sind in gebündelter Form enthalten, da es themenfeldüberschneidende Massnahmen sind.

Als weiteres Themenfeld könnten Überkopf-Signalisationen entlang der Trasse aufgenommen werden, dessen Umsetzung in Holz oder mit anderen nachhaltigen Materialien realistisch ist.

Tabelle 1: Massnahmen, Wirkung und geschätzte Kosten für die Umsetzungs- und Forschungsstrategie zur Dekarbonisierung von Infrastrukturbauten

Massnahme – Beschrieb ▶ Ergebnis	Wirkung	Kostenschätzung
<p>1 <u>Forschungsbereich</u> zu Abdichtungskonzepten zur Erreichung der Dauerhaftigkeit von Holz gegenüber erdbe-rührten Oberflächen, Entwicklung von Monitoring-/Frühwarnsystemen, Unterhalt und Inspektionsmethoden</p> <p>▶ Neuer Stand der Technik</p>	▶ Grundlage	▶ 4 Mio. CHF
<p>2 <u>Forschungsbereich</u> zu den klimatischen Einflüssen entlang der Trasse auf ein Tragwerk aus Holz; Einwirkungen, Auswirkungen, Materialspezifikation</p> <p>▶ Grundlegende Ausgangsdaten zur Projektierung, Bemessung und dem Erhalt/Unterhalt</p>	▶ Grundlage	▶ 2 Mio. CHF

3	<p><u>Forschungsbereich</u> zum Wirkungsgrad der Vorspanntechnologie in Holz für Brücken quer zur Achse, in Achse, Galerien, Tagbautunnel; Spezifizierung von Spanngliedern, Verankerung, Langzeittragverhalten und Verformungen je Themenfeld</p> <ul style="list-style-type: none"> ▸ Neue Technik zur Projektierung ▸ Detaillösungen 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Realistischer Einsatz 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ 6 Mio. CHF
4	<p><u>Forschungsbereich</u> zu Brandschutzkonzepten für Infrastrukturbauten, Verhalten von brennbaren Oberflächen und deren Rauchentwicklung, Unterstützende Technologien als Frühwarnsystem und Sofortmassnahme, u. a. Effekt von Sprinklern in Bezug auf Wirtschaftlichkeit</p> <ul style="list-style-type: none"> ▸ Brandschutzkonzepte für Infrastrukturbauten 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Realistischer Einsatz 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ 2 Mio. CHF
5	<p><u>Forschungsbereich</u> Brückentragwerke; Dokumentation vorhandener Kenntnisse für Brücken im Langsamverkehr, Dokumentation und Erweiterung der Kenntnisse zu Brücken quer zur Achse für den Schwerlastverkehr und Wildtierüberführungen, forschungsbasierte Projektierung für Brücken längs zur Achse</p> <ul style="list-style-type: none"> ▸ Planungsgrundlagen für Brücken für den Langsam-Verkehr, Velowege ▸ Planungsgrundlagen für Brücken quer zur Achse und Wildtierüberführungen ▸ Planungsgrundlagen für Brücken in Achse 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Realistische Umsetzung ▸ Erweiterung des Anteils von Brücken für Langsamverkehr, quer zur Achse und Wildtierüberführung ▸ Erkenntniserweiterung für Brücken in Achse 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Brücken quer: 2 Mio. CHF ▸ Brücken längs: 8 Mio. CHF
6	<p><u>Feldversuche</u> im Massstab 1:1, Mockups oder Pilotprojekte (temporär, zweitrangig) zu den Themenfeldern Tunnelzwischendecken, Tagbautunnel, Galerien, Stützbauwerke</p> <ul style="list-style-type: none"> ▸ Erfahrungsaufbau ▸ Prüfung von Forschungsansätzen ▸ Aufbau von neuen Grundlagen 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Förderung der Akzeptanz ▸ Bestätigung von Forschungsergebnissen 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ 20 Mio. CHF
7	<p>Technischer <u>Wissenstransfer</u>; gefördert, geleitet und zielgerichtet aufgebaut nach Gruppen: Bauherr, Architekt, Ingenieur; Ermöglichung von Erfahrungsaustausch und dem Aufbau eines Qualitätszirkels</p> <ul style="list-style-type: none"> ▸ Öffentliche Plattform für den Austausch ▸ Dokumentationsreihen je Themenfeld ▸ Expertenkreis als Ansprechpartner 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Steigerung von Qualität 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ 2 Mio. CHF
8	<p>Erweiterung respektive Anpassung des Curriculums in der <u>Aus- und Weiterbildung</u> von Ingenieuren, Architekten, Maschinenbauern, Technikern</p> <ul style="list-style-type: none"> ▸ Wissenstransfer für die zukünftigen Ingenieure, Weiterbildung für aktive Ingenieure 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ Förderung der Akzeptanz 	<ul style="list-style-type: none"> ▸ 1 Mio. CHF

5 Zusammenfassung

Im Bericht wurden die technischen Anforderungen und Herausforderungen (offen Fragestellungen) im Hinblick eines Holzeinsatzes zur Erstellung von Infrastrukturbauten zur Deklaration einer Forschungs- und Umsetzungsstrategie für die Umsetzung der Motion 21.3293 «*Erforschung und Innovation des Werkstoffs Holz für den Einsatz im Infrastrukturbau als Dekarbonisierungs-Beitrag*» behandelt. Gemeinsam mit dem Auftraggeber, den Mitgliedern des Projekt- und Fachausschusses wurde das methodische Vorgehen abgestimmt. Zur Evaluierung des vorhandenen Fachwissens und zur Erarbeitung der Umsetzungs- und Forschungsstrategie wurde je Themenfeld ein Factsheet erarbeitet. Anhand dieser Grundlage erfolgten die Diskussionen in den Workshops und die Erarbeitung bzw. Vervollständigung der SWOT-Analysen. Die Komplexität der Fragestellungen, Anforderungen und Bedürfnisse wurden für eine bessere Übersicht in Netzanalysen zusammengefasst.

Die vorgestellten Machbarkeitsstudien zu Galerien und Tagbautunnels innerhalb des Workshops hatten eine äusserst positive Wirkung auf die Diskussion mit den Fachexperten. Mit der zusätzlich pragmatischen Annahme «Morgen stehen uns die aktuellen Konstruktionswerkstoffe nicht mehr zur Verfügung.» wurde innerhalb des eintägigen Workshops sehr offen diskutiert und auch erste Ideen skizziert. Die im Bericht dargelegten Punkten zeigen nur den technischen Bedarf für den Holzeinsatz als Dekarbonisierungsbeitrag der Infrastruktur auf. Für eine ganzheitliche Umsetzungs- und Forschungsstrategie müssen die Schlussfolgerungen im Gleichgewicht zwischen Dekarbonisierung, Sicherheit, Qualität, Wirtschaftlichkeit und Materialverfügbarkeiten erfolgen.

6 Literatur zum Bericht

- Fehse, P. (2023), Machbarkeitsuntersuchung von Tagbautunnel in Holzbauweise, Bachelorthesis, Berner Fachhochschule, Biel/Bienne
- Franke S., Franke B. (2023) Machbarkeitsstudie zu Schwerlastbrücken in Holz, Forschungsprojekt, gefördert durch Bundesamt für Umwelt, Abteilung Wald, WHFF 2021.15
- Kern D., Müllhaupt R. (2023) Machbarkeitsstudie Einhausung Mühlehorn, Studentenarbeit, ETH Zürich
- SIA 112:2017 Nachhaltiges Bauen – Hochbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA 112/2:2016 Nachhaltiges Bauen – Tiefbau und Infrastrukturen, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA 260:2013 Grundlagen der Projektierung von Tragwerken, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich
- SIA 265/2021 Holzbau, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich

Erarbeitet von Steffen Franke, Bettina Franke, Dio Lins
Berner Fachhochschule, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur

Der Anhang enthält die vor den Workshops erarbeiteten Factsheets sowie abgeleiteten SWOT Analysen zu den einzelnen Themenfeldern. Die Inhalte wurden als Grundlage für die Diskussionen erarbeitet. Sie sind mit den gemeinsam erarbeiteten Kommentaren der involvierten Experten/innen ergänzt. Es wird keine Gewähr auf Vollständigkeit übernommen.

Folgende Fachexperten/innen haben aktiv im Workshop und Interviews im Teilprojekt 2 mitgewirkt. Wir danken ihnen für ihr Engagement im Rahmen des Workshops und Ihnen sowie den Mitgliedern des begleitenden Fach- und Projektausschusses für die Anmerkungen im Review-Prozess.

- Bernasconi Andrea - HESSO
- Frangi Andrea - ETH
- Franke Bettina - BFH
- Franke Steffen - BFH
- Fricker Stephan - BFH
- Gammeter Christian - ASTRA
- Hess Simon - Timbatec Holzbauingenieure Schweiz AG
- Kleinhanss Karl - Qualitätsgemeinschaft Holzbrückenbau e.V.
- Krättli Walter - Leiter Fachstelle forstliche Bautechnik
- Liechti Alain - SBB AG
- Müller Andreas - Holzbauexperten GmbH
- Müllhaupt Raffael - ETH
- Pally Otmar - Sika Schweiz AG
- Papastergiou Dimitrios - ASTRA
- Ratsch Gunther - Lignum
- Renfer Christoph - BFH
- Ryser Matthias - Dr. Vollenweider AG
- Sandrone Federica - SBB AG
- Schneider Alex - Rothpletz, Lienhard + Cie AG
- Thömen Heiko - BFH
- v. Felten Kurt - Makiol + Wiederkehr Holzingenieure AG
- Waldis Walter - ASTRA
- Wick Raphael - Gähler und Partner AG
- Wielatt Matthias - Tiefbauamt Graubünden
- Zöllig Stefan - TS 3.0 AG

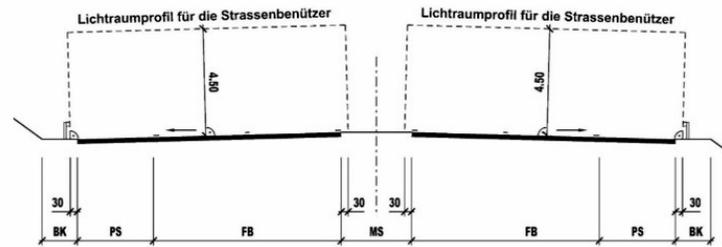
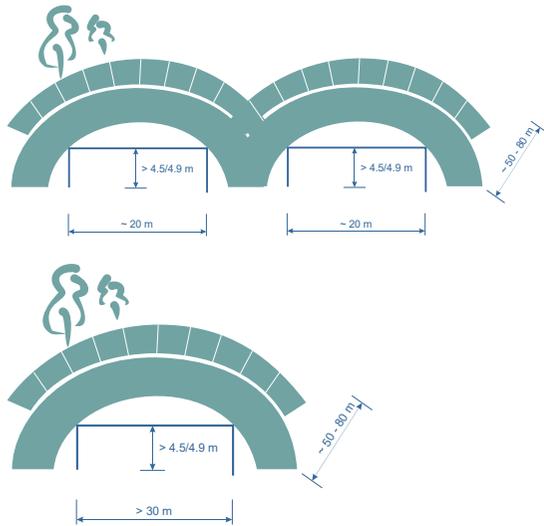


Wildtierüberführung

Wildtierüberführungen – Technische Grössen, Randbedingungen

Das Themenfeld umfasst Wildtierüberführungen vorrangig über National- und Kantonstrassen, wodurch sich eine Gesamtüberbrückungsweite von > 30 m ergibt (Ziel eines hindernisfreien Mittelstreifens). Unter Berücksichtigung der Gesamtwirtschaftlichkeit, sind Zweitfeldsysteme mit je ca. 20 m Spannweite aktuell zu bevorzugen. It. ergänzenden Angaben des ASTRA. Die Länge einer Wildtierbrücke variiert meist zwischen 50 und 80 m.

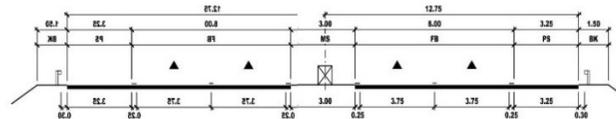
Lasten entstehen neben Schnee massgeblich durch die Erdüberschüttung sowie durch Unterhaltsfahrzeuge.



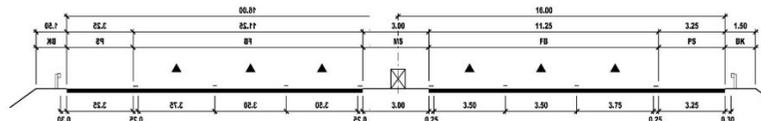
Lichtraumprofil

Die erforderliche lichte Höhe von 4.50 m wird unter Berücksichtigung des Quergefälles im rechten Winkel zur Fahrbahn gemessen. Unter Signaltafeln von Signalportalen ist eine lichte Höhe von mindestens 4.90 m frei zu halten [45].

2-streifige Richtungsfahrbahn



3-streifige Richtungsfahrbahn



Quelle: RICHTLINIE NORMALPROFILE Nationalstrassen 1. und 2. Klasse mit Richtungstrennung, ASTRA 11001, Ausgabe 2021 V3.00



Suhr, Rynetal (CH) 2020, symmetrischer Doppelbogen aus Holz, Spannweite 2 x 17.4 m; Breite 54 m; 640 m³ Fichte BSH (Foto Timbatec)



Neuenkirch (CH) 2021, zwei Einfeldträger aus Holz; Spannweite 2 x 17.50 m; Breite 50 m; 2500 m³ Fichte (Foto n'H)



Wildtierkorridor Biberlichopf (Bau Genehmigt), Kanton Glarus; Spannweite 57.3m

Weitere Projekte:

Wilmshagen (DE) 2004, Dreigelenkbogen aus Holz; Spannweite: 27,60 m; Breite 55 m; 360 m³ Lärche BSH

Wiesenhagen (DE) 2012, Dreigelenkbogen aus Holz; Spannweite: 32,00 m; Breite 56 m (am Widerlager); 520 m³ Lärche BSH

Nettersheim (DE) 2012, eingespannter Betonbogen mit Holzrippen; Spannweite: 36,00 m; Breite 50 m (Nutzbreite); 774 m³ Fichte BSH und 955 m³ Beton

Thyrow (DE) 2019, unsymmetrischer Doppelbogen aus Holz; Spannweite: 16,50 m bzw. 30,50 m; Breite 64 m (am Widerlager); 1000 m³ Lärche BSH

Wildtierüberführungen – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie				
		NOTWENDIGKEITEN ZUR UMSETZUNG	VERFÜGBARE GRUNDLAGEN, DOKUMENTE, BERICHTE, LINKS	UMSETZUNGS-/FORSCHUNGSSTRATEGIE
Entscheidungsträger		TP 1		
Forst- und Holzwirtschaft		TP 1		
Klimaneutralität		TP 3		
Fachwissen	Projektierung	<ul style="list-style-type: none"> - Brückentypologie - Spannweiten - Brückenquerschnitte - Lichtraumprofil - Irritationsschutzwände - Materialien (Holzarten) - Abdichtungen - Durchwurzelungsschutz - Drainage - Holzschutzkonzept - Auflager - Konstruktionsdetails 	<ul style="list-style-type: none"> - SIA 265:2021, Holzbau - SN EN 1995-1-1:2004 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1 Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau - SN EN 1995-2:2004, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 2 Holzbrücken - prEN 1995-2:2027, Design of timber structures, part 2 timber bridges - Empa/Lignum-Richtlinie, 1995: Holzschutz im Bauwesen - DIN 68800-1 bis -4:2019 / 2022 / 2020 / 2020, Holzschutz - DIN 1052-10:2012, Herstellung und Ausführung von Holzbauwerken 	<ul style="list-style-type: none"> - Robustheitskonzepte - Regeldetails/Konstruktionsdetails - Abdichtungssysteme
	Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung - Transport - Montage 	<ul style="list-style-type: none"> - Pilotprojekte inkl. Berichte - Bauer, 2016: Erfahrungsbericht über die Grünbrücke bei Luckenwalde 	<ul style="list-style-type: none"> - Montagekonzepte zur Vermeidung der Einschränkung des Fahrbetriebs - Umsetzungsbeschriebe
	Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> - Erneuerungsintervalle - 100 Jahre - Redundanz 	<ul style="list-style-type: none"> - Müller, 2022: Klimabedingungen bei Wildtierüberführungen in Holzbauweise - DE - QHB, 2010: Pflegeanleitung - DE - Bundesgesetzblatt, 2010: ABBV 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoringsystem, Leckage Detektion
	Unterhalt und Erhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Inspektionsintervalle - Prüfmethode - Richt- und Leitlinien - Monitoring, Techniken, Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> - ASTRA 82001: Überprüfung bestehender Strassenbrücken - ASTRA 86068: Überwachung und Unterhalt BSA - ASTRA 86902: Methodologie der Bewertung für die Zustandserfassung IBB - DIN 1076:1999, Ingenieurbauwerke im Zuge von Strassen und Wegen Überwachung und Prüfung - Strassenbauverwaltung Brandenburg, 2018: Prüfhandbuch Grünbrücke in Holzbauweise (Wiesenhagen) - IP Bau, 1993: Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken 	<ul style="list-style-type: none"> - Frühwarnsysteme - Instandhaltungskonzepte - Inspektionsprotokolle (digitales Protokoll, BIM integriert) - Qualitätshandbuch
Aus-/Weiterbildung	<ul style="list-style-type: none"> - Curriculum für Bauingenieure, Holzingenieure, Architekten (ETH, EPFL, UAS) - Weiterbildungsmodulare (MAS, CAS, ...) 			<ul style="list-style-type: none"> - Infrastrukturbauten in Holz als Lehrgefäss
Gesetze, Normung	<ul style="list-style-type: none"> - SIA, SN EN, VSS - ASTRA Dokumente für Nationalstrassen 			<ul style="list-style-type: none"> - Einführung prEN 1995-1,-2 inkl.NA - Erweiterung der ASTRA Dokumentationen
Weitere Punkte				

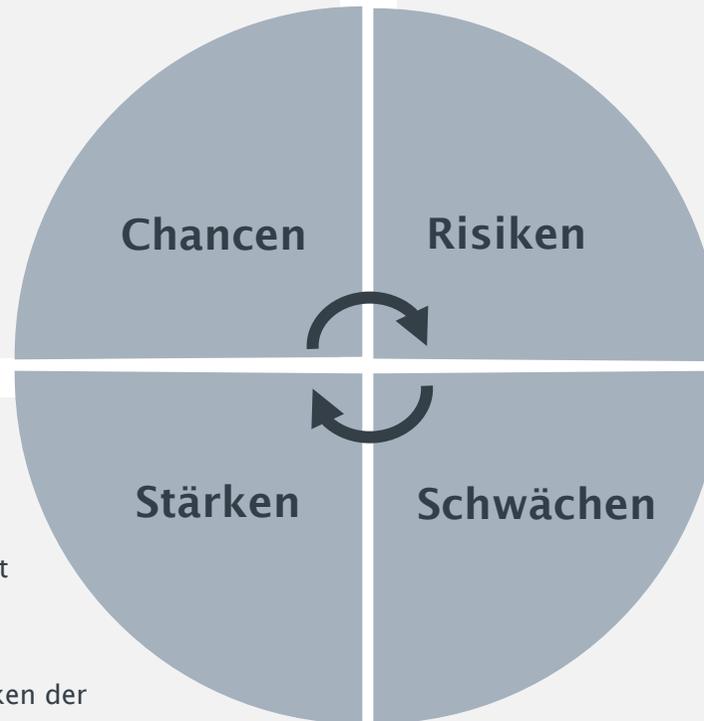


Wildtierüberführung

Wildtierüberführungen - SWOT Analyse

- Senkenleistung durch CO₂ Speicherung (1 t/m³)

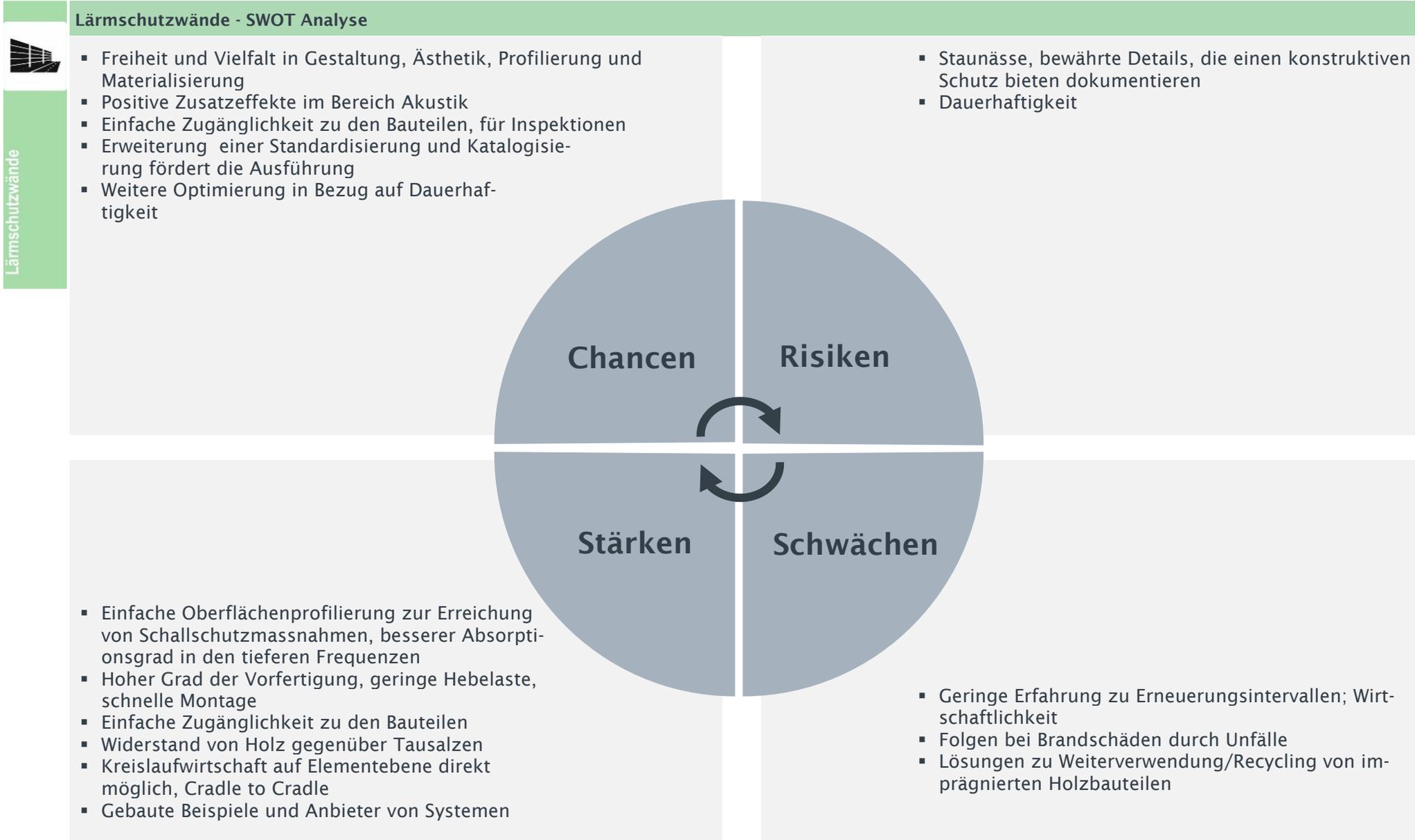
- Dauerhaftigkeit der Abdichtungen, Leckagen
- Dauerhaftigkeit der Tragstruktur
- Inspektion - Detailierungsgrad, evtl. eingeschränkte Zugänglichkeit
- effektiven klimatischen Bedingungen, Feuchte in Fahrbahnebene
- Unkenntnis des Mikroklima am Bauwerk
- Feuchteintrag von Fahrbahn



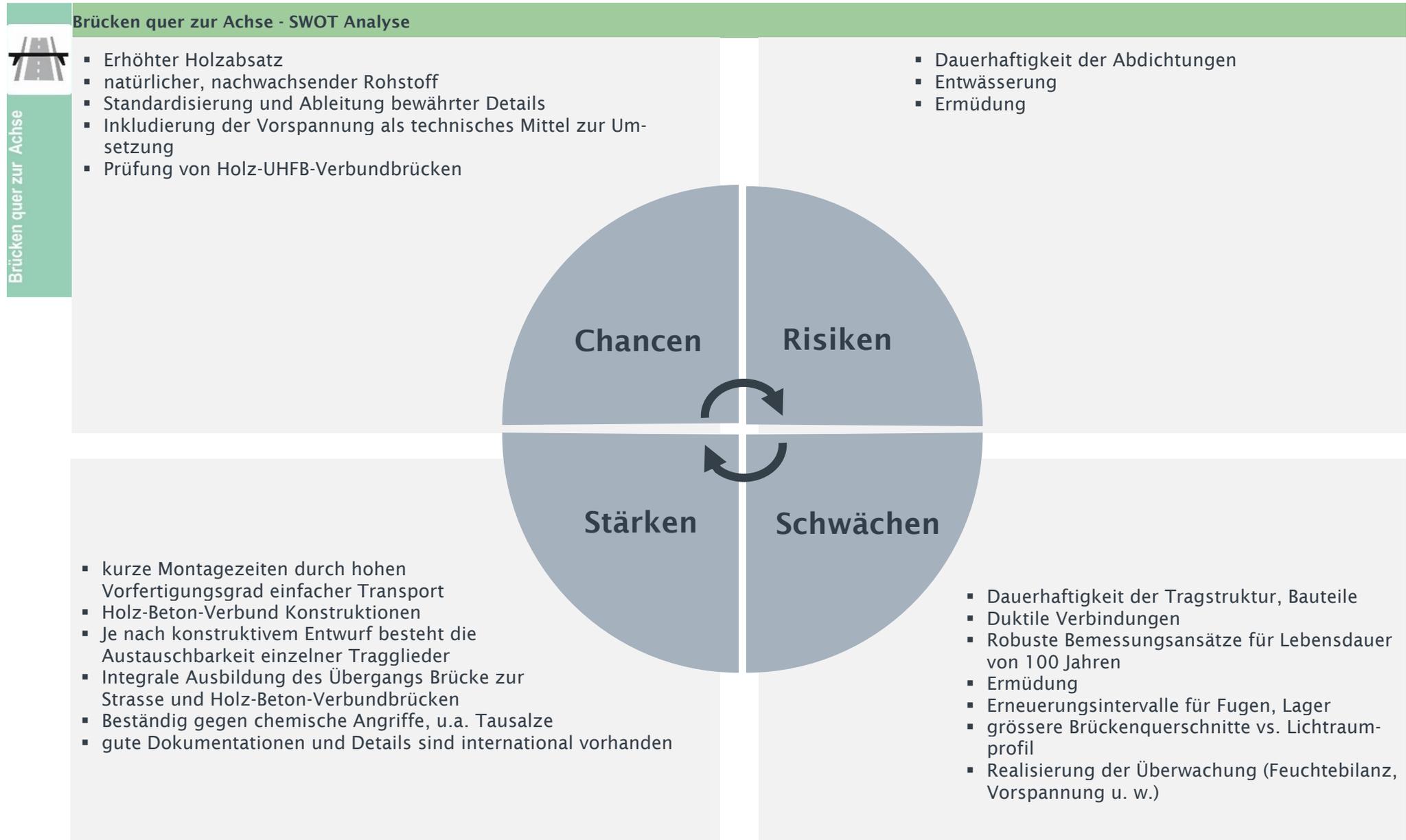
- Eigengewicht, «leichteres» Tragwerk
- Kurze Montagezeiten durch hohen Vorfertigungsgrad
- Einfacher Transport durch geringes Gewicht
- Austauschbarkeit einzelner Tragglieder
- Zugänglichkeit, sichtbare Schäden
- Präsenz und Sichtbarkeit von Holz, umdenken der Gesellschaft kann erreicht werden
- Volumen eher klein, aber Publikumswirksam, Akzeptanz, Gesellschaft wird an den Werkstoff Holz gewöhnt
- Low hanging fruits, Akzeptanz beim ASTRA erreicht durch Pilotprojekte
- Kreislaufwirtschaft Cradle to Cradle

- Aktuell nicht dauerhafte Abdichtungssysteme
- Brandverhalten
- Wirtschaftlichkeit
- Akzeptanz des Monitoringsystems
- Flächendeckendes, einfaches und wirtschaftliches Feuchtemonitoring erforderlich mit geprüfter Zuverlässigkeit für die Nutzungsdauer (100 Jahre) und Akzeptanz bei den Bauherren

Lärmschutzwände – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie					
		NOTWENDIGKEITEN ZUR UMSETZUNG	VERFÜGBARE GRUNDLAGEN, DOKUMENTE, BERICHTE, LINKS	UMSETZUNGS-/FORSCHUNGSSTRATEGIE	
Entscheidungsträger		TP 1			
Forst- und Holzwirtschaft		TP 1			
Klimaneutralität		TP 3			
Lärmschutzwände	Fachwissen	Projektierung	<ul style="list-style-type: none"> - ASTRA 21001 Fachhandbuch Trasse / Umwelt - SN 640 570 ff Lärmschutz an Strassen - SN EN 1794-1:2012 Lärmschutzeinrichtungen an Strassen - Nichtakustische Eigenschaften - Teil 1: Standsicherheit - Ermüdungsnachweis bei strassenabgewandter Seite an einer Bahnlinie SN 640 570 - SIA 265:2021, Holzbau - SN EN 1995-1-1:2004 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1 - LSW Merkblätter Lignum (2004) - LSW Merkblatt BFH (2005) 	<ul style="list-style-type: none"> - Dauerhaftigkeit - Modularität - Füge- und Anschlusspunkte - Schallabsorption - Hinterlüftung/Montage und Photovoltaik - Entwicklung von Standardprodukten/-grössen; Baukastensystem und Typenstatik 	
		Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung - Transport - Montage 	<ul style="list-style-type: none"> - Lignum Gütezeichen für Druckimprägnierte Holzprodukte - realisierte Projekte (A1 bei Safenwil; A3 bei Mupf) 	<ul style="list-style-type: none"> - Füge- und Anschlusspunkte - Transport
		Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> - Nutzungsdauer 50 Jahre, mind. 30 Jahre Füllelemente 	<ul style="list-style-type: none"> - LSW Merkblatt BFH (2005) 	<ul style="list-style-type: none"> - Vandalismus bzgl. Graffiti, Oberflächenvergütung
		Unterhalt und Erhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Inspektionsintervalle alle 5 Jahre für Nationalstrassen, ASTRA FB TU - Prüfmethode - Richt- und Leitlinien 	<ul style="list-style-type: none"> - ASTRA 21001 Fachhandbuch Trasse / Umwelt - LSW Merkblatt BFH (2005) 	<ul style="list-style-type: none"> - Austauschbarkeit von Elementen - Zustandserfassung und Evaluierung von bestehenden Lärmschutzwänden; bestehende Regelungen überarbeiten
Aus-/Weiterbildung		<ul style="list-style-type: none"> - Curriculum für Bauingenieure, Holzingenieure, Architekten (ETH, UAS) - Weiterbildungsmodule (MAS, CAS, ...) 		<ul style="list-style-type: none"> - muss nicht explizit im Curriculum mit aufgenommen werden 	
Gesetze, Normung, Richtlinien		<ul style="list-style-type: none"> - SIA, SN EN, VSS: eher nicht - ASTRA Dokumente für Nationalstrassen 	<ul style="list-style-type: none"> - ASTRA 21001 Fachhandbuch Trasse / Umwelt 	-	
Weitere Punkte			-	-	



Brücken quer zur Achse – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie				
		NOTWENDIGKEITEN ZUR UMSETZUNG	VERFÜGBARE GRUNDLAGEN, DOKUMENTE, BERICHTE, LINKS	UMSETZUNGS-/FORSCHUNGSSTRATEGIE
Brücken quer zur Achse	Entscheidungsträger	TP 1 Beschaffung		- Ausschreibung: NPK's verbessern; Texte und Standarddimensionen
	Forst- und Holzwirtschaft	TP 1		
	Klimaneutralität	TP 3		
	Fachwissen	Projektierung	<ul style="list-style-type: none"> - Brückentypologie, resp. Teilintegral ohne Fahrbahnübergang - Spannweiten - Fahrbahnbreiten - Brückenquerschnitte - Materialien (Holzarten) - Fahrbahnbelag, Abdichtung - Konstruktionsdetails; Fahrbahnübergänge, Schrammbordanschlüssen; Geländer - Entwässerung, Werkleitungen - Dynamisches Verhalten - Holzschutzkonzept - Auflager, auch integrale Bauweise - Robustheit - 100 Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> - SIA 265:2021, Holzbau - SN EN 1995-1-1:2004 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1 Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau - SN EN 1995-2:2004, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 2 Holzbrücken, prEN 1995-2:2027, Design of timber structures, part 2 timber bridges - Empa/Lignum-Richtlinie, 1995: Holzschutz im Bauwesen - ASTRA 22001 Fachhandbuch Kunstbauten - DIN 68800-1 bis -4:2019 / 2022 / 2020 / 2020, Holzschutz - DIN 1052-10:2012, Herstellung und Ausführung von Holzbauwerken - IDH, 2019: Brücken aus Holz; Entwurf von Holzbrücken; Tragwerksplanung von Holzbrücken; Musterzeichnungen für Holzbrücken; Detailzeichnungen - DGfH, 2010: Musterzeichnungen für Holzbrücken - ASTRA RiLi 12004 Konstr. Einzelheiten für Brücken, 7 Teile, Teil 6 Entw./Werkleitungen (vor. Aug. 2023) Brücken bis 60 m benötigen keine Entwässerung mehr - Richtlinie Polymerbitumen FU zurückgezogen 2022, Nachfolge Polyurethan-FU, mageba, HeWa, RSAG
Ausführung		<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung - Transport, Montage 	<ul style="list-style-type: none"> - QHB, 2009: Herstellung, Transport, Montage¹ - Diverse realisierte Projekte 	- Dokumentation zur Herstellung und Montage
Nutzung		<ul style="list-style-type: none"> - Erneuerungsintervalle - Redundanz; nicht so relevant 	<ul style="list-style-type: none"> - QHB, 2010: Pflegeanleitung - Bundesgesetzblatt, 2010: ABBV 	- Musterverträge
Unterhalt und Erhaltung		<ul style="list-style-type: none"> - Inspektionsintervalle - Prüfmethode - Richt- und Leitlinien zum Unterhalt - Monitoring, Techniken, Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> - SIA 269/5:2011, Erhaltung von Tragwerken – Holzbau - DIN 1076:1999, Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung - Simon, 2018: Muster-Wartungshandbuch für Holzbrücken - Simon, 2018: Muster-Prüfhandbuch für Holzbrücken - Schickhofer, 2005: Wartungsmanual für Holzbrücken - IP Bau, 1993: Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken 	<ul style="list-style-type: none"> - Qualitätshandbuch für Holzbrücken - Inspektionen und Unterhalt - Schulungen zu Hauptinspektionen für Holzbrücken für Ingenieure anbieten - Monitoring und Überwachungskonzepte
Aus-/Weiterbildung		<ul style="list-style-type: none"> - Curriculum für Bauingenieure, Holzingenieure, Architekten (ETH, UAS) - Weiterbildungsmodule (MAS, CAS, ...) 		<ul style="list-style-type: none"> - Infrastrukturbauten in Holz als Lehrgefäss; Erweiterung im Gebiet Holzbrücken - Weiterbildungsangebote für etablierte Ingenieure
Gesetze, Normung	<ul style="list-style-type: none"> - SIA, SN EN, VSS - ASTRA Dokumente für Nationalstrassen 		<ul style="list-style-type: none"> - Einführung prEN 1995-1,-2 inkl. NA - Erweiterung ASTRA Dokumente 	
Weitere Punkte	-	-	-	



Tunnelzwischendecken

Tunnelzwischendecken - Technische Grössen, Randbedingungen

Tunnelzwischendecken trennen den Lüftungskanal vom darunterliegenden Fahrraum damit im Brandfall Rauch und andere giftige Gase aus dem Fahrraum abgesogen und abgeführt werden können.

Diese ist als statisch bestimmt gelagerter Balken auszubilden. (Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik ASTRA 24001-10202)

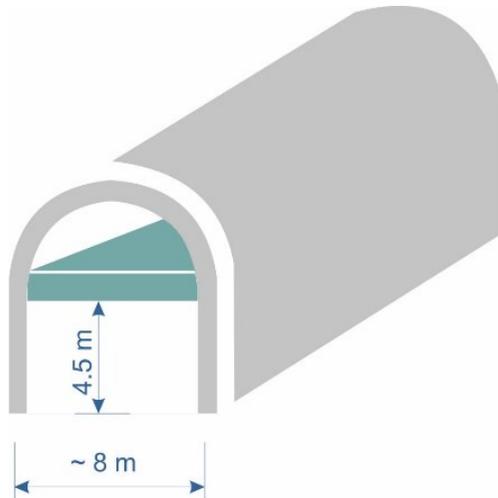
Brandlast von 120 min, kein progressiver Kollaps (kein Dominoeffekt)

Erdbebennachweis Bauwerksklasse BWK II

Durchbiegung kleiner 50 mm nach 50 Jahren



<https://www.sto.fi/s/inspiraatiot-ratkaisut/referenssit>



Normalprofil

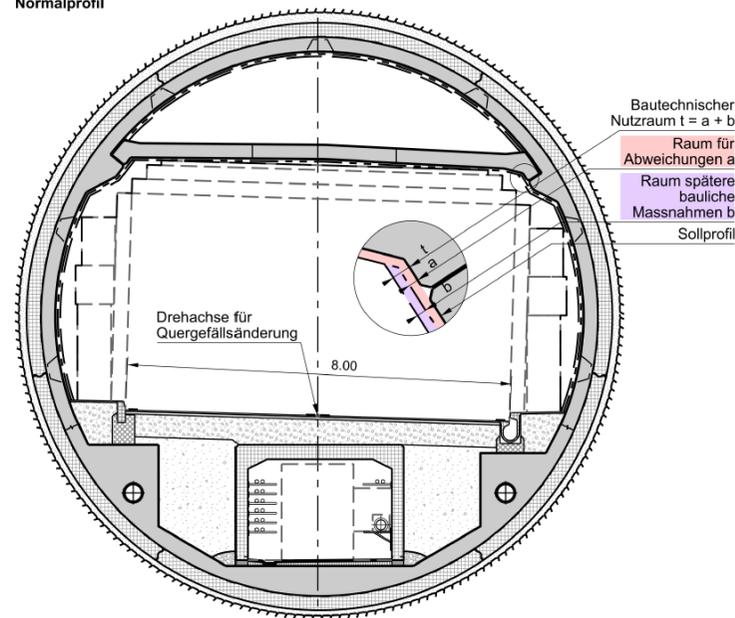
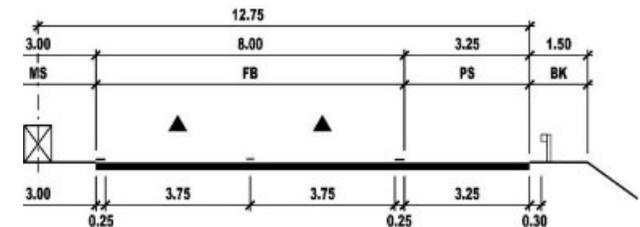


Abbildung 1: Normalprofil

Quelle: Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik ASTRA 24001-10202

2-streifige Richtungsfahrbahn



Quelle: RICHTLINIE NORMALPROFILE Nationalstrassen 1. und 2. Klasse mit Richtungstrennung, ASTRA 11001

Tunnelzischendecken – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie				
	NOTWENDIGKEITEN ZUR UMSETZUNG	VERFÜGBARE GRUNDLAGEN, DOKUMENTE, BERICHTE, LINKS	UMSETZUNGS-/FORSCHUNGSSTRATEGIE	
Entscheidungsträger	TP 1			
Forst- und Holzwirtschaft	TP 1			
Klimaneutralität	TP 3			
Tunnelzischendecken Fachwissen	Projektierung	<ul style="list-style-type: none"> - Spannweiten, Belastungen - Materialien (Holzarten) - Brandschutz inkl. Rauchentwicklung, kein Beitrag an die Rauchentwicklung - Auflager - Befestigungen - Konstruktionsdetails - Fugen/Dichtigkeit - Installationen 	<ul style="list-style-type: none"> - SIA 197 Projektierung Tunnel, Grundlagen - SIA 197/2 Projektierung Tunnel, Strassentunnel - ASTRA Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik - ASTRA Merkblatt 24001-10304 «Befestigung im Fahrraum und Lüftungskanal» - Richtlinie ASTRA 13001 Lüftung der Strassentunnel - EN 12101-2 - ASTRA 12001 	<ul style="list-style-type: none"> - Belastungsfälle - Brandschutzkonzepte, Verhalten von Temperatur und Rauchgasen, Versuche mit effektiver Brandlast gemäss HC - Robustheitskonzepte - Befestigungsdetails - Mockups, Pilotversuche in Prüftunneln - Beplankung aus Robustheitsüberlegung; diese einfach zu wechseln und Kleinereignis - Dauerversuche
	Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung - Transport - Montage 	-	<ul style="list-style-type: none"> - Montagekonzepte - Modulare Vorfertigung - Fugen/Dichtigkeit
	Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> - Bei längeren Tunneln ab ca. 200 m, Feuchtigkeit im Fahrraum - Erneuerungsintervalle - 60-80 Jahre - Redundanz - Aggressives Milieu im Fahrraum 	<ul style="list-style-type: none"> - ASTRA 86052. (2016). Betriebskonzept Strassentunnel - ASTRA 86053. (2013). Minimale Anforderungen an den Betrieb - Strecke und Tunnel 	<ul style="list-style-type: none"> - Sicherheits- und Risikoanalyse
	Unterhalt und Erhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Inspektionsintervalle - Prüfmethode - Richt- und Leitlinien - Monitoring, Techniken, Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> - ASTRA 12002. (2005). Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstrassen 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring als Frühwarnsystem - Unterhaltskonzept
Aus-/Weiterbildung	<ul style="list-style-type: none"> - Curriculum für Bauingenieure, Holzingenieure, Architekten (ETH, UAS) - Weiterbildungsmodule (MAS, CAS, ...) 		<ul style="list-style-type: none"> - In Ausbildung, wenn Konzepte verfügbar - Einbezug in forschungsorientierte Ausbildung 	
Gesetze, Normung	<ul style="list-style-type: none"> - SIA, SN EN, VSS - ASTRA Dokumente für Nationalstrassen 	-	<ul style="list-style-type: none"> - Erweiterung in Anlehnung an Forschungsergebnissen 	
Weitere Punkte		-	-	



Tunnelzwischendecken - SWOT Analyse

- Erhöhter Holzabsatz,
- natürlicher, nachwachsender Rohstoff
- CO2 Speicherung (1 t/m³)
- Schadhafte Stellen könnten einfacher ausgetauscht werden

- Langzeit-Verformungsverhalten
- Schwingungsanfälligkeit
- Brandwiderstand
- Dichtigkeit im Brandfall
- Saures Milieu im Fahrraum
- langanhaltender Feuchteintrag in den Fahrraum
- Domino Effekt im Brandfall
- Fugenausbildung, Dichtigkeit (Anforderung monolithisch)



- Vorfertigung, Montageprozess, Verkürzung Bauzeit, keine Schalung notwendig
- geringeres Gewicht; Zwischendecken aus Stahlbeton mit D=12 cm haben sich nicht bewährt, wären aus statischen Gründen ausreichend); Dauerhaftigkeit bedingt grössere Deckenhöhe
- Elementfugen

- Brennbares Material, Brandlast, Rauchentwicklung
- Verkleidung/Beplankung Tunnelseite evtl. notwendig
- Interaktion Brand-Lüftung, daraus resultierende Branddynamik
- Feuchtigkeit im Innenraum ab L= 200 m
- Braucht Verankerung (Druck/Sog)
- Nur Bauwerkstil?
- Brandverhalten, Tragsicherheit nach ISO-Kurve; aber effektive Brandbeanspruchung nach HCinc

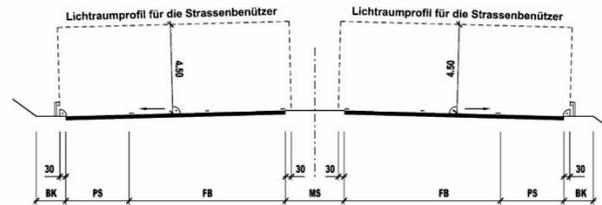
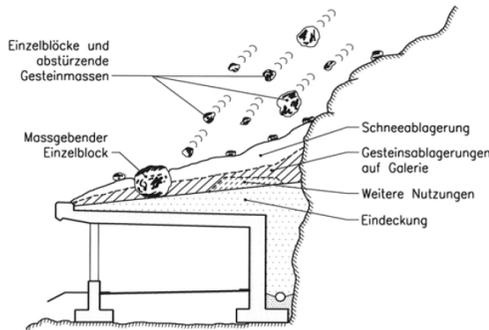
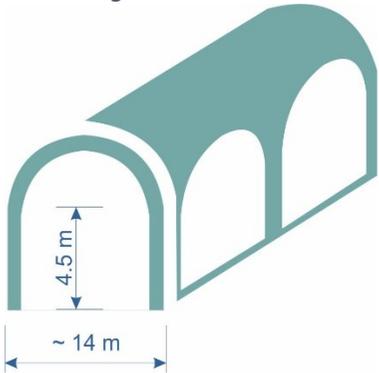


Galerien

Galerien, Einhausungen - Technische Grössen, Randbedingungen

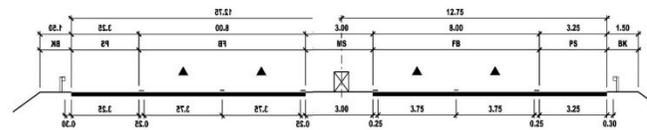
Galerien umfassen den Schutz der geführten Verkehrsträger gegenüber Lärm, Steinschlag, Lawinen und weitere Naturgewalten. Bei Schutzgalerien gegen gravitative Einwirkungen müssen Einzelblöcke und Geröllmassen über die Galerie hinweggeleitet oder durch die Galeriedecke aufgefangen werden, was erhöhte Anforderungen mit sich bringt und aktuell in Holz nicht umsetzbar ist. Lärmschutzgalerien sind hingegen möglich.

Für eine Anwendungen als Schutzgalerie gegen gravitative Einwirkungen: Einwirkung Steinschlag: eine aus einer Naturgefahr resultierende Einwirkung, gemäss Norm SIA 261 resp. 261/1 als aussergewöhnliche Einwirkung. Exponierte, dem Steinschlag direkt ausgesetzte Bauteile mit Tragfunktion sind zu vermeiden.

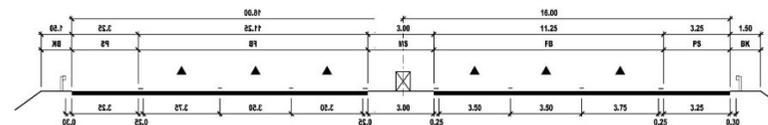


Lichttraumprofil
Die erforderliche lichte Höhe von 4.50 m wird unter Berücksichtigung des Quergefalles im rechten Winkel zur Fahrbahn gemessen. Unter Signaltafeln von Signalportalen ist eine lichte Höhe von mindestens 4.90 m frei zu halten [45].

2-streifige Richtungsfahrbahn



3-streifige Richtungsfahrbahn



Quelle: RICHTLINIE NORMALPROFILE Nationalstrassen 1. und 2. Klasse mit Richtungstrennung, ASTRA 11001, Ausgabe 2021 V3.00



Lärmschutzgalerie
<https://www.ssf-ing.de/projekte/projekt-detail/references/Reference/detail/a-96-galerie-germering.html>

Abb. 5.1 Mögliche Einwirkungen.
ASTRA Richtlinie 1 2006 Einwirkungen infolge Steinschlags auf Schutzgalerien

Galerien, Einhausungen – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie					
	NOTWENDIGKEITEN ZUR UMSETZUNG	VERFÜGBARE GRUNDLAGEN, DOKUMENTE, BERICHTE, LINKS	UMSETZUNGS-/FORSCHUNGSSTRATEGIE		
	Entscheidungsträger	TP 1			
	Forst- und Holzwirtschaft	TP 1			
Galerien	Klimaneutralität	TP 3			
	Fachwissen	Projektierung	<ul style="list-style-type: none"> - Typologien - Fahrbahnbreiten, Regelquerschnitte - Lichtraumprofile - Materialien - Auflager - Konstruktionsdetails - Holzschutzkonzept - Brandschutz inkl. Rauchentwicklung - Installationen - Drainage - Robustheit 	<ul style="list-style-type: none"> - SIA 197. (2004). Projektierung Tunnel - SIA 197/2 (2004). Projektierung Tunnel - Strassentunnel - SIA 272. (2009). Abdichtung und Entwässerung von Bauten unter Terrain und im Untertagbau - ASTRA/SBB (1998), „Planung, Bau und Unterhalt von Schutzgalerien gegen Steinschlag- und Lawineneinwirkungen“, BBL 	<ul style="list-style-type: none"> - Tragwerkskonzepte - Robustheitskonzepte - Brandschutzkonzepte - Abdichtungskonzepte - Konstruktionsregeln - Details - Prüfung Impulslastverhalten - Abführung Rauch und Wärme - Dauerhaftigkeit über längere Zeit
		Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> - Ausführung - Herstellung - Transport - Montage 	<ul style="list-style-type: none"> - Bauweise 2. Priorität 	<ul style="list-style-type: none"> - Segmentierung - Anschlusspunkte, Montagestösse - Mock-ups, Pilotprojekte - Austauschbarkeit der Elemente
		Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> - Erneuerungsintervalle - 100 Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> - ASTRA 86052. (2016). Betriebskonzept Strassentunnel - ASTRA 86053. (2013). Minimale Anforderungen an den Betrieb - Strecke und Tunnel 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring Abdichtungssysteme - Redundanz - Sicherheits- und Risikoanalyse - Musterverträge zu Verantwortlichkeiten
		Unterhalt und Erhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Inspektionsintervalle - Richt- und Leitlinien - Monitoring, Techniken, Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> - ASTRA 12002. (2005). Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstrassen 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring als Frühwarnsystem - Unterhaltskonzept
	Aus-/Weiterbildung	<ul style="list-style-type: none"> - Curriculum für Bauingenieure, Holzingenieure, Architekten (ETH, UAS) - Weiterbildungsmodule (MAS, CAS, ...) 	-	<ul style="list-style-type: none"> - In Ausbildung, wenn Konzepte verfügbar - Einbezug in forschungsorientierte Ausbildung 	
	Gesetze, Normung	<ul style="list-style-type: none"> - SIA, SN EN, VSS - ASTRA Dokumente für Nationalstrassen 	-	<ul style="list-style-type: none"> - Erweiterung in Anlehnung an Forschungsergebnissen 	
	Weitere Punkte		-	-	





Pfähle

Pfähle - Technische Grössen, Randbedingungen

Pfähle sind ganz oder zu einem grossen Teil im Erdreich eingelassen

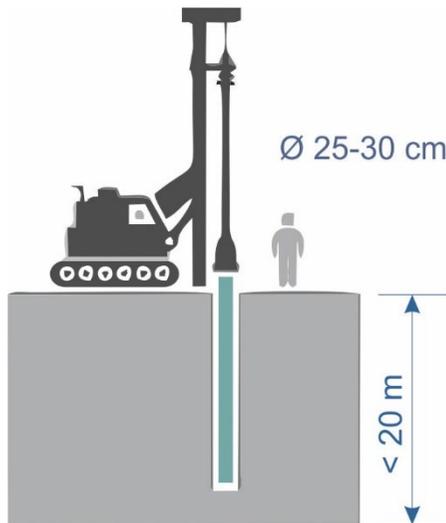
- Nutzungsdauer 100 Jahre und mehr bestätigt, in vielen Städten in Wassernähe eingesetzt
- Extrem hohe Qualitätsansprüche, da nach dem Einbringen keine Kontrolle mehr möglich
- «Der Durchmesser der Pfähle beträgt 20 – 35 cm, die maximale Pfahllänge bis zu 20m. Die maximale Tragfähigkeit liegt bei ca. 500kN (50t) Vertikallast pro Pfahl .
- Die Vorteile: gute Bearbeitbarkeit, geringer Rammlärm, kurze Ausführungszeit und Wirtschaftlichkeit.
- Je höher der Grundwasserstand, desto preiswerter die Gründung im Vergleich zu anderen Techniken.»

Konrad Merz, 2022, <https://www.proholz.at/zuschnitt/22/auf-holz-gebaut>



Der alte Bau wurde vollständig abgerissen und das Fundament des Neubaus mit über 1.800 hölzernen Stützfeilern befestigt, auf denen das Gebäude auch heute noch ruht. Das neue Hoftheater fasste 1.080 Sitzplätze und war eines der modernsten seiner Zeit. Die Einweihung wurde am 11. Januar 1908 als feierlicher Staatsakt zelebriert, bei dem auch Kaiser Wilhelm II. und über 70 Intendanten anderer Theater anwesend waren.

<https://www.nationaltheater-weimar.de/de/ueber-uns/geschichte.php>



<https://porr.de/projekte/pfahlgruendung-fuer-autobahndeckel-1-ba/>



<https://www.proholz.at/zuschnitt/22/auf-holz-gebaut>

Pfähle – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie				
		NOTWENDIGKEITEN ZUR UMSETZUNG	VERFÜGBARE GRUNDLAGEN, DOKUMENTE, BERICHTE, LINKS	UMSETZUNGS-/FORSCHUNGSSTRATEGIE
Entscheidungsträger		TP 1		
Forst- und Holzwirtschaft		TP 1		
Klimaneutralität		TP 3		
Fachwissen	Projektierung	<ul style="list-style-type: none"> - Lastannahmen - Materialisierung - Dimension - Verankerung 	<ul style="list-style-type: none"> - SIA 267 Geotechnik - SIA 267/1 Geotechnik - Ergänzende Festlegungen - ASTRA Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik 24001-15700 - SN EN 1536+A1:2015 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Bohrpfähle - SN EN 12699:2015 Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Verdrängungspfähle - 	<ul style="list-style-type: none"> - Mechanische Eigenschaften - Dimensionen; Unterschied zwischen BSH und VH zu wenig erforscht, Durchmesser 1 bis 3 m für grössere Lasten prüfen - Erweiterung der Materialisierung - Traglast vs. Beanspruchung, erforderliche Anzahl? - Wie feucht? Ab welcher Bodenfeuchtigkeit auch möglich, forschungsbedarf
	Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> - Ausführung - Herstellung - Ramm-/Bohrmethoden 	<ul style="list-style-type: none"> - SIA 118/267 Allgemeine Bestimmungen für geotechnische Arbeiten - Projekte aus der Baugeschichte; Holzpfähle sind die älteste Gründungsart Venedig, Berlin, Amsterdam, Weimar 	<ul style="list-style-type: none"> - Rammmethoden, Spitzenausführung - Sicherung des Kopfes im Rammprozess
	Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> - Erneuerungsintervalle - 100 Jahre 	<ul style="list-style-type: none"> - ASTRA Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik 24001-15700 	<ul style="list-style-type: none"> - Nutzungsvereinbarungen - Kontinuität Grundwasserspiegel
	Unterhalt und Erhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Inspektionsintervalle - Richt- und Leitlinien - Monitoring, Techniken, Systeme 	-	-
	Aus-/Weiterbildung	<ul style="list-style-type: none"> - Curriculum für Bauingenieure, Holzingenieure, Architekten (ETH, EPFL, UAS) - Weiterbildungsmodule (MAS, CAS, ...) 	-	
Gesetze, Normung	<ul style="list-style-type: none"> - SIA, SN EN, VSS - ASTRA Dokumente für Nationalstrassen 	-	-	
Weitere Punkte		-	-	

Pfähle

Pfähle - SWOT Analyse

- Neuer Einsatzbereich z. B. bei Lärmschutzwänden als Foundation
- neu angepasste Bauverfahren, z.B. mit Vorbohren, Kombination Vorbohren und Rammen

- Vermeidung eines evtl. Übergang Erdrich - Luftreich, hier benötigt es andere Lösungen, Materialien

- Sehr effiziente und langlebige Lösung, erprobt in vielen Grossstädten
- kurze Ausführungszeiten, weniger Rammlärm
- Rammpfahl, Rückschluss auf Tragfähigkeit an sich möglich, evtl. bessere Modelle notwendig
- nicht besser oder schlechter kontrollierbar als Ramm-Ortbetonpfähle

- Zuverlässige Sicherstellung der Dauerhaftigkeit der Tragstruktur/Bauteile bei generell sinkenden Grundwasserspiegeln
- Zu erwartende Erschütterung und erschütterungsinduzierte Setzungen identifizieren
- (sehr) geringe Tragfähigkeit, ausreichend für kleine Bauwerke wie Lärmschutzwände, zu prüfen wären Pfahlreihen für LSW-Eindeckungen, wenn «Deckel» leichter wird.

setzbare Systemlösungen (Pfahlaufsätze)



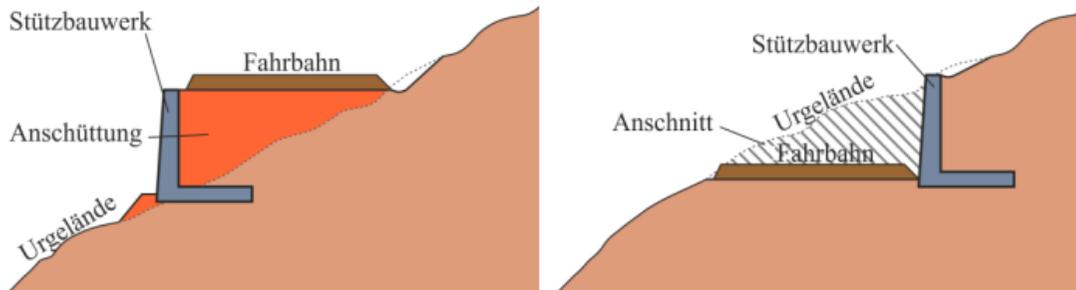
Stützbauwerke

Stützbauwerke - Technische Grössen, Randbedingungen

Stützbauwerke dienen der Stützung des Untergrundes oberhalb und unterhalb von Strassenbauten, wenn eine natürliche Böschung aus Platzgründen oder geotechnischen Gründen nicht möglich ist.

Stützbauwerke ermöglichen einen Geländesprung auf engem Raum. (ASTRA 24001-15101)

Mögliche Grundlagen können von den Baugrubenverbau Arten Rühlwand / Trägerbohlwand / Berliner / Essener / Hamburger Verbau übernommen werden. Diese sind für temporäre Bauten erprobt, für generelle, längerfristige Bauwerke liegen allerdings keine Erfahrungen vor



Rebhan, 2019

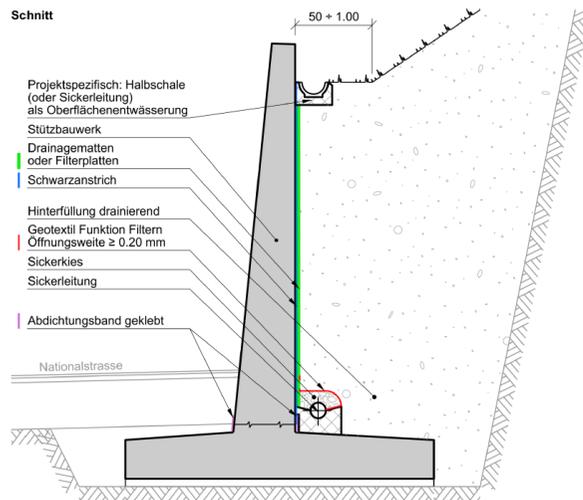


Abbildung 1: Prinzipskizze Stützmauerausbildung und Mauerfüssen

ASTRA Fachhandbuch Tunnel/Geotechnik 24001-15103

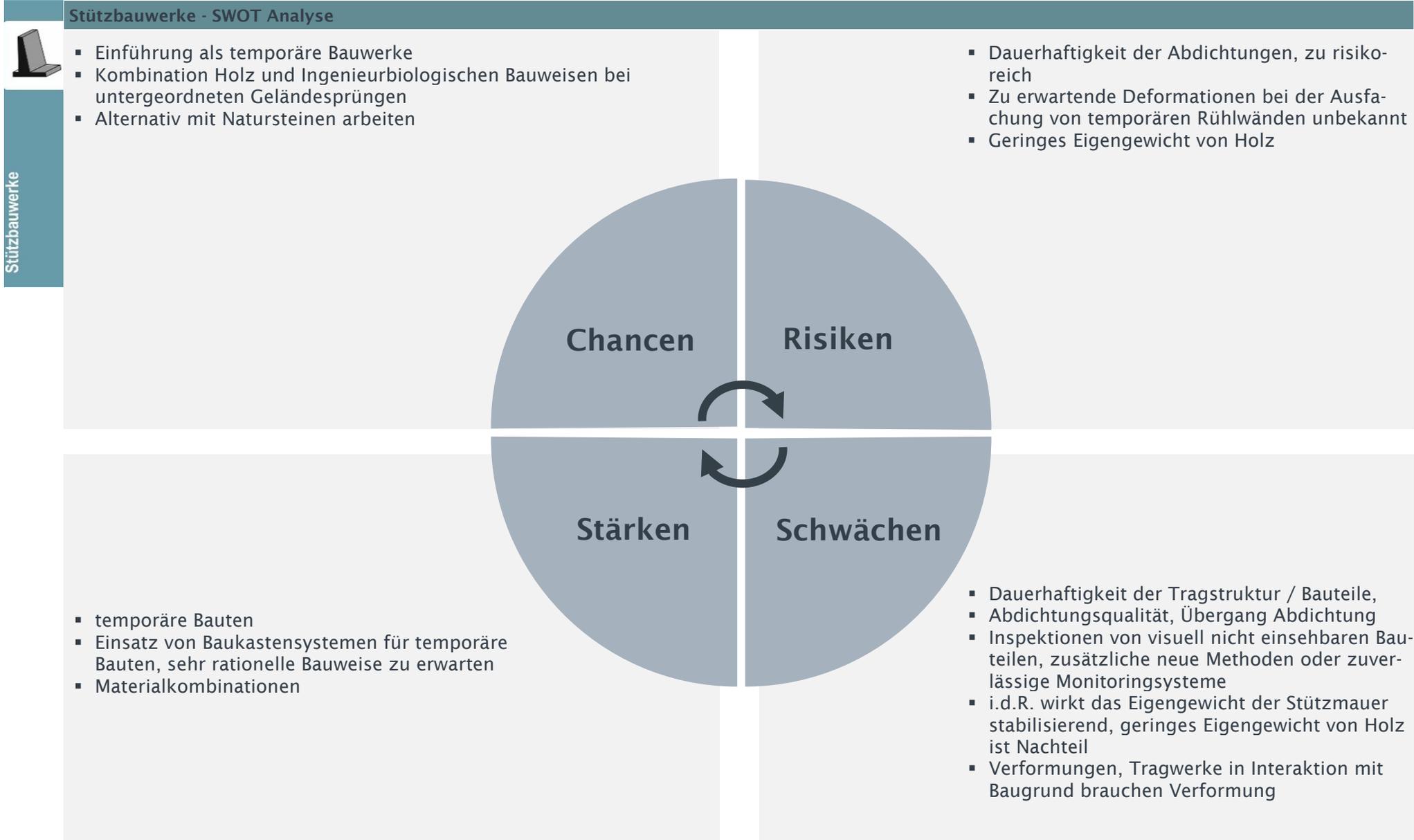


Trägerbohlwand, <https://www.stephanbau.de/leistungen-und-referenzen/berliner-verbau/>



BAB A6 Heilbronn-Nürnberg, AS Fischbach, Umbau AK Nürnberg-Ost; Berliner Verbau, Pressgrube für Entwässerungskanal, <https://www.stephanbau.de/leistungen-und-referenzen/berliner-verbau/>

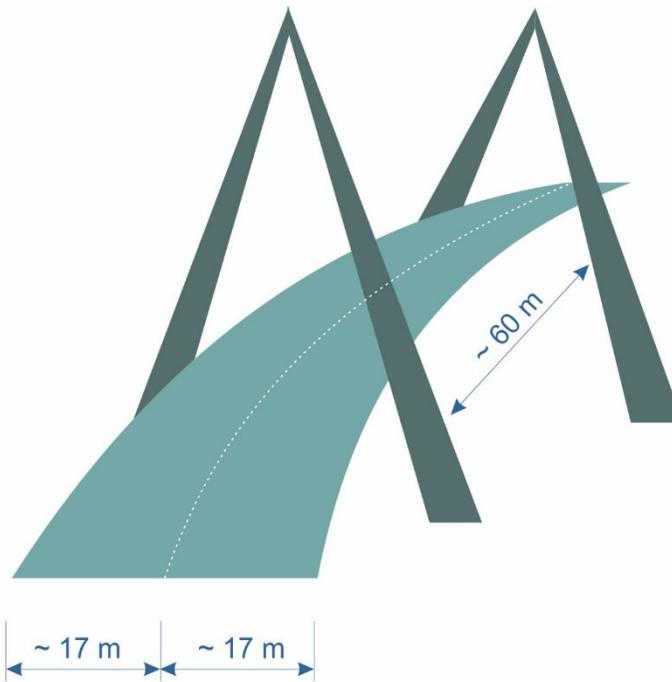
Stützbauwerke – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie					
		NOTWENDIGKEITEN ZUR UMSETZUNG	VERFÜGBARE GRUNDLAGEN, DOKUMENTE, BERICHTE, LINKS	UMSETZUNGS-/FORSCHUNGSSTRATEGIE	
Entscheidungsträger		TP 1			
Forst- und Holzwirtschaft		TP 1			
Klimaneutralität		TP 3			
Stützbauwerke	Fachwissen	Projektierung	<ul style="list-style-type: none"> - SIA 267 Geotechnik - SIA 267/1 Geotechnik - Ergänzende Festlegungen - SIA 272 Abdichtungen und Entwässerungen von Bauten unter Terrain und im Untertagbau - SN EN 1997-1: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln - Mögliche Anlehnung an Rühlwand / Trägerbohlwand / Berliner / Essener / Hamburger Verbau - Empfehlungen des Arbeitskreises «Baugruben» (EAB) 	<ul style="list-style-type: none"> - Materialisierung - Robustheitskonzepte - Abdichtungskonzepte - Dauerhaftigkeit - Holzschutzkonzept, klimafreundliche Imprägnierung - Ausführung allenfalls in Kombination mit Verankerung, Trägerbohlwand von temporären Bauten zu dauerhaften Systemen? - Geringes Eigengewicht von Holz in Bezug auf allgemeines Trag-/Stützkonzept - Ausführung biegesteifer Rahmen, Winkelverbindung 	
		Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung - Transport - Montage 	<ul style="list-style-type: none"> - SIA 118/267 Allgemeine Bestimmungen für geotechnische Arbeiten - 	<ul style="list-style-type: none"> - Abdichtungskonzepte - Ausführungsstudien - Musterlösungen
		Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> - Erneuerungsintervalle - Redundanz - 100 Jahre 	-	<ul style="list-style-type: none"> - Sicherheits- und Risikoanalyse - Musterverträge zu den Verantwortlichkeiten - Instandsetzungs- und Ersetzungsmethoden unbekannt
		Unterhalt und Erhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Inspektionsintervalle - Prüfmethode - Monitoring, Techniken, Systeme 	-	<ul style="list-style-type: none"> - Qualitätssicherung - Zustandserfassung und Überwachung - Monitoring als Frühwarnsysteme
	Aus-/Weiterbildung	<ul style="list-style-type: none"> - Curriculum für Bauingenieure, Holzingenieure, Architekten (ETH, UAS) - Weiterbildungsmodule (MAS, CAS, ...) 	-	<ul style="list-style-type: none"> - Aufnahme von bestätigten Lösungen - Spezialgebiete 	
Gesetze, Normung	<ul style="list-style-type: none"> - SIA, SN EN, VSS - ASTRA Dokumente für Nationalstrassen 	-	-		
Weitere Punkte	-	-	-		



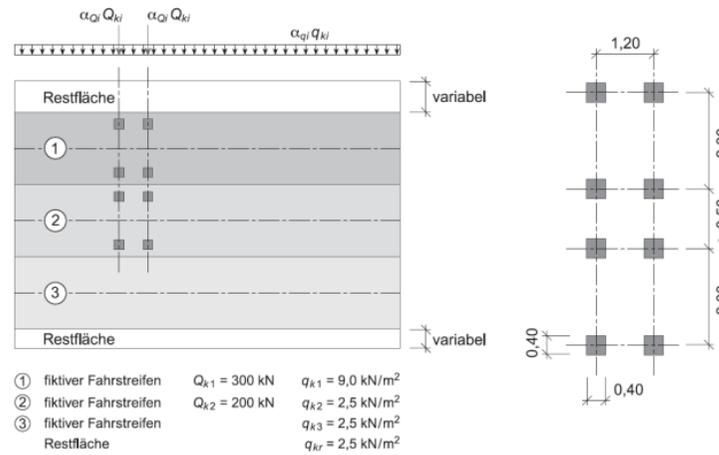
Brücken in Achse - Technische Grössen, Randbedingungen



Das Themenfeld umfasst Brücken in Achse der National- und Kantonstrassen.
Es handelt sich um Spannweiten von 40 m bis 60 m, zukunftsweisend mit drei Fahrspuren plus Pannestreifen
Lastmodell 1 und 3 nach SIA 261

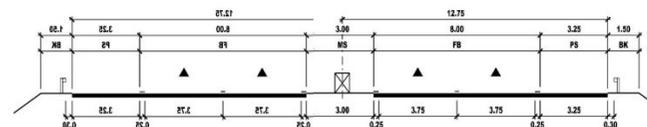


Figur 8: Mögliche Lastanordnung des Lastmodells 1 (Abmessungen in m)

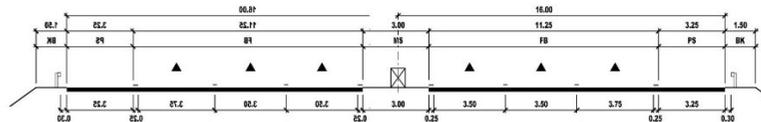


Quelle: SIA 261

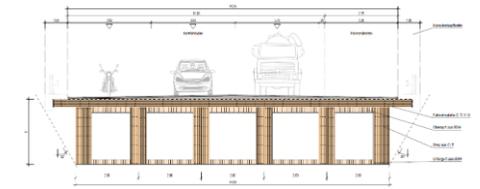
2-streifige Richtungsfahrbahn



3-streifige Richtungsfahrbahn



Quelle: RICHTLINIE NORMALPROFILE Nationalstrassen 1. und 2. Klasse mit Richtungstrennung, ASTRA 11001, Ausgabe 2021 V3.00



Machbarkeitsstudie zu Schwerlastbrücken, BAFU WHFF 2021:15, BFH und Wirtschaftspartner, laufendes Forschungsprojekt



Vihantasalmi Brücke (Bj. 1999), Finnland; Spannweite 42 m, Gesamtlänge 168 m,

Brücken in Achse – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie					
		NOTWENDIGKEITEN ZUR UMSETZUNG	VERFÜGBARE GRUNDLAGEN, DOKUMENTE, BERICHTE, LINKS	UMSETZUNGS-/FORSCHUNGSSTRATEGIE	
Brücken in Achse	Entscheidungsträger	TP 1			
	Forst- und Holzwirtschaft	TP 1			
	Klimaneutralität	TP 3			
	Fachwissen	Projektierung	<ul style="list-style-type: none"> - Brückentypologie - Spannweiten - Fahrbahnbreiten - Brückenquerschnitte - Vorspannung - Materialien (Holzprodukte, -arten) - Konstruktionsdetails - Fahrbahnbelag, Abdichtung - Fahrbahnübergänge - Schrammbordanschlüsse - Entwässerung, Werkleitungen - Dynamik - Holzschutzkonzept - Auflager, auch integrale Bauweise 	<ul style="list-style-type: none"> - SIA 265:2021, Holzbau - SN EN 1995-1-1:2004 Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 1 Allgemeines – Allgemeine Regeln und Regeln für den Hochbau - SN EN 1995-2:2004, Bemessung und Konstruktion von Holzbauten, Teil 2 Holzbrücken - prEN 1995-2:2027, Design of timber structures, part 2 timber bridges - Empa/Lignum-Richtlinie, 1995: Holzschutz im Bauwesen - DIN 68800-1 bis -4:2019 / 2022 / 2020 / 2020, Holzschutz - DIN 1052-10:2012, Herstellung und Ausführung von Holzbauwerken - IDH, 2019: Brücken aus Holz; Entwurf von Holzbrücken; Tragwerksplanung von Holzbrücken; Musterzeichnungen für Holzbrücken; Detailzeichnungen - DGfH, 2010: Musterzeichnungen für Holzbrücken 	<ul style="list-style-type: none"> - Detailentwicklung - Vorspanntechnologie - Dynamisches Verhalten - Redundanz, Robustheitskonzepte - Risiko- und Sicherheitsanalyse - Musterlösungen/-regelungen für das Konstruktionsmaterial Holz - Systemfahrbahnaufbauten - Fahrbahnübergang
		Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung - Transport - Montage 	<ul style="list-style-type: none"> - QHB, 2009: Herstellung, Transport, Montage¹ - Diverse realisierte Projekte 	<ul style="list-style-type: none"> - Montageprozesse - Vorspanntechnologie
		Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> - Erneuerungsintervalle - 50/100 Jahre - Redundanz 	<ul style="list-style-type: none"> - QHB, 2010: Pflegeanleitung - Bundesgesetzblatt, 2010: ABBV 	<ul style="list-style-type: none"> - Sicherheits- und Risikoanalyse - Musterverträge mit Pflichten
		Unterhalt und Erhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Inspektionsintervalle - Prüfmethode - Richt- und Leitlinien - Monitoring, Techniken, Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> - SIA 269/5:2011, Erhaltung von Tragwerken – Holzbau - DIN 1076:1999, Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen Überwachung und Prüfung - Simon, 2018: Muster-Wartungshandbuch für Holzbrücken - Simon, 2018: Muster-Prüfhandbuch für Holzbrücken - Schickhofer, 2005: Wartungsmanual für Holzbrücken - IP Bau, 1993: Zustandsuntersuchung an bestehenden Bauwerken 	<ul style="list-style-type: none"> - Qualitätshandbuch - Monitoringsysteme
	Aus-/Weiterbildung	<ul style="list-style-type: none"> - Curriculum für Bauingenieure, Holzingenieure, Architekten (ETH, UAS) - Weiterbildungsmodul (MAS, CAS, ...) 	-	-	- Infrastrukturbauten als Unterrichtsfach
	Gesetze, Normung	<ul style="list-style-type: none"> - SIA, SN EN, VSS - ASTRA Dokumente für Nationalstrassen 	-	-	<ul style="list-style-type: none"> - Einführung prEN 1995-1,-2 inkl. NA - Erweiterung ASTRA Dokumente
	Weitere Punkte		-	-	-

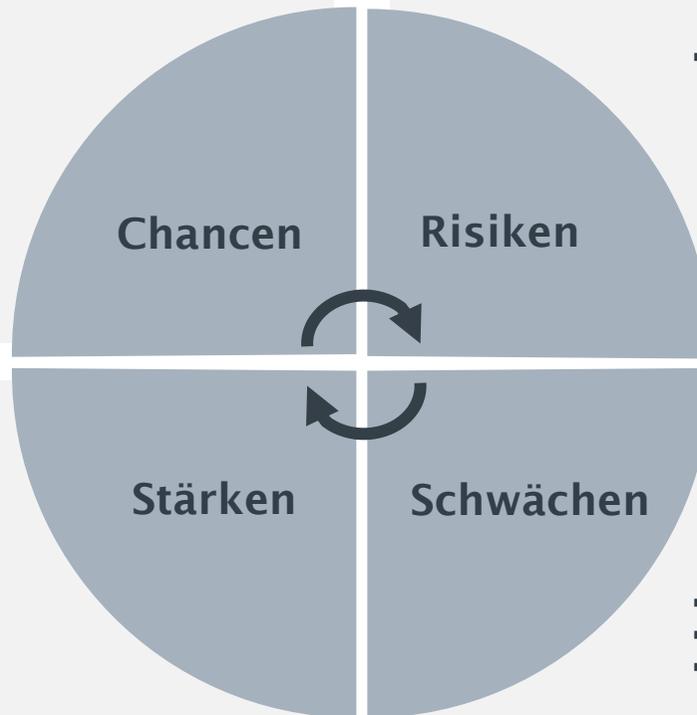
Brücken in Achse - SWOT-Analyse



Brücken in Achse

- effizienter Einsatz Holz-Beton-Verbund Konstruktionen
- Ersatzneubauten
- Prüfung von Ersatzüberbau auf bestehende Foundation; Achtung die Bedingungen im Anschlussbereich oder Lichtraumprofil können aber sehr einschränkend sein

- Dauerhaftigkeit der Abdichtungen
- Fahrbahnübergang
- Schwingungsanfälligkeit
- grosse Lasten aus den Sondertransport Achsen bis zu 600 Tonnen/Fahrzeug
- Vorspanntechnologie in Holz noch zu wenig Erfahrung, inkl. Verankerung, Statik, Relaxation, Austausch
- Verformungen (je länger das Bauwerk, umso mehr kumulieren sich die unterschiedlichen Ausdehnungen, wie u. a. Holz-Beton bis hin zu absolut unbeherrschbaren Grössen)



- kurze Montagezeiten durch hohen Vorfertigungsgrad
- einfacher Transport, geringeres Gewicht
- einfache Austauschbarkeit einzelner Träger
- Beständig gegen chemische Angriffe (Tausalz)

- Dauerhaftigkeit der Tragstruktur / Bauteile
- Inspektionsintervalle
- Verhalten und Herstellung neuer grössere Querschnitte, BSH, CLT

Tagbautunnels - Technische Grössen, Randbedingungen

Tagbautunnels



Tagbautunnel sind Tunnel, die im Tagebauverfahren von der Erdoberfläche aus gegraben werden. Normalprofil in ASTRA 82007: Gewölberadius (innen): 5.55 m, Radius Sohlgewölbe (innen): 12.0 m, ergibt Aussenabmessungen von ca. 12 m Breite und 10 m Höhe; Achtung: Unterscheidung zwischen Einhausung und Tagbautunnel in der Beanspruchung von Erdrücken

Dokum. ASTRA 82007
Richtlinie ASTRA 12014

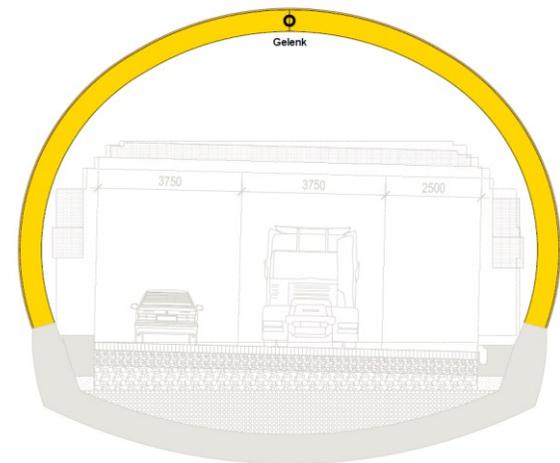
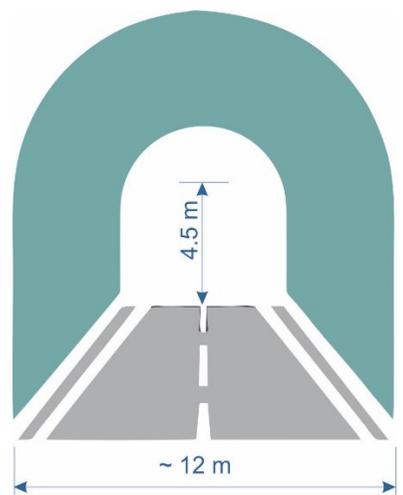
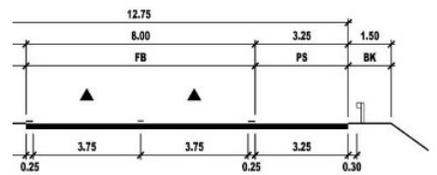
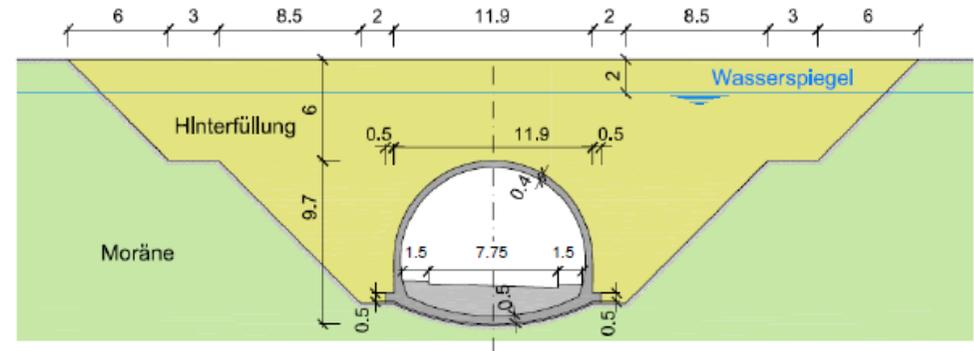


Abbildung 52: Tunnelquerschnitt mit der Tragwerksvariante Flächentragwerk mit Bogenträger als Dreigelenkbogen ausgeführt
Bachelorthesis Fehse 2023

2-streifige Richtungsfahrbahn



Quelle: RICHTLINIE NORMALPROFILE Nationalstrassen 1. und 2. Klasse mit Richtungstrennung, ASTRA 11001



Normalprofil, Dokumentation ASTRA 82007

Tagbautunnels – Grundlagen für Umsetzungs- und Forschungsstrategie					
		NOTWENDIGKEITEN ZUR UMSETZUNG	VERFÜGBARE GRUNDLAGEN, DOKUMENTE, BERICHTE, LINKS	UMSETZUNGS-/FORSCHUNGSSTRATEGIE	
Entscheidungsträger		TP 1			
Forst- und Holzwirtschaft		TP 1			
Klimaneutralität		TP 3			
Tagbautunnels	Fachwissen	Projektierung	<ul style="list-style-type: none"> - Fahrbahnbreiten, Regelquerschnitte - Lichtraumprofile - Abdichtungen - Segmentierung - Materialien (Holzarten) - Konstruktionsdetails - Holzschutzkonzept - Brandschutz inkl. Rauchentwicklung - Installationen - Durchwurzelungsschutz - Drainage - Robustheit 	<ul style="list-style-type: none"> - Richtlinie ASTRA 12014. (2013). Berechnung und Bemessung von Tagbautunnels - Dokumentation ASTRA 82007 Berechnung und Bemessung von Tagbautunnels - SIA 197. (2004). Projektierung Tunnel - SIA 197/2 (2004). Projektierung Tunnel - Strassentunnel - SIA 272. (2009). Abdichtung und Entwässerung von Bauten unter Terrain und im Untertagbau - ASTRA 12001 Projektierung und Ausführung von Kunstbauten der Nationalstrassen 	<ul style="list-style-type: none"> - Tragwerkskonzepte - Robustheitskonzepte - Brandschutzkonzepte - Abdichtungskonzepte - Konstruktionsregeln - Details - Dauerhaftigkeit
		Ausführung	<ul style="list-style-type: none"> - Herstellung - Transport - Montage 	-	<ul style="list-style-type: none"> - Segmentierung - Anschlusspunkte, Montagestösse -
		Nutzung	<ul style="list-style-type: none"> - Erneuerungsintervalle - 50/100 Jahre - Redundanz 	<ul style="list-style-type: none"> - ASTRA 86052. (2016). Betriebskonzept Strassentunnel - ASTRA 86053. (2013). Minimale Anforderungen an den Betrieb - Strecke und Tunnel 	<ul style="list-style-type: none"> - Monitoring Abdichtungssysteme - Redundanz - Sicherheits- und Risikoanalyse - Musterverträge zu Verantwortlichkeiten
		Unterhalt und Erhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Inspektionsintervalle - Prüfmethode - Richt- und Leitlinien - Monitoring, Techniken, Systeme 	<ul style="list-style-type: none"> - ASTRA 12002. (2005). Überwachung und Unterhalt der Kunstbauten der Nationalstrassen 	-
		Aus-/Weiterbildung	<ul style="list-style-type: none"> - Curriculum für Bauingenieure, Holzingenieure, Architekten (ETH, UAS) - Weiterbildungsmodulare (MAS, CAS, ..) 	-	-
Gesetze, Normung		<ul style="list-style-type: none"> - SIA, SN EN, VSS - ASTRA Dokumente für Nationalstrassen 	-	<ul style="list-style-type: none"> - Erweiterung in Anlehnung an Forschungsergebnissen 	
Weitere Punkte		-	<ul style="list-style-type: none"> - Fachgruppe für Untertagebau; https://www.swisstunnel.ch/diverse/forschung-innovation/arbeitsgruppe-bruecken-geotechnik-und-tunnelforschung-agbgt - ASTRA FA BGT 	-	



