



FACHSTELLE FÜR FORSTLICHE BAUTECHNIK
CENTRE POUR LE GÉNIE FORESTIER
CENTRO PER IL GENIO FORESTALE
POST SPEZIALISÀ PER TECNICA DA CONSTRUCZIUN FORESTALA

Bund, Kantone und Fürstentum Liechtenstein

Bovel
CH-7304 Maienfeld
Telefon +41 81 403 33 62
e-mail walter.kraetli@ibw.ch

Waldstrassen und Gerinnequerungen



Tagungsunterlagen

Einsiedeln, 2.10.14



Einfache, allgemeine Grundlagen	3
Anforderungen an Gerinnequerungen	3
Hydraulische Effekte	4
Ökologische Effekte	4
Gesetzliche Grundlagen	5
Grober Kostenvergleich	6
Grundlageninformationen zur Realisierung (Martin Ammann, Eschenbach)	7
Abflussmengen	7
Weitere Prozesse – Naturgefahren.....	12
Nutzungsanforderungen.....	13
Wahl des Kreuzungsbauwerkes (nach Kuonen).....	14
Gebrauchstauglichkeit des Kreuzungsbauwerkes.....	15
Verhalten im Überlastfall.....	16
Querungstyp Durchlässe	17
Einfach, „günstig“, aber problembehaftet.....	17
Bauteile von Durchlässen	17
Querungstyp Furten (Martin Ammann, Eschenbach).....	24
Einleitung	24
Konzeptionelle Betrachtungen	26
Details bei der Ausführung.....	30
Querungstyp Brücken (Edgar Kälin, Silvan Ochsner, Einsiedeln).....	32
Bauteile von Brücken	32
Formen von Brücken.....	33
Baumaterialien	35
Brückenstatik.....	36
Sanierung von Brücken.....	37
Quellen.....	38
Anhang.....	39
Beispiel eines Brückenneubaus, Grossbachbrücke, 2010	39
Beispiel einer Brückensanierung, Alpbrücke Strichen, 2008	45



Mit Durchlässen, Furten oder Brücken wird praktisch jeder im Forst Beschäftigte konfrontiert. Um ihr Funktionieren längerfristig zu gewährleisten, ist die Betrachtung der einzelnen Bauteile der verschiedenen Querungsbauwerke hilfreich. Die grundsätzliche Aufgabe, Wasser geführt durchzuleiten, zeigt sich in den sich funktionell wiederholenden Komponenten aller Querungstypen. Ziel der folgenden Ausführungen ist es, diesbezüglich Anhaltspunkte zu liefern. Es werden ständig oder nur zeitweise wasserführende Gerinne betrachtet. Drainageableitungen sind nicht enthalten.

Einfache, allgemeine Grundlagen

Anforderungen an Gerinnequerungen



Abbildung 1 Welche Anforderungen muss ein Querungsbauwerk erfüllen?

Grundsätzlich müssen der Verkehr von A nach B und das Gerinne und seine zugehörigen Prozesse von C nach D. Daneben sind natürlich etwas präzisere Anforderungen zu erfüllen:

- Günstige Erstellung
- Das Bauwerk bewältigt die Nutzlasten des vorgesehenen Verkehrs
- Keine Verstopfungen oder Erosion
- Hohe Lebensdauer
- Minimaler Unterhalt
- Ökologische Verträglichkeit
- Fahrkomfort



Hydraulische Effekte

Gerinnequerungen durch Wald- und Güterstrassen sind praktisch immer mit einer Änderung der Gerinnegeometrie verbunden. Die hier gemachten Feststellungen beschränken sich vorerst auf reinen Wasserabfluss, ohne Schwimm- und Schwebstoffe oder Geschiebe. Man kann i.d.R. 3 Phasen unterscheiden, die häufig geprägt sind von folgenden Effekten:

Gerinnebündelung

Gerinneeinengung – abnehmende Sohlenrauheit

- Fließgeschwindigkeit erhöht sich,
- Bewegungsenergie nimmt zu

Durchleitung

Häufig geringeres Gefälle bei niedriger Sohlenrauheit

- Fließgeschwindigkeit nimmt eher zu (niedrige Sohlenrauheit dominiert),
- Bewegungsenergie nimmt eher zu

Gerinneentlassung

Gerinneverbreiterung – Sohlenrauheit nimmt zu

- Fließgeschwindigkeit nimmt ab
- Bewegungsenergie nimmt ab
- Kolkgefahr

Die genannten Effekte führen zu Energiewechseln. Zum Erhalt der Sicherheit und Funktionstauglichkeit der Querungsbauwerke ist daher **eine zweckmässige Sohlenbefestigung im Anström- sowie Ausströmbereich der Querungsbauwerke immer wichtig**. Dabei sind nicht zwingend Lösungen in Beton erforderlich. Beispielsweise sind Befestigungen mit Raubettrinnen, Blockkrampen und Sohlgleiten mit Wahl der richtigen Steingrößen auch ohne Beton zielführend. Ebenso ist das klein Halten von Energiewechseln ebenfalls günstig. Förderlich ist daher die Gestaltung **einer durchgängig rauen Sohle**.

Ökologische Effekte

Die Änderungen der Gerinnegeometrie, der Oberflächenbeschaffenheit und des Untergrundes hat Folgen für Flora und Fauna. Insbesondere kleine Säugetiere, Amphibien, Reptilien und Fische sind durch die Änderungen in ihrer Bewegungsfreiheit eingeschränkt. Uferpflanzen, die als Deckung und Nahrungsgrundlage dienen, fallen in diesen Abschnitten häufig aus. Die negativen Effekte äussern sich vorwiegend durch:

- Verschwinden von verschiedenen Lebensräumen (Unterbrechung von Oberflächen- und Grundwasserverbindung (Interstitial), Bachsohle, Ufer (Tiere und Pflanzen))
- Erschwerte Längsvernetzung (Unterbrechung von Wandermöglichkeiten, Unterbrechung von Lebensräumen und Austausch)
- Ändernde Strömungsverhältnisse (Kolk und Erosion führen zu unüberwindbaren Stufen und in der Folge zu weiteren, eher negativen Verbaumassnahmen)
- Gefällsbrüche im Längenprofil des Gerinnes (Verbunden sind Ablagerungen und Erosion, die zu Hindernissen für Kleinlebewesen werden)

Aus oben genannten Gründen sind folgende Punkte anzustreben:

Durchgehend raue Sohle

Vermeidung von Stufen und Abstürzen

Durchgehender Uferstreifen



Gesetzliche Grundlagen

Bezüglich Waldstrassen und Gerinnequerungen sind gesamtschweizerisch folgende normativen Vorgaben einzuhalten:

Tabelle 1 Gesetzesartikel

Artikel	Absatz	litera	Gesetz/Verordnung	Thema	Aussage
37			Gewässerschutzgesetz (GSchG) 814.20	Verbauung und Korrektion von Fliessgewässern	Grundsätze zur Wahrung von Naturnähe und Unberührtheit
38			GSchG 814.20	Überdecken oder Eindolen von Fliessgewässern	Überdeckung und Eindolen nur mit Bewilligung¹ .
38a			GSchG 814.20	Revitalisierung von Gewässern	Revitalisierung als kantonale Pflicht
4	2		Wasserbaugesetz (WBG) 721.100	Anforderungen (Wasserbau)	Bestmöglicher Erhalt und Wiederherstellung des natürlichen Verlaufs

¹ Ausnahmegründe

- a. Hochwasserentlastungs- und Bewässerungskanäle;
- b. Verkehrsübergänge;
- c. Übergänge land- und forstwirtschaftlicher Güterwege;
- d. kleine Entwässerungsgräben mit zeitweiser Wasserführung;
- e. den Ersatz bestehender Eindolungen und Überdeckungen, sofern eine offene Wasserführung nicht möglich ist oder für die landwirtschaftliche Nutzung erhebliche Nachteile mit sich bringt.

Der Vollzug liegt bei den Kantonen. Je nach Projektumfang beurteilen mehrere Amtsstellen die Begründung einer Bewilligung (Departement). Die unterschiedlichen Sichtweisen führen bei gutachtlichen Entscheiden, insbesondere bei Ersatz bestehender Eindolungen immer wieder zu Differenzen. Pragmatisches Entgegenkommen aller Seiten ist daher gefragt. Im Planungs-, Bewilligungs- und Realisierungsprozess hilft es, folgende Punkte vor Augen zu halten.

Funktionstaugliche Lösungen (genügend Sicherheit schadet nicht)

Umweltfreundliche Lösungen (ganzheitlichen Eingriff betrachten)

Kosteneffiziente Lösungen (Unterhalt nicht vergessen)

Um Anhaltspunkte zu den Kosten unterschiedlicher Lösungen zu erhalten, dient folgendes Beispiel.



Grober Kostenvergleich

Die aus den Entscheiden hervorgehenden Kostenunterschiede sind interessant, sich vor Augen zu führen. Ein angenommenes Beispiel soll aufzeigen, in welchem Rahmen die Unterschiede dreier, möglicher Lösungen liegen. Folgende Annahmen wurden getroffen:

Sohlenlänge 8.5m, Einbettungstiefe ~1.8m, Sohlengefälle 6%

Tabelle 2 Vergleich der Erstellungskosten dreier Kreuzungsbauwerke

NPK		Bezeichnung	Rohrdurchlass dn600	Rohrdurchlass Maulprofil mm 98 – 120	Bergeller
237.		Aushub	Fr. 1'000.-	1'000.-	Fr. 1'000.-
237.		Lieferung	Fr. 1'800.-	Fr. 4'150.-	
237.		Einbau	Fr. 1'000.-		
237.		Einlauf/Auslauf	Fr. 3'200.-	Fr. 4'000.-	Fr. 4'000.-
221.		UG 0/45, 0/22 Einbau inkl. Lief.	Fr. 800.-	Fr. 1'000.-	Fr. 800.-
241.		Betonarbeiten			Fr. 20'000.-
241.		Einlagen			Fr. 2'000.-
Total			Fr. 7'800.-	Fr. 10'150.-	Fr. 27'800.-
Verhältnis Erstellungskosten			1	~1.5	~3.5

Rechnet man mit einer Lebensdauer aller drei Bauwerke von 40 Jahren und einem Kalulationszinsfuss von 2.5% sowie jährlichen Kosten von 185Fr. beim Rohr dn600 und je 75Fr. beim Maulprofil und dem Bergeller, gleichen sich die so errechneten, auflaufenden Kosten des Rohres dn600 und des Maulprofils an. Nebenbei ergeben sich mit der Wahl grösserer Durchlassquerschnitte weitere, positive Effekte: Bessere Durchgängigkeit für Wasserlebewesen, naturnahe Sohle, höhere Abflusskapazität, mehr Licht, weniger Strömungsdifferenzen, weniger Kolk, weniger Verstopfungsrisiko, hohe Zugänglichkeit (unterhaltsfreundlich)



Abbildung 2: Beispielbilder der drei verglichenen Querungsbauwerke vlnr Rohr dn600, Maulprofil, Kastendurchlass (Bergeller)



Grundlageninformationen zur Realisierung (Martin Ammann, Eschenbach)

Abflussmengen

Allgemeines – Einleitung

Wald- und Güterstrassen queren in den allermeisten Fällen Gewässer mit kleinen Einzugsgebieten (<10 km²); in vielen Fällen sogar Bäche mit Kleinst Einzugsgebieten (<1 km²).

Die Bestimmung von Hochwasserabflussmengen in Wildbach- resp. in Kleinst einzugsgebieten ist schwierig und mit grossen Unsicherheiten behaftet.

Grundsätzlich ist jede Angabe zu Hochwasserabflüssen sehr vorsichtig zu interpretieren. Wenn immer möglich sollte man sich nicht auf das Ergebnis einer einzigen Berechnung, bzw. einer einzigen Methode abstützen.

Je kleiner ein Einzugsgebiet ist, desto stärker können Einzelfaktoren die Hochwasserbildung beeinflussen. Ausmittelungseffekte, welche sich in mittelgrossen Einzugsgebieten positiv auf die Güte der Abschätzung auswirken können, kommen bei kleinen Einzugsgebieten weniger zum Zuge. Im Weiteren sind grosse Lücken bei der Hochwasserabschätzung in kleinen Einzugsgebieten (<10km²) vorhanden. Dies hängt einerseits mit der mangelhaften Datenlage (Abflussmessungen) zusammen: Nur für wenige kleine Einzugsgebiete liegen in der Schweiz genügend lange Messreihen vor, um beispielsweise Abschätzverfahren zu eichen.

Andererseits ist die Abschätzung von Hochwasserabflüssen in kleinen Einzugsgebieten besonders schwierig, weil hier die positiven Effekte der räumlichen Ausmittlungen weniger zum Tragen kommen. Eine gute Beurteilung der ablaufenden Prozesse ist damit noch wichtiger als in grösseren Einzugsgebieten.



Abbildung 3 Sanierung der Brücke über die Sulzelruns an der Krauchtalstrasse (Einzugsgebiet: 1.7km²; HQ_{max}: ca. 24 m³/s).



Abbildung 4 Neuer Bachübergang über die Teufruns an der Krauchtalstrasse (Einzugsgebiet 0.25 km²; HQ_{max}: ca. 4.5 m³/s)

Die Abschätzung der Wasserabflussmengen beruht deshalb auf die Beurteilung der bei der Abflussbildung massgebenden Faktoren im betrachteten Einzugsgebiet. Es sind dies:

- **Niederschlag:** Die Abflussbildung wird massgeblich durch die Niederschlagsverhältnisse beeinflusst. Dabei sind sowohl die Niederschlagsmengen als auch die Niederschlagsintensität von Bedeutung.



- **Vegetation:** Die Pflanzendecke beeinflusst einerseits die Bodeneigenschaften und andererseits über die Interzeption den Anteil des Niederschlages, der auf den Boden gelangt. Sowohl die vorkommenden Pflanzenarten wie auch der Anteil der durch die Pflanzen bedeckten Fläche sind in diesem Zusammenhang relevant.
- **Boden:** Eigenschaften wie Durchlässigkeit, Porenvolumen und Mächtigkeit bestimmen das Ausmass der Infiltration und der Zwischenspeicherung im Boden.
- **Relief:** Über Hangneigung und die Oberflächenrauigkeit werden unter anderem die Abflussgeschwindigkeit und der Anteil des durch Flachstellen und Mulden im Gebiet zurückgehaltenen Wassers beeinflusst.

Begriffe (nach Böll)

- Q : Die Wasserabflussmenge Q ist ein bestimmtes Wasservolumen, das in der Zeiteinheit ein festgelegtes Profil durchfliesst. Q wird grundsätzlich in m^3s^{-1} angegeben (d.h. m^3 pro Sekunde).
- HQ_{max} : Höchsthochwasser; grösste bisher registrierte Abflussmenge (auch als HHQ bezeichnet)
- HQ₁₀₀ : 100 jährliches Hochwasser
- HQ_{massg} : Als Bemessungshochwasser wird jenes Ereignis bezeichnet, das der Bemessung einer Gerinnequerung oder einer Hochwasserschutz-massnahmen zugrunde gelegt wird. Durchlässe, Furten und Brücken an Waldstrassen sind grundsätzlich auf ein Hochwasser der Wiederkehrperiode von 100 Jahren oder auf das maximal bisher aufgetretene Ereignis (HQ_{max}) auszulegen.

Schätzung von Hochwasserabflüssen

Die Bestimmung von Hochwasserabflussmessungen in Kleinst- und Kleineinzugsgebieten ist schwierig und mit grossen Unsicherheiten behaftet. Gründe sind die fehlenden Direktmessungen der Wasserabflüsse, die starke Schwankungen in der Wasserführung und damit die Seltenheit der Ereignisse.

Grundsätzlich ist jede Angabe zu Hochwasserabflüssen sehr vorsichtig zu interpretieren. Wenn immer möglich sollte man sich nicht auf das Ergebnis einer einzigen Berechnung, bzw. einer einzigen Methode abstützen. Die Berechnung sollten zudem mittels Analysen vergangener Ereignisse z.B. anhand von Chroniken, Katastern, Hochwasserspuren und Befragungen Ortskundiger überprüft werden.

Nachfolgend werden zwei verschiedene Methoden zur Schätzung von Hochwasserabflüssen und ein Softwarepaket der WSL kurz vorgestellt.



Empirische Hochwasserformeln: Die Formel nach Melli – Müller

Empirische Hochwasserformeln beruhen auf der empirischen Beziehung zwischen Hochwasserabfluss Q und der Fläche E des Einzugsgebietes (Abbildung 5). Das Resultat ist der sogenannte Höchsthochwasserabfluss Q_{max} . Eine mögliche Formel ist die Formel nach Melli-Müller:

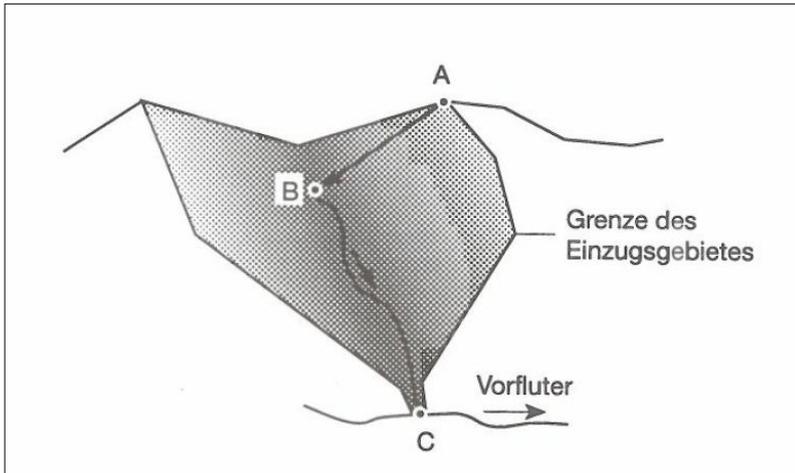


Abbildung 5 Einzugsgebiet schematisch
 (aus Böll 1997)

$$HQ_{max} = \alpha \cdot \psi \cdot E^{2/3}$$

- Q_{max} : Höchsthochwasser [m^3/s]
 α : Zonen- / Niederschlagskoeffizient [-]
 ψ : Abflussbeiwert [-]
 E : Einzugsgebietsgrösse [km^2]

Der Abflussbeiwert beschreibt den Anteil des Niederschlages, der im Laufe eines Hochwasserereignisses zum Abfluss kommt (Abbildung 6 und Abbildung 7). Die Bestimmung des Abflussbeiwertes ist eine zentrale Arbeit bei der Hochwasserabschätzung. Bei komplizierten Einzugsgebieten mit verschiedenen Standortstypen müssen Teilflächen mit unterschiedlichen Abflussbeiwerten ausgediehung werden.

Höhenlage	Charakter	ψ flach bis steil
oberhalb Waldgrenze	undurchlässige Weideböden, Fels Schutthalden (Zeller)	0,4 bis 0,8 0,05 bis 0,4
Waldgrenzgebiet	Alpweiden mit Sträuchern, einzelne Bäume lichter Wald ohne Schluss	0,3 bis 0,7 0,2 bis 0,6
tiefere Lagen	junger Wald, Wies- und Ackerland vernässte Gebiete, Sumpf (Zeller)	0,1 bis 0,5 0,3 bis 0,6

Tab. 5-2: Abflusskoeffizient ψ nach Müller resp. Zeller.

Flächencharakter	Abflussbeiwerte ψ
Fels	0,4–0,8
Schutthalden	0,05–0,4
Erosionsflächen	0,3–0,6
Weide	0,2–0,5
Wiese/Acker	0,1–0,5
Wald	0,05–0,4

Abbildung 6 Abflusskoeffizient aus BWG 2003

Abbildung 7 Abflusskoeffizient nach Böll 1997

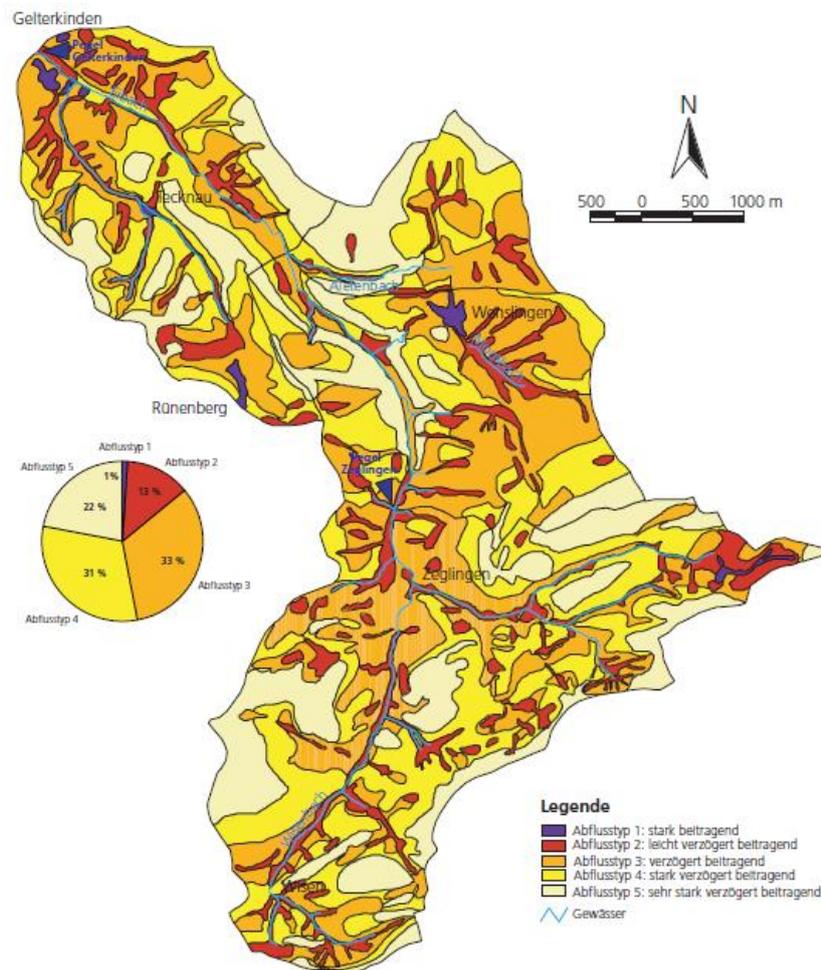


Fig. 4-4: Einzugsgebiet des Eibach (BL):
Die Abflusstypen 1–5 beschreiben die zu erwartende Abflussreaktion der Teilflächen.

Abbildung 8 Einzugsgebiet aufgeteilt nach Abflusstypen (aus BWG 2003)

Der Niederschlagskoeffizient kann auf Grund einer Karte in welcher die Niederschlagsintensität berücksichtigt ist, bestimmt werden (Abbildung 9).

Das Verfahren nach Melli-Müller kann für Einzugsgebiete mit einer Fläche (> 1 km²) verwendet werden. Für Flächen zwischen 0.5 und 1.0 km² ergeben sich konservative Werte. Bei Einzugsgebieten unter <0.5 km² ist die Anwendung dieser Formel nicht zulässig.

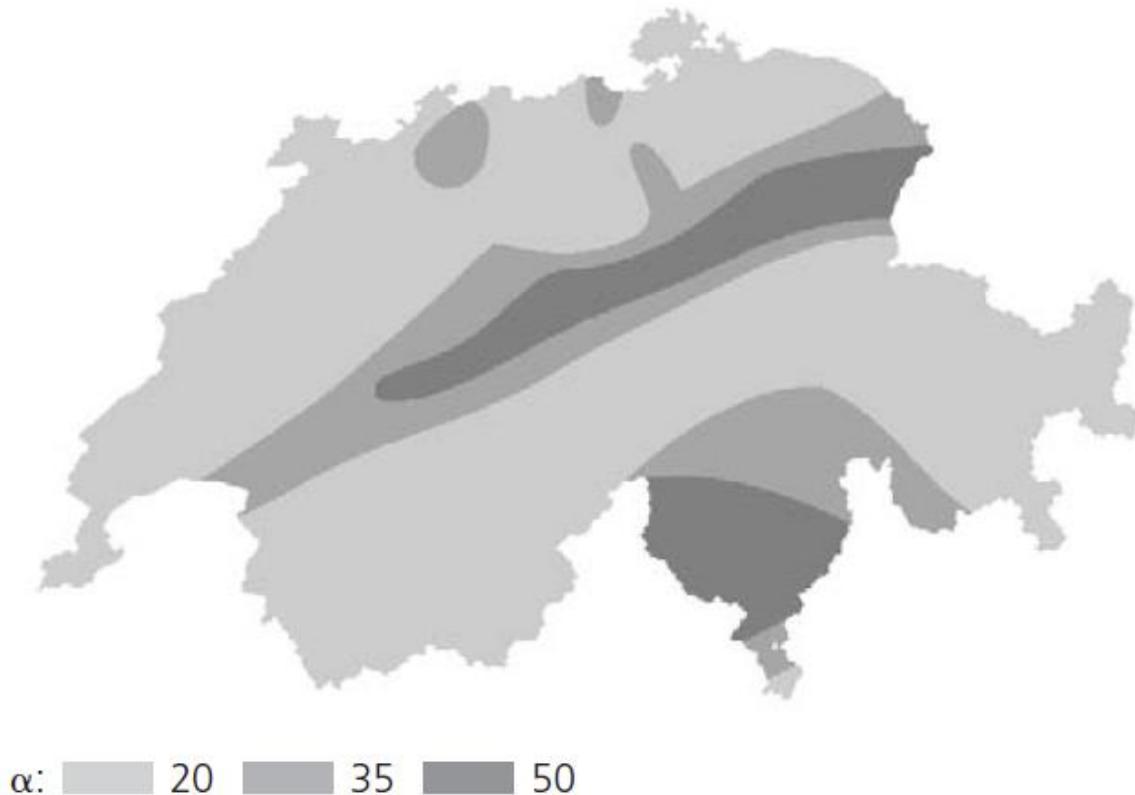


Fig. 5-5: Zonenkarte für die α -Werte nach Zeller.

Abbildung 9 Zonen- / Niederschlagskoeffizient nach BWG 2003

Fliesszeitverfahren

Ein Vorteil dieser Verfahren liegt in der expliziten Berücksichtigung des Niederschlages. Geht man von der stark vereinfachenden Annahme aus, die Wiederkehrdauer eines Niederschlages entspreche der Wiederkehrdauer des daraus entstehenden Abflusses, ist mit dieser Methodik auch die Abflussmenge einer beliebigen Jährlichkeit bestimmbar. Eine viel verwendete Form der Fliesszeitformel lautet:

$$HQ_x = 0.278 * E * \psi * i(t_{R,x})$$

- HQ_x : Abfluss der Wiederkehrperiode [m^3/s]
 E : Einzugsgebietsgrösse [km^2]
 ψ : Abflussbeiwert [-]
 $i(t_{R,x})$: Niederschlagsintensität der Wiederkehrperiode x und der Ereignisdauer T_R in mm/h

Die oben beschriebene Fliesszeitmethode eignet sich insbesondere für kleine bis sehr kleine Einzugsgebiete ($<1 km^2$).



HAKESCH

Die WSL hat ein Softwarepaket HAKESCH realisiert (Hochwasser Abschätzung in kleinen Einzugsgebieten der Schweiz), welches den hier vorgestellten Verfahrensvorschlag umsetzt und eine effiziente Hochwasserabschätzung ermöglicht. In der Software werden die fünf verschiedenen Verfahren: Müller, Taubmann, Kölla, modifiziertes Fließzeitverfahren und Clark WSL verwendet (Abbildung 10). Die Feldparameter können mit HAKESCH erfasst werden. Nach der Berechnung der Hochwasserabschätzung schlägt HAKESCH unter Berücksichtigung der vorgegebenen Gewichtung eine Hochwasserspitze vor.

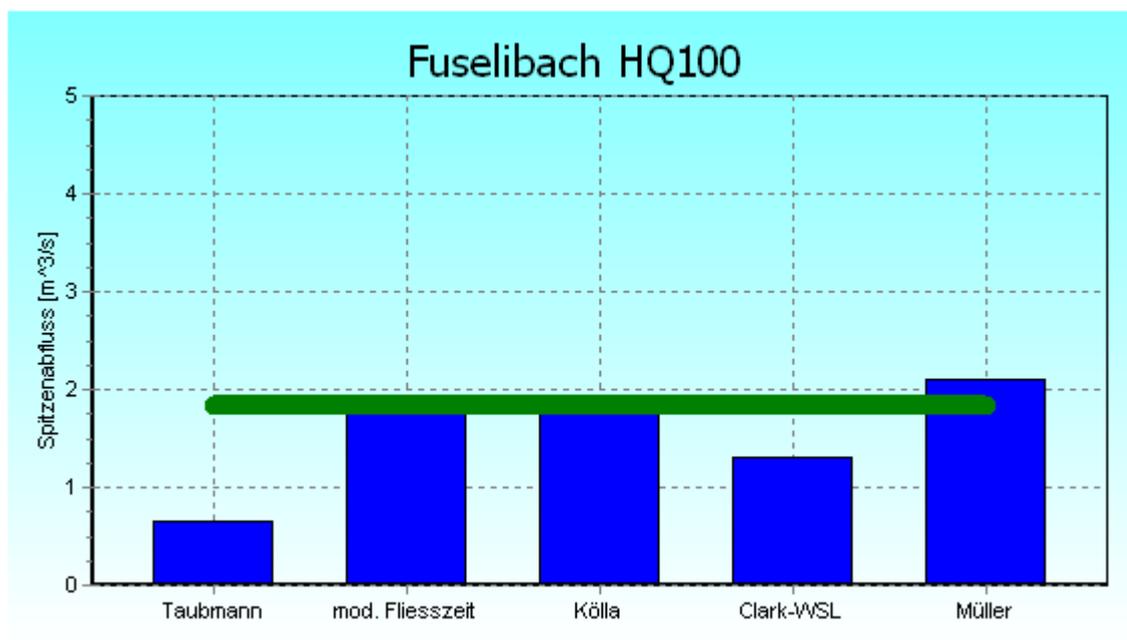


Abbildung 10 HAKESCH-Grafik als Resultat. Grafische Darstellung der verschiedenen Hochwasserabschätzverfahren und dem Vorschlage einer Hochwasserspitze (grüner Strich).

Weitere Prozesse – Naturgefahren

Bei Hochwasserabflussabschätzungen werden Reinwasserabflüsse bestimmt. Im Zusammenhang mit Bemessungsaufgaben ist zu berücksichtigen, dass zusätzlich zu der berechneten Hochwasserabflussmenge in der Regel noch die Effekte des Geschiebetransportes und allenfalls von Schwemmholz mit einem sehr hohen Schadenpotential zu berücksichtigen sind.

Daneben gilt es abzuklären ob die folgenden gravitativen Naturgefahren im Graben auftreten:

- Lawinen
- Murgänge
- Steinschlag

So quert man zum Beispiel Gerinne in denen auch Lawinen auftreten können bevorzugt mit einer Furt und nicht mit einer Brücke.



Nutzungsanforderungen

- Fahrzeuge
- Geometrie
- Frequenz

Gerinnequerungen an Waldstrassen sind bezüglich der Geometrie und der Tragfähigkeit auf LKW mit einem Gesamtgewicht von 40 to auszulegen. Dementsprechend müssen die Abrundungen im Längenprofil und die Kurvenradien entsprechend gross dimensioniert werden.



Abbildung 11 Durchfahrt eines LKW's mit langem Radstand über eine Furt.

Für ein Lastwagen mit 3-, 4-Achsen (Radstand > 5m) sowie mit 2-Achs Anhänger gelten folgende minimalen Anforderungen:

Kurven:	Minimalradius in Fahrbahnmitte	10 m
Längsneigung maximal		14 %
Fahrbahnbreite in der Geraden		3.2 m
Bankettbreite talseits		0.5 m
	bergseits	0.2 m
Quergefälle (normalerweise talseits)		2 - 4 %



Wahl des Kreuzungsbauwerkes (nach Kuonen)

Diese Angaben sind mehrheitlich in "Wald- und Güterstrassen" von Kuonen 1983 zu finden; wurden für den vorliegenden Bericht ergänzt.

Brücke:

- viel Wasser; Geschiebe und Geschwemmsel; keine Lawinen
- keine Störung der natürlichen Stabilität des Grabens
- viel Verkehr (Fahrkomfort)
- Wintersicherheit (Schneeräumung)
- grosse Höhendifferenz Gradienten - Bachsohle

Durchlass:

- wenig Wasser, wenig Geschiebe und Geschwemmsel; Lawinen
- keine Einschränkung von Linienführung und Verkehrs

Furt:

- wenig Wasser, viel Geschiebe und Geschwemmsel; Lawinen
- wenig Verkehr
- Integration in Bachverbauung

Tab. 2.115: Bewertungskriterien für Bachquerungen

	Durchlass	Brücke	Furt
Fahrkomfort	sehr gut	(sehr) gut	schlecht
Hydraulik	gut	sehr gut	sehr gut
Geschiebe, Geschwemmsel	schlecht	gut	sehr gut
Murgang	sehr schlecht	meistens gut	sehr gut
Lawinen	gut	schlecht	sehr gut
Ästhetik	sehr gut	gut	angepasst bis schlecht
Unterhalt	mittel	klein	mittel bis gross
Baukosten	500—800 Fr./m	1000 Fr./m ²	von billig bis sehr teuer

Abbildung 12 Entscheidungskriterien zur Wahl der Bachquerung nach Kuonen 1983



Gebrauchstauglichkeit des Kreuzungsbauwerkes

Hydraulische Beurteilung - Schluckvermögen des Bauwerkes

Mittels Formeln aus der Hydraulik und der Strömungslehre kann man die Fließvorgänge der Bäche über oder durch die Bauwerke berechnen. Die projektierten Bachquerungen sollten in der Regel auf ein 100-jähriges Hochwasser bemessen werden. Da neben Wasser oftmals eine beträchtliche Menge an Geschiebe transportiert wird, sollen bei der Bemessung zusätzlich Freiborde (zusätzliche lichte Weite zum Bemessungswasserspiegel) einberechnet werden.

Schluckvermögen eines Durchlasses

Bei Durchlässen von kleinen Gerinnen unter den Waldstrassen hindurch ergeben sich immer wieder Probleme, da sie die Einläufe mit Ästen und Geschiebe verstopft werden oder sie einfach das anfallende Wasser nicht schlucken können. Sie wurden zu knapp bemessen.

Zur Abschätzung des Schluckvermögens Q eines Rohrdurchlasses für reinen Wasserabfluss kann nach Strickler gerechnet werden. Dabei geht man von einer teilgefüllten Rohrleitung aus. Jedoch darf die ideale Wasserabflusstiefe nur $y \leq 0.5 d$ eingesetzt werden (Abbildung 14).

Der Durchlasstyp wie auch die Sohlenneigung, die beim Verlegen des Durchlasses gewählt wird, hat einen entscheidenden Einfluss auf das Schluckvermögen (Abbildung 13). **Je glatter die Rohrwände und je steiler eingebaut das Rohr liegt, desto grösser ist sein Schluckvermögen.**

Eingabeparameter				Durchlässe			
				A	B	C	D
				Spiwellrohr		Betonrohr	
Bemessungs-Hochwasser		$Q_{\text{massg}} = \text{m}^3/\text{s}$	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Mittleres Gerinnegefälle oberhalb Durchlass		$J_G = \%$					
Neigung des Rohres		$J_R = \%$	10	15	10	15	
Neigungswinkel des Rohres		$\gamma = ^\circ$	5.71	8.53	5.71	8.53	
Rauhigkeitsbeiwert nach Strickler		$k = \text{m}^{1/3}/\text{s}$	40	40	80	80	
zulässige Füllhöhe des Rohres		$f = \%$	50	50	50	50	
Zentriwinkel Rohrfüllung		$\varphi = ^\circ$	180.00	180.00	180.00	180.00	
Berechnung des Schluckvermögen Reinwasserabfluss							
Rohrinnendurchmesser		$d = \text{m}$	1.0	1.0	1.0	1.0	
Ideelle Wasserabflusstiefe	$y=f \cdot d$	$y = \text{m}$	0.5	0.5	0.5	0.5	
Benetzte Querschnittsfläche	$A=(d^2/8) \cdot (\varphi \cdot \pi / 180 - \sin \varphi)$	$A = \text{m}^2$	0.39	0.39	0.39	0.39	
Benetzter Umfang	$P=(d/2) \cdot (\varphi \cdot \pi / 180)$	$P = \text{m}$	1.57	1.57	1.57	1.57	
Hydraulischer Radius	$R=A/P$	$R = \text{m}$	0.25	0.25	0.25	0.25	
Breite des Wasserspiegels	$B=d \cdot \sin(\varphi/2)$	$B = \text{m}$	1.00	1.00	1.00	1.00	
Mittlere Abflusstiefe	$\hat{y}=A/B$	$\hat{y} = \text{m}$	0.39	0.39	0.39	0.39	
Ideelle Fließgeschwindigkeit	$v=k \cdot J_R^{1/2} \cdot R^{2/3}$	$v = \text{m/s}$	5.02	6.15	10.04	12.30	
Energielinienhöhe	$H=y \cdot \cos \gamma + v^2 / (2 \cdot g \cdot \cos \gamma)$	$H = \text{m}$	1.79	2.44	5.66	8.29	
Froude-Zahl	$Fr=v / (g \cdot \hat{y} \cdot \cos \gamma)^{1/2}$	$Fr =$	2.56	3.15	5.13	6.30	
Energieliniengefälle	$J_E=v^2 / (k^2 \cdot R^{4/3})$	$J_E = \%$	10.00	15.00	10.00	15.00	
Schluckvermögen	$Q_S=v \cdot A$	$Q_S = \text{m}^3/\text{s}$	1.97	2.41	3.94	4.83	
Kapazitätsreserve	$\Delta Q = Q_S - Q_{\text{massg}}$	$\Delta Q = \text{m}^3/\text{s}$	-0.53	-0.09	1.44	2.33	

Abbildung 13 Beispiel einer Analyse des Schluckvermögens eines Durchlasses in Abhängigkeit der Sohlenneigung sowie der Materialwahl (Spiwell versus Zementbetonrohr)

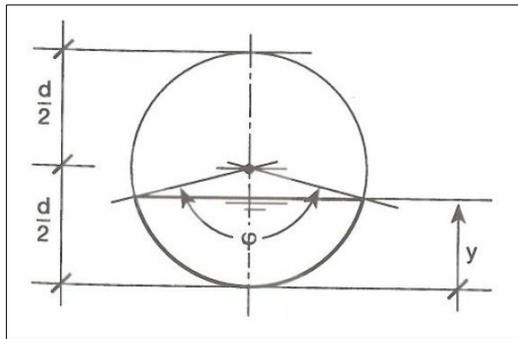


Abbildung 14 Teilgefüllte Rohrleitung
 Rohrdurchlass mit ideeller Wasserabflusstiefe
 $y \leq 0.4d$. (aus Böll 1997)

Schluckvermögen einer Furt / Brücke

Ebenfalls mit der Gleichung von Strickler kann die Wasserabflusstiefe in einem Gerinne-, Furt, oder Brückenquerschnitt berechnet werden. Dies geschieht insbesondere in Abhängigkeit folgender Parameter:

- Sohlenneigung des Gerinnes
- Rauigkeitsbeiwert
- hydraulischer Radius

Tabelle 3 Rauigkeitsbeiwerte k nach Strickler (aus Böll 1997 ergänzt)

Natürliche Wasserläufe:	k ($m^{1/3}s^{-1}$)
Wildbach mit grobem, ruhendem Geschiebe	25-28
Wildbach mit grobem, Geschiebe in Bewegung	19-22
kleine Wildbäche, Wasserspiegel unter 8m Breite	8 - 15
Kanäle und Leitungen:	
Kanal mit unregelmässiger Betonoberfläche	50
Kanal mit Bruchsteinen, grob behauen	50
Betondurchlass, Fugen sorgfältig bearbeitet	85
Spiwell-Rohr	45 - 50

Verhalten im Überlastfall

Nach Anwendung aller relevanten Entscheidungskriterien und der Auswahl eines Kreuzungsbauwerkes bleibt immer zu bedenken, wie die Folgen einer Überlastung aussehen. Übersteigen die zu erwartenden Konsequenzen einen bestimmten Rahmen, ist die Wahl zu überdenken oder sind weitere, entschärfende Massnahmen zu treffen.



Querungstyp Durchlässe

Einfach, „günstig“, aber problembehaftet

Durchlässe als Konstruktion sind sowohl als Rohr- wie auch als Kasten relativ einfach zu realisierende und, in der Erstellung günstige Bauwerke. Die hydraulisch ungünstigen Energiewechsel treten bei Durchlässen jedoch häufig stärker auf, als bei anderen Querungsbauwerken. Praktisch betrachtet können die einleitend genannten Energiewechsel beim Ein- und Ausströmen und die damit verbundenen Erosionsschäden mit bautechnischen Eingriffen vermindert werden. Die Ableitung von Reinwasser bietet häufig keine grossen Probleme. Sobald Schwimmstoffe und Geschiebe im Spiel sind, fallen die offensichtlichsten, technischen Nachteile jedoch bald auf. Durchlässe bergen **Verstopfungsgefahr** in sich und sind **beim Unterhalt schlecht einsehbar und zugänglich**. Daneben wirken sie häufig **ökologisch ungünstig**.

Bauteile von Durchlässen

Rohrdurchlässe

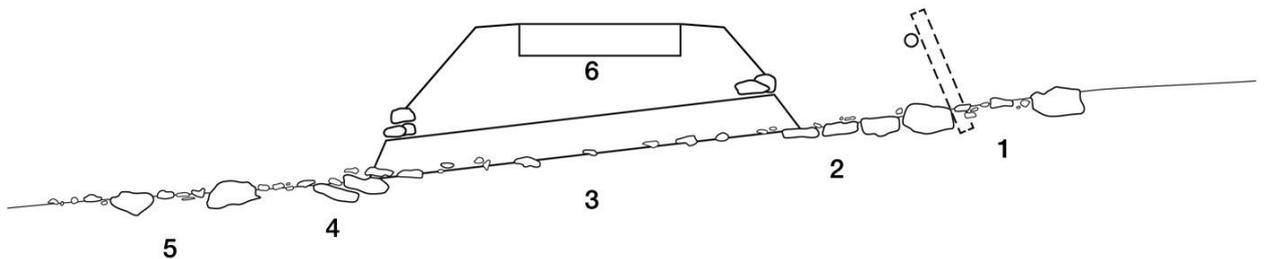


Abbildung 15: Profil eines Rohrdurchlasses mit Darstellung der feinen Sohlenstruktur

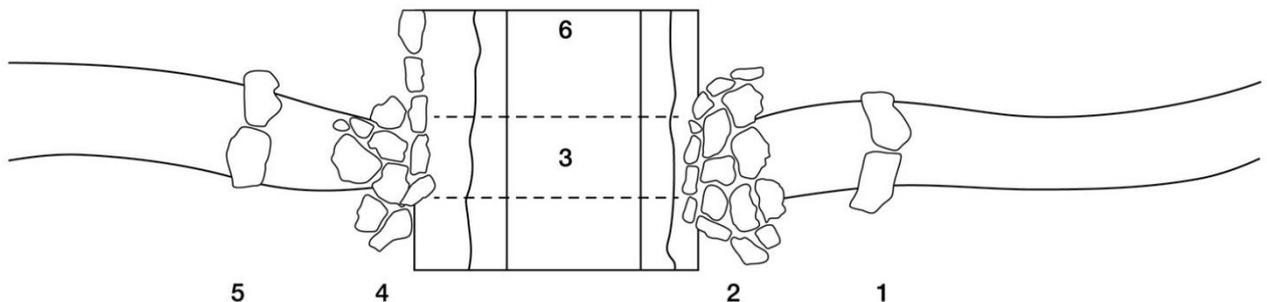


Abbildung 16: Situation eines Rohrdurchlasses ohne Darstellung der feinen Sohlenstruktur

- 1) Sohlensicherung im nahen Oberlauf
 - geeigneter Sohlen- und Uferschutz zur Sicherung des Einlaufniveaus.
 - Geschieberechen nur bei dauernder, maschineller Zugänglichkeit vorsehen (Unterhalt)
- 2) Einlaufbauwerk
 - Absatzfreies Fassen des Wassers mit Mindeststruktur (kein glatter Beton)
 - Umfließen des Einlaufs und Rückstau vermeiden (Böschungssicherheit),
 - Absetzbecken nur in ganz flachen Gewässern und kleinen Rohren, grosszügige Zugänglichkeit für maschinengerechten Unterhalt
- 3) Durchleitung im Rohrdurchlass
 - Rohrtyp und Durchmesser nicht nur nach Abfluss und Geschiebe sondern auch nach ökologischen Gesichtspunkten wählen (Maulprofile in Betracht ziehen obwohl statisch etwas heikler
 - Mindestdurchmesser für unproblematischen Unterhalt mindestens 0.8m (Böll, 1997),



- Rohr möglichst im Gefälle des Gerinnes versetzen,
 - Rohrsohle je nach Typ unter (mit Strukturelementen) oder maximal auf gleicher Höhe der Gerinnesohle (glatte Rohre) einbetten,
 - Fixieren von Strukturbremsen in geeigneten Rohren (Winkel, Hölzer, etc.),
 - genügend lange Rohre einsetzen,
 - Stossverbindungen möglichst bergseitig platzieren zur Umgehung der talseitigen Setzungsbelastungen und folgendem Verbindungsversagen,
 - seitliche Verdichtung ist am wichtigsten zur Erreichung der Rohrstabilität,
 - Rohrende geschützt (Holzerei, Unterhalt, Wetter, Geschiebe),
 - Biegesteife Einbettung (Beton) oder hohe Ringsteifigkeit,
 - Die Verlegung erfolgt von unten nach oben (Muffenende bergwärts)
- 4) Auslaufbauwerk
- Rohrauslass möglichst ohne Stufe,
 - Befestigen der Sohle und umgehen der Bildung kleiner Tosbecken mit geeigneten Steinen (Raubett oder grosszügiges Tosbecken, o.ä.),
 - Rohrende schützen (Abschrägen, überdeckt einbetten),
 - Wasserableitung gewährleisten zur Verhinderung der Böschungsverwässerung (Trassenstabilität, Rückstau)
- 5) Sohlensicherung im nahen Unterlauf
- Sicherung des Rohrauslasses im nahen Unterlauf durch Sohlsteine verhindert eine Abtiefung und anschliessenden Kolk oder Unterspülung.
- 6) Überdeckung und Strassenkörper
- Die Strassenfundation muss der Verkehrslast genügen (normale Fundationswerte oder Spannungsübertragung durch hydraulisch gebundene, armierte Schichten),
 - Ausführung steht in Kombination mit der Rohrtypwahl
 - Strassenentwässerung bedenken

Materialwahl

Bei erdverlegten Rohren wird zwischen zwei statischen Verhalten unterschieden, biegeweiches und biegesteifes.

Biegesteife Rohre aus Beton oder Steinzeug können einen beachtlichen Teil der Tragfunktion übernehmen. Sie sind heikel gegenüber Transport- und Einbauschäden sowie Belastungsüberschreitungen. Risse sind die Folge. Bei langen, holprigen Zufahrten und erschwerten Einbaubedingungen sowie eventuell unruhigem Gelände wie im Wald sind sie daher nicht sehr geeignet und werden praktisch nicht mehr eingesetzt.

Biegeweiche Rohre wie Kunststoff- oder Wellstahlrohre sind meist leichter, können sich unter Spannung verformen und leiden nicht sofort an Ihrer Dichtigkeit. Es leidet bis zu einem gewissen Mass nur die Form. Die vertikalen Spannungen sind beim Einbau im Erdreich häufig dominierend. Damit auch biegeweiche Rohre nur wenig Verformung erfahren, ist die seitliche Stützfunktion des umgebenden Einbettungsmaterials entscheidend. **Die Verdichtung des seitlichen Füllmaterials ist äusserst wichtig.** So kann die Belastung gleichmässig auf das umliegende Bettungsmaterial umgelagert werden. Nachträgliche Setzungen oder gar das Versagen des Rohres werden so vermieden. Ebenso hilft die Verwendung einer hohen Ringsteifigkeit (SN Wert). Sie beschreibt den Widerstand eines Rohres gegen Verformung durch eine Kraft. Werden biegeweiche Rohre in einer Betonhülle, eingebaut, entspricht das einer biegesteifen Konstruktion.

Sämtliche Materialien können mit dem Normpositionenkatalog 237 ausgeschrieben werden.

Kunststoffrohre

Im Tiefbau gelangen im Wesentlichen die drei unten stehenden Kunststoffmaterialien zum Einsatz. Zur Durchleitung von Gerinnen sind folgende Eigenschaften massgebend:



Tabelle 4 Gegenüberstellung der gebräuchlichen Kunststoffrohrmaterialien

	Polypropylen (PP)	Polyethylen (PE oder HDPE)	Polyvinylchlorid (PVC)
UV Beständigkeit	nein	ja	nein
Schlagfestigkeit	Hoch	Hoch	Mittel
Abriebfestigkeit	Hoch	Mittel	Sehr hoch
Freiverlegung	Mässig	Gut (HDPE)	Mässig
Verbindungsmöglichkeiten (nicht kraftschlüssig, kraftschlüssig)	Stecken, <i>Flansch</i> , <i>Klemmfitting</i>	Stecken, <i>Schweissen</i> <i>stumpf- oder mit</i> <i>Elektromuffen, Flansch</i> , <i>Klemmfitting</i>	Stecken, <i>Kleben</i> ,
Langzeit E-modul	300 – 700 N/mm ²	150 N/mm ² (am elastischsten)	1750 N/mm ²
Langmuffen für Bewegungsausgleich	ja	ja	nein
~Preis pro m (dn 400) ab Werk	Fr.94.- SN8	Fr.96.50 SN4	Fr.91.- SN2
Grossdurchlässe bis dn 1200 (Mega Rohr gewellt)	Ja, ≤ dn 1000 mm günstiger als Wellstahlösung		

Wellstahlrohre

Neben den meist runden, und eher geringeren Durchmessern der Kunststoffrohre existieren auch Rund-, Bogen- oder Maulprofilrohre aus korrosionsgeschütztem Wellstahl. Sie haben Durchmesser bis zu mehreren Metern und werden daher auch als Tagbautunnel eingesetzt. Die **seitliche Einbettung zur Übertragung vertikaler Spannungen ist dabei äusserst wichtig**. Vorteil bieten Sie durch relativ geringes Gewicht, grosse Durchmesser und damit Möglichkeit zur Gestaltung rauer Sohlen. Dies entspricht den eingangs erwähnten, hydraulisch und ökologisch gewünschten Anforderungen. Korrosion ist bei richtiger Verlegung kein schwerwiegendes Problem.

Daneben existieren auch Kunststoffrohre in Durchmessern bis zu dn 1200. Sie sind aussen ebenfalls gewellt, innen jedoch glatt. Zur Nachbildung einer naturnahen Sohle ist das fixieren von Bremsselementen ebenfalls möglich. Preislich sind Wellstahlrohre über dn 1000 aber günstiger.

Verlegehinweise und statische Nachweise

Grundsätzlich sind die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit nach SIA 190 nachzuweisen. Ein Nachweis wird häufig als Dienstleistung durch die Produkthersteller angeboten. Zudem liefern sie meist Normalien für den normierten Einbau mit. Die zu berücksichtigenden Einwirkungen nach SIA 261 sind dennoch interessant sich vor Augen zu führen:

- Erdlasten
- Verkehrslasten
- Weitere Auflasten wie Bauten
- Hydrostatischer Aussendruck
- (Eigenlast bei biegefesten Rohren)

Unabhängig des Rohrtyps sollen folgende Grundsätze bei der Rohrverlegung entsprechend der

Abbildung 17 beachtet werden



Abbildung 17: Normalprofil Rohrverlegung

Die **Überdeckung** im Strassenbereich sollte gemäss Angabe unterschiedlicher Hersteller **mindestens 0.8m betragen**. Kann die Mindestüberdeckung zwingend nicht eingehalten werden, kann auf lastübertragende, gebundene Schichten (Beton) ausgewichen werden. **Da die seitliche Verdichtung äusserst wichtig ist**, sind auch **Mindestmasse bezüglich seitlicher Grabenfreiheit (~0.5m)** einzuhalten. Ansonsten ist die Hinterfüllung und Verdichtung nur unzureichend möglich.

Bettungsschicht	mindestens 12cm (Wellstahl 40cm) mächtig, körnige, ungebundene Baustoffe (bis max. Ø 40mm) oder Beton C 12/15
Rohrumhüllung	körnige, ungebundene Baustoffe (bis max. Ø 40mm) oder Beton C 12/15, in Schichten von maximal 0.4m einbauen (in Rohrnähe nur leichte Verdichtungsgeräte verwenden)
Strassenfundation	Normierte, ungebundene Gemische (frostsicher), Verdichtungswerte gemäss SN 640 585 und SN 640 588

Für eine genügende Verdichtung ist beim Einbau das Einhalten maximaler Schichtdicken von 40cm vor jedem Verdichtungsgang zu beachten.

Kastendurchlässe

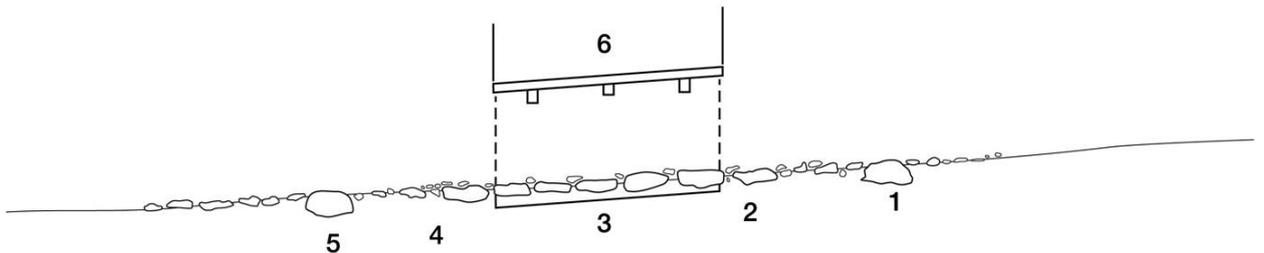


Abbildung 18: Profil eines Kastendurchlasses mit Holz- oder Stahlabdeckung und Darstellung der feinen Sohlenstruktur

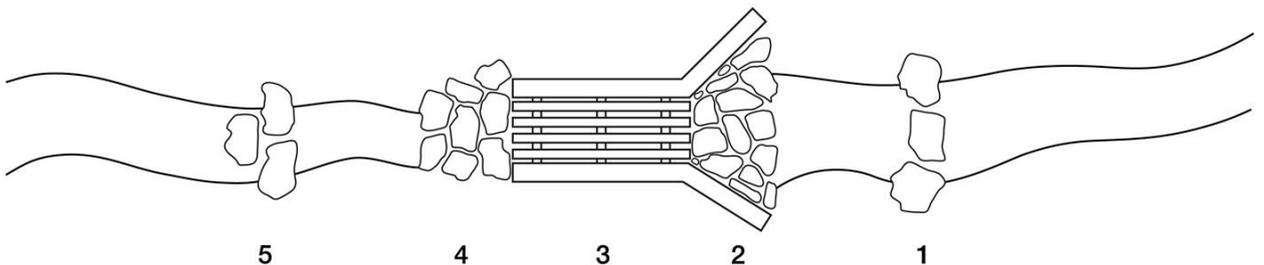


Abbildung 19: Situation eines Kastendurchlasses ohne Darstellung der feinen Sohlenstruktur

- 1) Sohlensicherung im nahen Oberlauf
 - geeigneter Sohlen- und Uferschutz zur Sicherung des Einlaufniveaus.
- 2) Einlaufbauwerk
 - Absatzfreies Fassen des Wassers mit Mindeststruktur (kein glatter Beton)
 - Umfliessen und Rückstau vermeiden (Böschungssicherheit),
 - grosszügige Zugänglichkeit für maschinengerechten Unterhalt



- 3) Durchleitung in Kastendurchlass
 - Durchlasssohle mit vermörtelten Bruchsteinen befestigen, je nach Typ unter (mit Strukturelementen) oder maximal auf gleicher Höhe der Gerinnesohle einbetten, bei hoher Geschiebefracht Stahlfaserbeton einsetzen
 - genügende Länge und Schutz der anschliessenden Böschung,
 - unterschiedliches Setzungsverhalten (Bauwerk, Strassenanschluss) bei gebundenen Deckschichten besonders beachten (Schleppplatte, Fundationskeil),
 - Betonsorte nach SIA 262 frostbeständig (XF3) oder bei Winterräumung frost- und tausalzbeständig (XF4).
- 4) Auslaufbauwerk
 - Auslass möglichst ohne Stufe,
 - Befestigen der Sohle und umgehen der Bildung eines Tosbeckens mit geeigneten Steinen (Raubett, o.ä.),
 - Durchlassenden schützen gegen Kolk,
 - Wasserableitung gewährleisten zur Verhinderung der Böschungsvernässung (Trassenstabilität)
- 5) Sohlensicherung im nahen Unterlauf
 - Sicherung des Bauwerks im nahen Unterlauf durch Sohlsteine verhindert eine Abtiefung und anschliessenden Kolk oder Unterspülung.
- 6) Fahrbahn
 - unterschiedliches Setzungsverhalten (Bauwerk, Strassenanschluss) bei gebundenen Deckschichten beachten (Schleppplatte, Fundationskeil),
 - leichtes Entfernen der gesamten Fahrbahnabdeckung mit Maschinen,
 - Fahrbahnelemente quer zur Fahrtrichtung erhöhen die Sicherheit (Fahrrad, Rutschen allgemein),
 - Materialdehnung aufgrund von Temperatur und Feuchtwechsel beim Einbau schon beachten (Dehnfugen),
 - Absturzsicherung gemäss Vorschriften (SN 640568),
 - Lösung für Viehtrieb beachten (Gummimatten, o.ä.),
 - Einleitung der angrenzenden Fahrbahntwässerung bedenken



Materialwahl und -verwendung

Kastendurchlässe haben den Vorteil, dass sie oben durch leichte, leicht entfernbare Rostabdeckungen jederzeit kontrollierbar und zugänglich bleiben. Zudem bringt die Nutzung des Lichtraumprofils bis unter die Fahrbahn die Möglichkeit zu grösserem Durchflussquerschnitt mit sich. In der Fahrbahn zeigt sich immer ein Unterbruch, der zu Material- und Querschnittsübergängen führt. Je nach Anforderungen gelangen unterschiedliche Materialien zum Einsatz. Die Anwendung im und am Wasser, zum Teil mit Geschiebe, unterschiedliche Strassenoberbauten sowie die Lastwechsel des Verkehrs setzen ein paar wichtige Verwendungsgrundsätze voraus.

Tabelle 5 Gegenüberstellung verschiedener Konstruktionsweisen für Kastendurchlässe

	Holzdurchlass mit Stahlverstärkung	Blocksteine in Beton mit Stahl-/Holzabdeckung	Beton mit Stahl-/Holzabdeckung
<i>Anwendungssituation</i>	Kleine Gerinne ohne Geschiebe, evtl. nur sporadisch wasserführend, Provisorien	Grössere, oder geschiebeführende Gerinne, Als Durchleitung für Normalabfluss in Kombination mit Furten	
<i>Einsatz zu vermeiden</i>	Bei gebundenem Oberbau, LKW Strassen	Wo stets saubere Räumung vorausgesetzt wird	-
<i>Abdeckungen</i>	Müssen leicht entfernbar sein, auch im Falle einer Geschiebeauffüllung (Achtung Schwinden und Quellen von Holz) Rostschlitze quer zur Fahrbahn sind sicherer zu passieren (Fahrrad)		
<i>Fahrbahnanschlüsse</i>	Schlaglöcher in der Verschleisschicht im Anschluss ans Holz klein halten	Setzungsdifferenzen zwischen Strassenkörper und Durchlass durch Fundationskeil oder gar Schleppplatte (bei gebundenem Oberbau) entschärfen	
<i>Sohle</i>	Wird durchfaulen	Eine Sohlenpflasterung mit frostbeständigen, abriebfesten Blöcken, vorzugsweise vor Ort gewonnen, ist widerstandsfähiger gegenüber Abrasion und hilft den Kleinlebewesen beim Aufstieg	



Abbildung 20 Holzdurchlass



Abbildung 21 Blockmauerdurchlass



Abbildung 22 Betonkastendurchlass

Die erforderlichen Nachweise der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit sowie die Bewehrungspläne sind bei Bauingenieuren einholbar. Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung von Musternormalien, welche von verschiedenen, kantonalen Amtsstellen angeboten werden.



Querungstyp Furten (Martin Ammann, Eschenbach)

Einleitung

Furten bei Wald- und Güterstrassen

Mit Wald- und Güterstrassen müssen oft unverbaute, steile Gerinne (Wildbäche) gequert werden. Durchlässe und Brücken neigen bei starker Geschiebe- oder Schwemmholführung oftmals zu Verklausungen. Die führt dazu, dass das Wasser auf der Strasse abfliesst und es kann zu Folgeschäden (Erosion Fahrbahnoberfläche, Böschungsrutschungen, etc.) führen.

Eine Furt umgeht dieses Problem geschickt und beim Waldstrassenbau ist bei jeder Grabenquerung zu prüfen ob eine Furt ausgebildet werden kann.

Begriffsdefinition:

- Untiefe in einem Bach oder Flusslauf
- Historisch ein Grund für Ortsgründungen an solchen Stellen (Frankfurt, Erfurt, Furtwangen).

Bei Furten bildet die Strassenoberfläche dauernd oder zeitweise die Grabensohle des Gerinnes. Die Wasser-, Geschiebe- oder Lawinenführung erfolgt je nach der anfallenden Materialmenge und -art dauernd oder zeitweise über die Strasse (Abbildung 23, Abbildung 24).



Abbildung 23 Furt mit dauernder Wasserführung über die Strasse



Abbildung 24 Furt in Kombination mit einem Durchlass. Wasserführung nur im Überlastfall des Durchlasses über die Strasse

Anbei sind die Vor- und Nachteile einer Furt aufgelistet:

Vorteile:

- Geschiebe- und lawinenbeständig
- unterhaltsfreundlich

Nachteile:

- Fahrkomfort (kann durch die bauliche Ausgestaltung optimiert werden)
- vernichtet Fließenergie (zwingende Sohlensicherung unterhalb der Furt nötig, kann zu Ablagerungen auf der Strasse führen)



Problemstellung

Führt ein Bach Geschiebe und Holz mit sich, erfolgt wegen der künstlichen Verflachung des Grabens im Furtbereich ein Materialstau. Das nachfolgende Wasser und Geschiebe hat die Tendenz, seitlich ausubrechen (geringster Widerstand) und die Strasse hinunterzufließen. Dadurch werden grosse Schäden verursacht (Schäden am Strassenoberbau und - unterbau, Vernässung des Untergrundes, Erosion). Durch die geschickte Führung der Nulllinie können diese Vorfälle praktisch vermieden werden. Die Furt wird mit einem Gegengefälle im Längensprofil gebaut. Wenn die Strasse beidseits des Grabens über einer gewisser Strecke möglichst steil ansteigt, wird die Wasser- und Geschiebeführung stark eingeeengt und kanalisiert. Der Wildbach erfährt kaum eine Richtungsänderung und folgt bei Hochwasser und Murgängen seinem ursprünglichen, stabilen Weg.

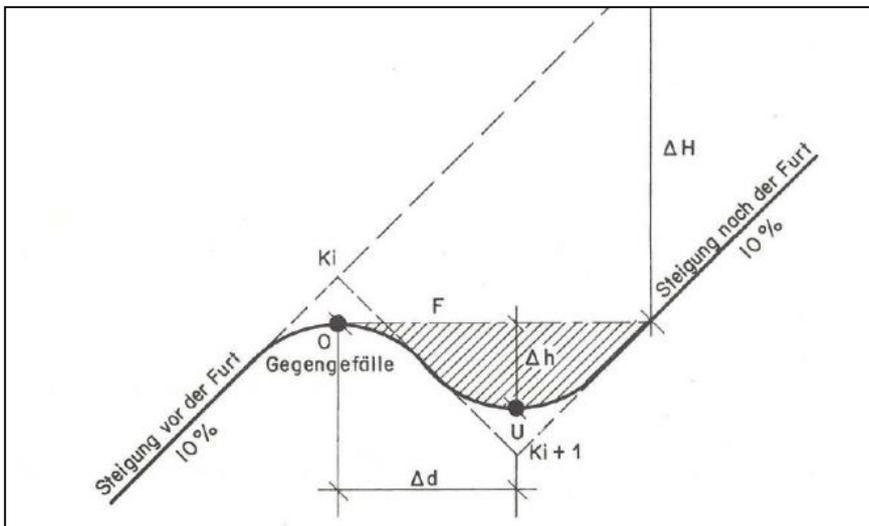


Abbildung 25 Längensprofil der Strasse im Bereich der Furt mit dem Gegengefalle (Kuonen 1983)

Strassen müssen im Gebirge oft mit der maximalen zulässigen Steigung gebaut werden. Das Gegengefalle bewirkt bei Furten einen Höhenverlust, der bereits bei der generellen Erschliessungsplanung berücksichtigt werden muss. Der Höhenverlust hängt ab von der Länge und der Grösse des Gegengefalles. Die Abbildung zeigt den Höhenverlust in Furten für Steigungen vor und nach der Furt von 10%.

Die Herausforderung bei der Projektierung und bei Bau einer Furt ist die optimale Abstimmung der Situation sowie des Längensprofil der Strasse mit dem Gerinneprofil. Dies bedingt genaue Geländeaufnahmen, eine detaillierte Projektierung der Furt und eine saubere Bauausführung.

Maximaler Normalabfluss ist bei einfachen Furten ohne Kastendurchlass aus Gründen der Verkehrssicherheit von Fahrzeugen und Fussgänger begrenzt.



Konzeptionelle Betrachtungen

Fahrgeometrie und Ausrundungen im Längensprofil

Die heute in der Forstwirtschaft verwendeten Ernte-, Verarbeitungs- und Transportfahrzeuge sind vielfältig. Jene, für den Geländeeinsatz abseits befestigter Strassen haben keine Probleme Furten zu passieren. Problematisch wird das Befahren mit Transportfahrzeugen, die primär für den Strassentransport eingesetzt werden. Ihre **Bodenfreiheit wird in erster Linie in Mulden zum Problem.**

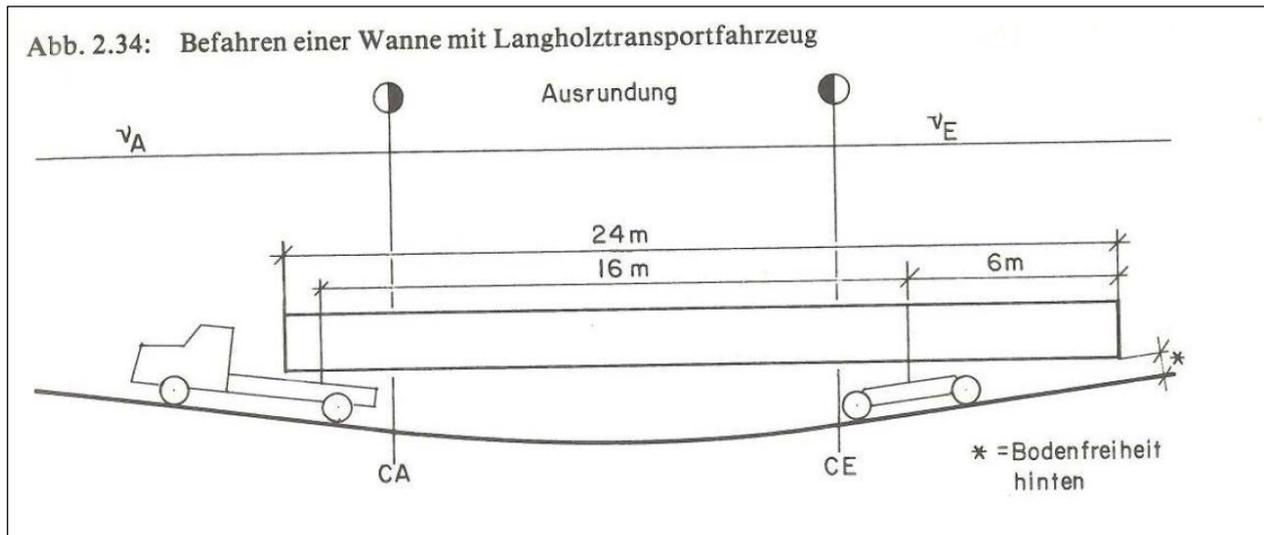


Abbildung 26 Durchfahren einer Mulde mit einem Langholzfahrzeug (Kuonen 1983)

Bei Lastwagen (LKW) bestehen nach EU Recht mehrere Nutzfahrzeugkategorien, darunter auch eine Geländekategorie (N₃G). Die Geländekategorie weist grössere Bodenfreiheit auf. Im Forstbereich eingesetzte Lastwagen entsprechen jedoch nicht immer dieser Kategorie. Daher müssen sich Abmessungen von LKW-Furten nach den normalen Nutzfahrzeugkategorien ausrichten. Die herstellerspezifischen Fahrzeugabmessungen variieren innerhalb der normierten Spannweite dennoch relativ stark. Am wenigsten tolerant gegenüber engen Mulden des Längensprofils sind die weit verbreiteten, 3-achsigen Kurzholz Lastwagen, bedingt durch ihre weit überhängenden Heckkrane. Die Zweiachs- und Tandemanhänger haben idR. keine Probleme. Ebenso sind Sattelzugfahrzeuge für Langholztransporte und 4-achsige Hacker weniger problematisch - Personenwagen ebenso. Für **das langsame Befahren** (minimale Fahrzeugdynamik, <10 km/h) haben sich folgende, **minimale Muldenradien** bewährt.

Mindestausrundung im Längensprofil für 3 Achser Kurzholzflug (26t)

40m Muldenradius (entspricht ungefähr 0.4m/%)

Mindestausrundung im Längensprofil für 2 Achser Kurzholzflug (18t)

37m Muldenradius (entspricht ungefähr 0.37m/%)



Mit Beachtung der Fahrdynamik sind Werte aus Kuonen schon länger vorhanden.

Tab. 2.33: Minimale Ausrundungslängen

Verkehrsgeschwindigkeit V (km/h)	15	20	30	40	60
Σ Anhaltstrecken s_{\min} (m)	20.0	27.9	48.2	74.4	144.5
Ausrundungslänge ℓ_o (m/‰)	0.5*	1.0*	2.9	6.9	26.1
Krümmung δ (‰/m)	2.0*	1.0*	0.34	0.14	0.04

* Diese Werte sind nur ausnahmsweise zulässig (z.B. in Furten)

Abbildung 27 Ausrundungslängen nach Kuonen 1983

Bei den Ausrundungen sind Krümmungen < 1.0 ‰/m zu verwenden. Stärkere Krümmungen wie in Kuonen 1983 (Abbildung 27) angegeben sind nur ausnahmsweise zu verwenden.

Werden Krümmungen > 1.0 ‰/m verwendet kann es zum Aufsitzen des Ladegutes bei den Langholzfahrzeugen oder zum Storren der Kranstützen bei den 3-Achs LKW mit Heckkränen kommen.

Nachträgliche Realisierung

Bestehende Gerinnequerungen, die wiederholt von mitgeführtem Geschiebe verstopft oder beschädigt werden, können durch den Einbau einer Furt verbessert werden. Da die Neigungsverhältnisse der Strasse aber bereits gegeben sind, muss man sich in erster Linie an diesen orientieren. Allenfalls geben auch weitere Objekte mit fixen Höhen (Zufahrten, Leitungen, etc.) einzuhaltende Werte vor. Bei flachen Strassenneigungen sind Anpassungen relativ einfach. **Je steiler die Ausgangssteigung der Waldstrasse ist, desto schwieriger wird die nachträgliche Ausbildung der nötigen Gegensteigung einer Furt.** Ab einer Ausgangs-Strassenneigung von 10% erstrecken sich die Auswirkungen im Längsgefälle der Strasse bereits sehr weit, führen zu kurzen Extremsteigungen und Problemen bei der Sichtweite. Die Realisierung ist somit nicht mehr empfehlenswert. Andere Lösungen müssen gefunden werden. Neben dem Bau einer teuren Brücke (Erhöhung des Abflussquerschnitts) kann je nach Situation auch ein Geschieberost im talseitigen Strassenkörper als Überlastsicherung Schutz bieten (Bsp. Brunnenmadstrasse, Lungern OW).

Die nachträgliche Einbettung einer Furt muss auf Grund der genannten Schwierigkeiten vertieft abgeklärt und geplant werden. Aktuelle Strassenprojektierungsprogramme helfen dabei wesentlich.



Abb. 1.34: Höhenverlust in Furten
(Neigung der Nulllinie vor und nach der Furt 10%)

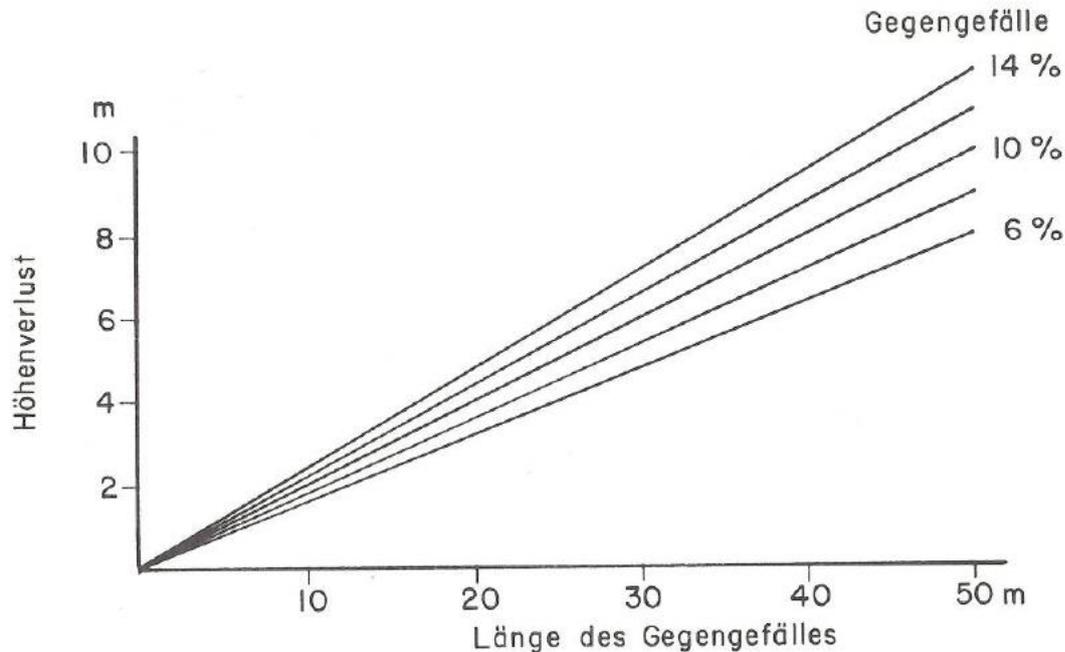


Abbildung 28 Höhenverlust in Furten in Abhängigkeit der Länge des Gegengefälles (Kuonen 1983)

Es existieren verschiedene, elektronische Hilfen zur Prüfung der Machbarkeit und späteren Detailplanung nachträglich gewünschter Furten (Roadeng, CAD-Programme allgemein, Excel). Die im Minimum benötigten Grundlagendaten sind bei allen mehr oder weniger gleich.

- Längenprofil der bestehenden Strasse (Ca. 80m vor und nach der gewünschten Furt).
- In der Höhe fixe Anschlusspunkte (Lage und Höhe, unter anderem auch des Gerinnes)
- Grösse des benötigten Abflussquerschnitts
- Nutzungsanforderungen Verkehr (Fahrzeugtyp, Ausbaustandard)

Die zusätzliche Aufnahme von Querprofilen mit zugehörigen Bildern ermöglicht Verschiebungen der Strassenachse. Das ist insbesondere bei grenzwertigen Ausgangsneigungen nötig. Je genauer die Grundlagendaten desto detailliertere Lösungen können gefunden werden. Im Extremfall mit digitalen Geländemodellen.

Die Programme liefern ebenso ungefähr dieselben, für eine Realisierung nötigen Angaben.

- Auf-/ und Abtragswerte in Bezug zur heutigen Lage (ursprünglich erhobene Punkte)
- Allfällige, horizontale Verschiebung der Strassenachse

Die Verhinderung von aufwändigen Materialtransporten mit projektinternem Massenausgleich kann angestrebt werden, ist aber zweitrangig. Die Optimierung von Gerinneprozessen und Verkehr gehen vor.

Die Kontaktierung eines erfahrenen Planers mit entsprechender Software ist aus allen genannten Gründen sinnvoll.

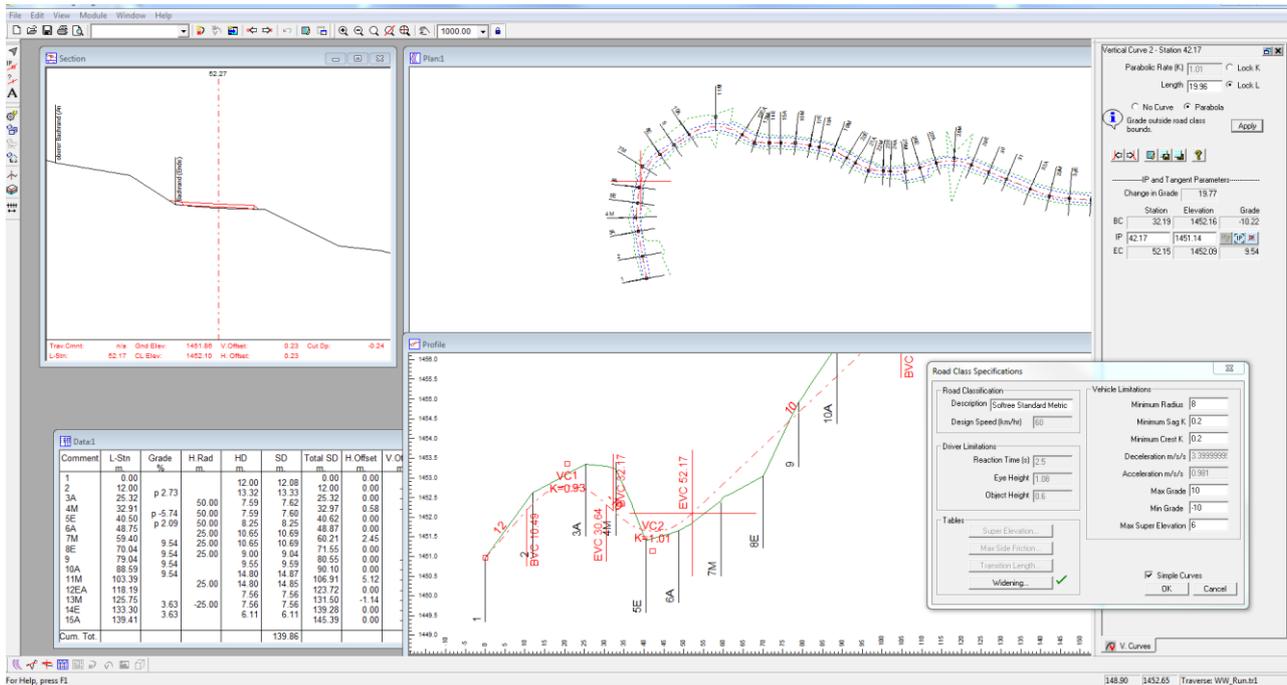


Abbildung 29 Screenshot eines Strassenprojektierungsprogrammes (Roadeng Softfree) mit Querprofil, Situation, Datentabelle und Längenprofil im Abschnitt einer Furt.

Schluckvermögen einer Furt

Der neu zu erstellende Furtquerschnitt soll im Überlastfall (Verkläuserung der Plattendurchlasses oder des Rohrdurchlasses) die Wassermenge abführen können und ein Ausbrechen des Wassers talwärts auf der Waldstrasse verhindern.

In einem ersten Schritt wird die Geschwindigkeit des Wassers im Gerinne oberhalb der Furt mit der Stricklerformel (Böll, 1997) bestimmt. Mit dieser Geschwindigkeit (v_{vor}) tritt das Wasser vom Gerinne auf die Furt über. In einem zweiten Schritt wurde die minimal notwendige Geschwindigkeit, mit der das Wasser über die Furt fließen muss (v_{min}), damit das Schluckvermögen der Furt der anfallenden Wassermenge entspricht, berechnet. Dabei wurde zuerst die maximale Abflusstiefe im Furtquerschnitt definiert (mittenbezogen wurde ein Freibord von 20 % für Wellenbildung und Überschwappen (Böll, 1997)). Über die Abflusstiefe konnte der benetzte Querschnitt bestimmt werden. Anschliessend wurde mit Einbezug des Hochwasserabflusses die minimal notwendige Geschwindigkeit des Wassers auf der Furt berechnet.

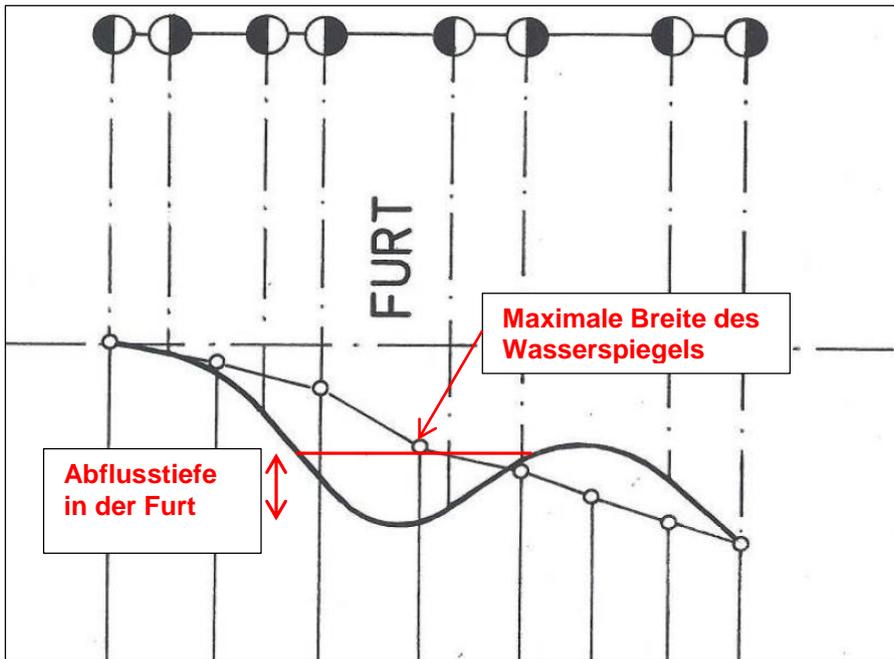


Abbildung 30 Längenprofil der Furt am Wellchessibach

Ist nun der berechnete Wert für v_{\min} kleiner als der Wert für v_{vor} , so ist das Schluckvermögen der Furt ausreichend.

Die projektierte Furt im Beispiel (Abbildung 30 und Tabelle 6) weist ein genügend grosses Schluckvermögen auf, denn die Fliessgeschwindigkeit des Wassers vor der Furt ($v_{\text{vor}} = 1.62 \text{ m/s}$) ist grösser als die minimal notwendige Fliessgeschwindigkeit auf der Furt ($v_{\min} = 1.08 \text{ m/s}$).

Tabelle 6 Eckdaten der Furt am Wellchessibach

Höhenunterschied im Gegengefälle	Δh	[m]	0.9
Maximale Breite des Wasserspiegels in der Furt	l	[m]	31.0
Wassergeschwindigkeit vor der Furt	v_{vor}	[m/s]	1.62
Minimal notwendige Wassergeschwindigkeit auf der Furt	v_{\min}	[m/s]	1.08
Schluckvermögen			ausreichend

Details bei der Ausführung

Bei den Furten sind ebenfalls die verschiedensten Konstruktionen, je nach Gefälle und Wasserführung möglich, deren zweckmässigste Konstruktion von der Charakteristik des zu querenden Gewässers abhängt.

Materialwahl und Realisierung

Bei Furten ist das eingangs erwähnte Problem der Energiewechsel besonders ausgeprägt, da die Querneigung der Fahrbahn gleichzeitig auch Abflusssohle ist. Der Zu- und Abfluss einer Furt muss daher besonders kolksicher ausgebildet werden. Im Gebirge sind talseitige Tosbecken praktisch nicht zu umgehen. Eine starke Querneigung ist aus Sicht der Erhaltung der Abflussenergie anzustreben. Werte über 7% können beim Befahren jedoch bereits zu psychologischen Widerständen führen. Zur Fahrbahnbefestigung eignen sich in Beton versetzte **Steinpflasterungen** besonders (**Expositionsklasse XF3, XF4 bei Tausalzeinsatz, frost- und abriebfeste Steine**). Sie widerstehen der Abrasion und bilden minimale Kleinstruktur zur Lebensraumverbindung. Betonplatten, auch unter Steinpflasterungen, sollten eine Mattenbewehrung mit



Kontraktionsfugen alle 5-7m enthalten. Geeignet sind **biaxiale Matten B 335.xx** mit 8mm Stäben und 5.34kg/m². An starken Gefällsbrüchen ist bei der Ausbildung in reinem Beton der Einbau von Metallprofilen (Eisenbahnschienen o.ä.) als **Überfallschutz** wichtig. Grosse Normalabflussmengen können schnell zu Einschränkungen in der Befahrbarkeit führen. Mit unterschiedlichen **Kombinationsbauten (Einlegen von Mehrfachschienen, Rostabläufen bis zu Kastendurchlässen)** kann dem begegnet werden. Hervorstehende Trittsteine und provisorische Stege für Wanderer sind funktions- und unterhaltseinschränkend und streitbehaftet bezüglich Werkhaftungsfragen.

Die Bauarbeiten beginnen mit der Versicherung der Absteckung, gefolgt von der Umleitung des Wassers in offen verlegten oder tief eingelegten, provisorischen Kleindurchlässen. Für den Aufbau des gesamten Kreuzungsbauwerkes ist die Arbeitsrichtung von unten nach oben ratsam. Sofern der Baugrund an sich nicht instabil ist, kann direkt auf dem gewachsenen Planum mit der Befestigung begonnen werden. Die wiederholte Überprüfung der Ausrundungsradien, eventuell sogar mit Befahren der vorgesehenen Fahrzeuge ist wichtig. Bei der Pflasterung sollten die Steinabstände das Eindringen mit der Vibrationsnadel zur richtigen Verdichtung zulassen.

Pragmatische Lösung bei missratenen oder untauglich gewordenen Furten (Änderung der Strassenkategorie) ist das temporäre Einfüllen von Kies ab Wand während der Holztransporte.

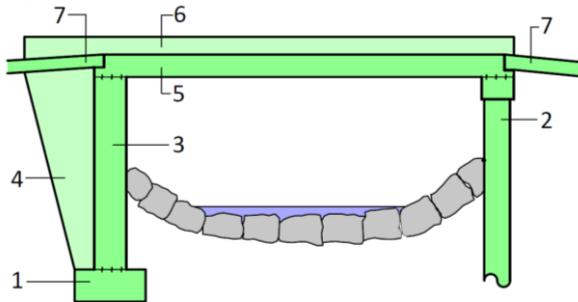


Querungstyp Brücken (Edgar Kälin, Silvan Ochsner, Einsiedeln)

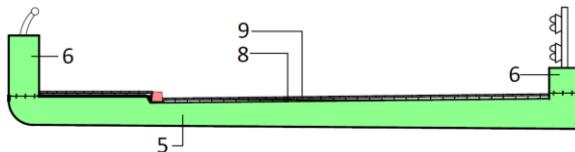
Bauteile von Brücken

Die funktionale Unterteilung der Bauteile einer Brücke kann auf jegliche Brücken angepasst übertragen werden – das heisst, von der Wanderwegbrücke bis zur Kantonsstrasse. Wichtig ist das Berücksichtigen aller Teile und deren Funktion, entsprechend den Nutzungsanforderungen. Die Ausbildung der einzelnen Bauteile unterscheidet sich dann je nach Brückenform in Material und Dimension.

Längsschnitt



Querschnitt



Unterbau der Brücke

- 1 Fundament
Um ein Unterfrieren und Unterspülen zu verhindern muss Fundament mindestens 1 m unter der Bachsohle fundiert sein.
- 2 Pfahlfundation
Bei schlecht tragfähigem Grund wird die Brücke auf Pfählen in die Tiefe fundiert.
- 3 Widerlagerwand
Die Widerlagerwand nimmt den aktiven Erddruck, die Eigen- und Verkehrslast der Brücke auf und verhindert ein Hinterspülen des Fundamentes.
- 4 Flügelmauer
Die Flügelmauer schützt die Böschung und die Trasse. Sie verhindert ein Hinterspülen des Fundamentes.

Oberbau der Brücke

- 5 Brückenplatte
Bemessung nach erforderlicher Nutzung. Bei grossen Spannweiten sind aufgrund Temperaturdehnungen Dilatationsfugen nötig.
- 6 Schlepp-Platte
Die Schlepp-Platte verhindert Setzungen hinter der Widerlagerwand. Sie ist gelenkig mit der Brücke verbunden und sehr wichtig bei gebundenen Deckschichten.
- 7 Randbord
Randborde dienen dem Abschluss der Fahrbahn, tragen die Leitplanken und können selbst als Absturzsicherung ausgebildet sein.
- 8 Abdichtung
Die Dauerhaftigkeit einer Brücke ist in erster Linie von einer sauber geplanten Abdichtung abhängig. Holzteile müssen wenn möglich vor Witterungseinflüssen geschützt werden.
- 9 Fahrbahnbelag
Der Fahrbahnbelag ist als Verschleiss-Schicht konzipiert. Er schützt die Abdichtung. Der Abschluss zu den Randborden wird mit dauerelastischen Fugen realisiert.

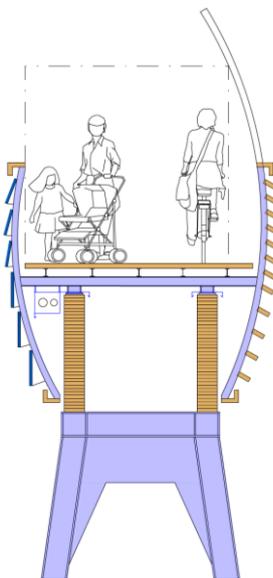


Wie bei allen Querungsbauwerken ist dem Sohlenschutz auch bei Brücken besondere Beachtung zu schenken. Das Sohlenniveau sollte im Anström- sowie im Abflussbereich konstant den geplanten Werten entsprechen. Eine raue, naturnahe Sohle (Blockrampe, Sohlengleite) ist aus genannten Gründen wünschenswert und in der Regel realisierbar

Ein im Anhang dokumentiertes Neubaubeispiel zeigt die Fertigung der einzelnen Bauteile.

Formen von Brücken

Balkenbrücken



(Bild: projektiertes Solarsteig, Sihlsee)

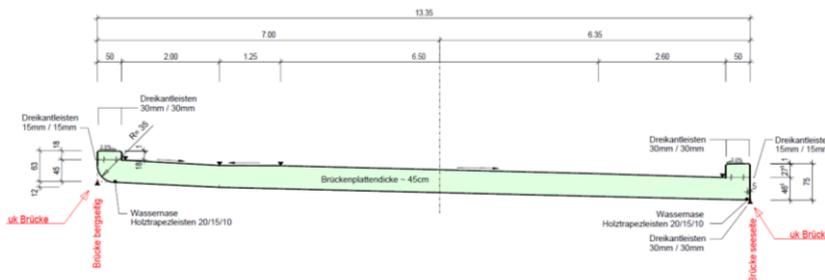
Bei Balkenbrücken ist der Überbau meist vom Unterbau getrennt. Meist ist die Trägerhöhe konstant.

Die Balken sind üblicherweise aus Stahl oder aus Holz.

Die Balken können als Einfeldträger oder als Durchlaufträger ausgebildet sein.

Die Balkenbrücken eignen sich für mittlere Spannweiten.

Plattenbrücken / Rahmenbrücken



(Bild: Steinbachbrücke, am Sihlsee)

Die Platte ist vom statischen System her ein breiter Balken.

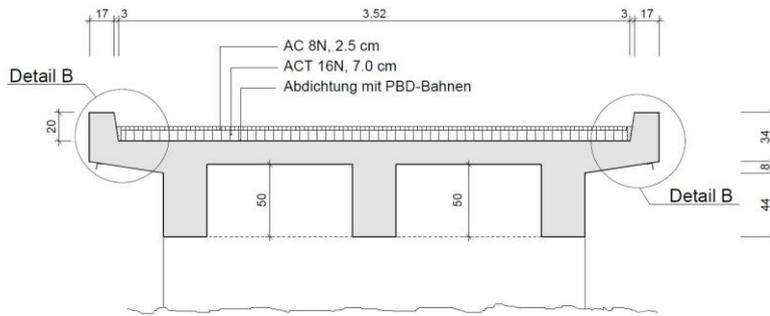
Übliches Baumaterial ist Beton; in seltenen Fällen wird auch Holz eingesetzt.

Die Platte wird häufig bei Brücken mit geringer Spannweite bis ca. 20 m eingesetzt.

Wird die Platte in die Widerlager eingespannt, spricht man von einer Rahmenbrücke.



Plattenbalkenbrücken



(Bild: Alpbrücke Strichen, Trachslau)

Die Plattenbalkenbrücke ist eine Mischform zwischen der Balken- und der Plattenbrücke.

Um Material zu sparen wird eine relativ schlanke Platte mit mehreren Balken in Längsrichtung verbunden.

Die Platte ist meist aus Beton, die Balken aus Beton, Stahl oder selten aus Holz.

Es lassen sich grössere Spannweiten erreichen als mit der Plattenbrücke.

Fachwerkbrücken / Sprengwerkbrücken



(Bild: Grossbachbrücke, Gross)

Fachwerkbrücken und Sprengwerkbrücken sind aufgelöste Tragwerksstrukturen. Der Materialverbrauch ist geringer als bei vollwandigen Bauteilen. Die Bauhöhe ist jedoch grösser. Baumaterial ist meist Holz oder Stahl. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden auch Fachwerkbrücken aus Beton erstellt.

Fach- und Sprengwerke eignen sich für grössere Spannweite.



(Bild: Brücke über die Waag, Unteriberg)

Bogenbrücken

(Bild: Scherenbrücke, Schindellegi)



Der Bogen ist fast nur Druckbelastungen ausgesetzt. Ideales Baumaterial ist deshalb Beton, oder früher auch Stein. Bogenbrücken werden aber auch in Holz oder in Stahl gebaut.

Bogenbrücken eignen sich für grössere Spannweiten



Hängebrücken



(Bild: Hängebrücke Hochstuckli, Sattel)

Die Hängebrücke gleicht statisch der Bogenbrücke. Während bei der Bogenbrücke Druckbelastungen auftreten, weist das oberhalb der Fahrbahn liegende Tragseil Zugbelastungen auf. Am Tragseil sind vertikale Hänger befestigt, welche die Fahrbahn tragen.

Baumaterialien sind Stahl und Beton.

Hängebrücken eignen sich vor allem für grosse Spannweiten

Schrägseilbrücken



(Bild: Bennauersteg, Bennau)

Die Schrägseilbrücken werden von Laien häufig als Hängebrücken bezeichnet. Im Gegensatz zur Hängebrücke, welche ein durchhängendes Tragseil und Sekundärseile aufweist, weist die Schrägseilbrücke gerade, schräge Seile auf, welche die Fahrbahn direkt tragen. Baumaterial sind Stahl und Beton.

Schrägseilbrücken eignen sich für mittlere bis grosse Spannweiten

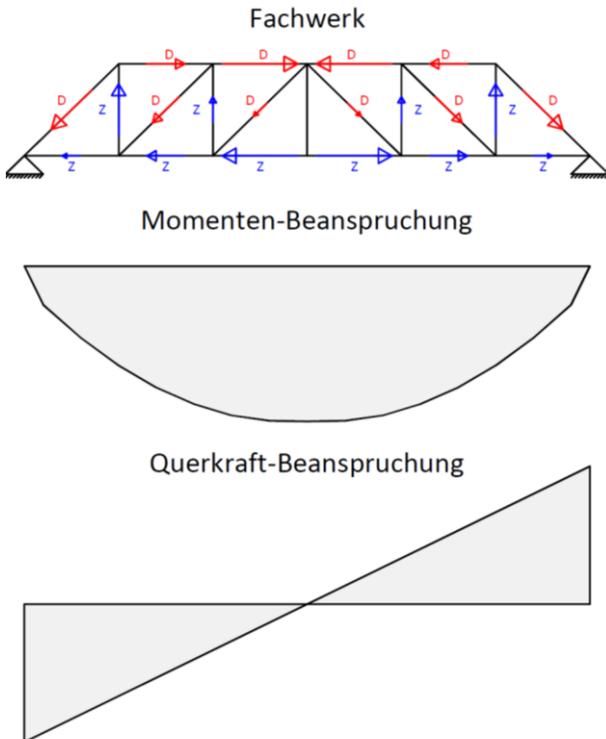
Baumaterialien

- | | |
|-------|---|
| Holz | Holzbrücken werden heute hauptsächlich für Fussgängerstege und kleinere Übergänge im Wald verwendet. |
| Stahl | Reine Stahlbrücken werden heute selten erstellt. Vielfach werden Stahlträger oder -bögen in Verbindung mit einer Betonfahrbahnplatte erstellt. |
| Beton | Die meisten Brücken werden heute in Betonbauweise erstellt. |
| GFK | Vor ca. 15 Jahren wurden erste Brücken in glasfaserverstärktem Kunststoff erstellt. Dieses Baumaterial konnte sich bis heute nicht durchsetzen. |

Die Dauerhaftigkeit einer Brücke ist nicht vom Baumaterial, sondern in erster Linie von der Güte der Konstruktion abhängig!



Brückenstatik



Brücken werden durch Biegemomente, Querkräfte und Normalkräfte (Zug- und Druckkräfte) beansprucht. Letztlich lassen sich alle Kräfte auf Normalkräfte zurückführen, wie man an einer Fachwerkbrücke zeigen kann:

In den einzelnen Stäben des Fachwerks wirken nur Zug und Druckkräfte.

Der Ober- und der Untergurt werden in Feldmitte am stärksten beansprucht. Die maximale Beanspruchung der Zug- und Druckstreben ist in Auflagernähe am grössten.

Dies zeigt sich auch in den äusseren Kräften:

Die Zug- und Druckkräfte der Gurte ergeben multipliziert mit der Trägerhöhe die Momenten-Beanspruchung.

Während sich aus den Kräften der Streben die Querkraft-Beanspruchung ableiten lässt.

Auch wenn eine Betonplatte äusserlich nicht mit einem Fachwerk verglichen werden kann, wirken im Innern dieselben Kräfte.

Eine Betonplatte oder ein Betonbalken wird mit einem Fachwerkmodell gerechnet. Die Bewehrung übernimmt dabei die Zugkräfte, der Beton die Druckkräfte.





Sanierung von Brücken

Untersuchung / Schadenursachen / Schadenbilder

Die beiliegende Hauptinspektion des Durchlasses Schnetzerenbach zeigt exemplarisch die hauptsächlichen Ursachen von Schäden an Betonbrücken:

Fehlende / defekte Abdichtung: Bis in die siebziger Jahre wurden Strassenbrücken häufig ohne Abdichtung erstellt.

nicht frostbeständiger Beton: Bei Bauteilen, die dem Frost ausgesetzt sind, ist zwingend frostbeständiger Beton einzubringen. Dieser Beton weist Luftporen auf. Dadurch kann eindringendes Wasser beim Gefrieren keine Sprengwirkung entfalten.

Salz: Für den Beton selber ist Salz nicht schädlich. Das eindringende Salzwasser greift aber die Bewehrung an. Durch die Volumenzunahme beim Rosten wird der überdeckende Beton abgesprengt.

Karbonatisierung: Der frische Beton weist einen pH-Wert von 12 auf. Durch dieses basische Milieu wird der Bewehrungsstahl passiviert und kann nicht rosten. Der Beton nimmt aus der Luft CO₂ auf und es bildet sich aus dem Zementstein Calciumcarbonat. Die Druckfestigkeit des Betons wird dadurch grösser. Nachteilig ist, dass der pH-Wert unter 10 sinkt. Wenn der karbonatisierte Bereich die Bewehrung erreicht, kann die Bewehrung rosten. Abplatzungen sind die Folge.

zu geringe Bewehrung: Beton ist eine gerissene Bauweise. Risse sind in jedem Beton vorhanden. Man unterscheidet Risse nach Schwindrissen, Zwangsrissen, Biegerissen und Schubrisse.
Schwind- und Zwangsrisse haben im Allgemeinen keinen Einfluss auf die Tragsicherheit. Biege- und Schubrisse können auf ein Tragsicherheitsproblem hindeuten.
Je nach Rissbreite können alle Rissarten eine verminderte Dauerhaftigkeit zur Folge haben.

Verhindern von Schäden

- Abdichtung sauber planen; Abfliessen des Wassers ermöglichen.
Schrägflächen, Selbstreinigung, Hinterlüftungen zur Trocknung
- angepasste Betonsorten / Stahlsorten / Holzsorten verwenden.
Beton: Expositionsclassen XF3 oder XF4 (bei Winteröffnung mit Salzeinsatz),
Stahl: B500B
Holz: witterungsbeständig wie Lärche, Douglasie, Eiche, (Kastanie)
- Beton: Schwindbewehrung einlegen, genügend Bewehrungsüberdeckung vorsehen.
- Richtiges Material am richtigen Ort.

Ein Beispiel einer Brückensanierung ist in Bildern im Anhang dokumentiert.



Quellen

Böll A., 1997. Wildbach- und Hangverbau. Bericht Eidgenössische Forschungsanstalt Wald Schnee und Landschaft, Birmensdorf, 123S.

Dietz P., Knigge W., Löffler H., 1984. Walderschliessung. Ein Lehrbuch für Studium und Praxis unter besonderer Berücksichtigung des Waldwegebau (Reprint 2011), Kessel, Remagen – Oberwinter, 426S.

Heinimann et. al., 1999. Geometrische Richtwerte von Waldwegen und Güterstrassen. Praxishilfe Bundesamt für Umwelt (BUWAL), Bern, 45S.

Künnecke et. al., 2003. Erdverlegte, drucklos betriebene Rohrleitungen aus Polyethylen (PE), Polypropylen (PP) und Polyvinylchlorid (PVC-U) – Leitfaden und Verlegerichtlinie, Verband Kunststoff-Rohre und –Rohrleitungsteile (VKR), Aarau, 96S.

Kuonen V. et al., 1983. Wald und Güterstrassenbau. Planung-Projektierung-Bau, Eigenverlag, Pfaffhausen, 743S.

Spreafico et. al., 2003. Hochwasserabschätzung in schweizerischen Einzugsgebieten. Praxishilfe Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Bern, 119S.

Vischer D., Huber A., 2010. Wasserbau. Grundlagen, Gestaltung von wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen, Springer, Heidelberg, 410S.

Amt für Landwirtschaft und Geoinformation Graubünden (ALG), 2010. Güterstrassenbau, Grundlagen und Normen. Chur, ALG.

Beratungsstelle für Unfallverhütung (bfu), 2008. Sicherheitsdossier Handbuch, 5.1 Geländer. Bern, bfu.

Verband Schweizerischer Strassenfachleute (VSS), 2014. Gesamtnormenwerk. Zürich, VSS.

Herstellerangaben:

Jansen AG (Hrsg.), 08/2012. Technisches Handbuch Entwässerung. Drucklose Rohre für die Kanalisation und Liegenschaftsentwässerung, Oberriet

Röhre Moos AG, www.roehremoos.ch, Hünenberg

Sytec Bausysteme AG (Hrsg), 2014. Sytec Geoproducts, Produkthandbuch, Niederwangen



Anhang

Beispiel eines Brückenneubaus, Grossbachbrücke, 2010



Im Jahr 2010 musste in Gross am Sihlsee die alte Grossbachbrücke ersetzt werden.



Um den Verkehr weiter aufrecht zu erhalten, wurde als Erstes neben der bestehenden Brücke eine Notbrücke erstellt.



Mit dem Betongreifer wurde die alte Brücke abgebrochen.



Da der Baugrund im obersten Bereich sehr schlecht war, wurde eine Pfahlfundation erstellt.



Im obersten Bereich ist der Beton der Pfähle jeweils von minderer Qualität. Die Pfähle werden deshalb über die Sollkote betoniert und nachträglich abgespitzt



Über den Pfählen wird das Widerlagerbankett erstellt.



Zum Schutz vor Hochwasser durfte die Brücke nicht in den Bach abgespriesst werden. Die Schalung der Brückenplatte wurde deshalb erhöht auf Stahlträgern erstellt.



Die auf den Stahlträgern aufliegende Schalung.



Die fertig bewehrte Brückenplatte.



Das Betonieren der Brückenplatte.



Um die fertig betonierte Brückenplatte abzusenken, wurden hydraulische Pressen montiert.



Die in Nischen montierten hydraulischen Pressen.



Der Polier überwacht den Absenkvorgang.



Die Brücke ist abgesenkt worden.
Die Schlepp-Platte wird erstellt.



Die Brücke wird abgedichtet.



Die fertige Brücke.

Beispiel einer Brückensanierung, Alpbrücke Strichen, 2008

Das Sanierungskonzept ist im beiliegenden Plan ersichtlich.



Es handelt sich um eine kleine, in den siebziger Jahren gebaute Brücke.



Die Fahrbahnübergänge wiesen grosse Abplatzungen auf. Auch der Betonüberzug ist einem schlechten Zustand. Typisch für eine Brücke aus dieser Zeit ist die fehlende Abdichtung.



Detail des Fahrbahnüberganges.



Mechanische Beschädigung des Unterzuges.



Abplatzungen aufgrund rostender Bewehrung waren nicht vorhanden.
Aufgrund der fehlenden Wassernase sind die Aussenseiten der Unterzüge ständig feucht.



Durch die undichten Fahrbahnübergänge tritt Wasser und bleibt auf den Widerlagern liegen.



Vorbetonieren der Widerlager.



Nachdem die Brückenplatte auf dem vorbetonierten Widerlager gesichert war konnten die Fahrbahnübergänge freigespitzt, neu bewehrt und betoniert werden.



Die Abdichtung wird über die Fuge alt-neu heruntergezogen. Die Kante wird durch eine Dreieckleiste gebrochen.



Abdichtung der Platte



Einbringen des Belages



Heissvergussfugen bei den Widerlagern und als Abschluss zu den Randborden.