



Amt für Landwirtschaft und Geoinformation
Uffizi d'agricultura e da geoinformaziun
Ufficio per l'agricoltura e la geoinformazione

7001 Chur, Ringstrasse 10 Telefon +41 81 257 24 32 Fax +41 81 257 20 17 E-Mail: info@alg.gr.ch www.alg.gr.ch

Projektierungsrichtlinien Tiefbau

22. September 2023

Inhaltsverzeichnis

Änderungshistorie	iv
1 Einleitung	1
2 Güterstrassenbau	1
2.1 Grundsätzliche Voraussetzungen für die Planung und Realisierung von Güterstrassen.....	1
2.2 Ziele und Grundlagen der Projektierungsrichtlinien	2
2.3 Aufbau.....	2
2.4 Anforderungen an Projekte.....	2
2.5 Theoretische Grundlagen und Hinweise.....	3
2.5.1 Definitionen	3
2.5.1.1 Schwach beanspruchte Strassen.....	3
2.5.1.2 Deflektionen im Strassenbau (VSS 40 330, VSS 40 733B, VSS 70 362)	3
2.5.1.3 AASHTO-Test.....	3
2.5.1.4 Tragfähigkeitswert a	4
2.5.1.5 Stärkenindex SN.....	4
2.5.1.6 Befahrbarkeitswert p.....	4
2.5.1.7 CBR-Wert (VSS 70 316A).....	4
2.5.1.8 M_E -Wert (Plattenversuch, VSS 70 312B, VSS 70 317).....	5
2.5.2 Einteilung der Strassen nach Verkehrsaufkommen	5
2.5.2.1 Funktionale Gliederung.....	5
2.5.2.2 Dimensionierungsverkehr	6
2.5.2.3 Hauptgüterstrassen	6
2.5.2.4 Güterstrassen	7
2.5.2.5 Bewirtschaftungswege.....	7
2.5.2.6 Zufahrten und Rampen.....	8
2.5.3 Aufbau schwach beanspruchter Strassen	8
2.5.3.1 Starrer Oberbau.....	8
2.5.3.2 Flexibler Oberbau	9
2.5.3.3 Materialklassierung mit Tragfähigkeitswert a	9
2.5.3.4 Lastäquivalente verschiedener Fahrzeuggattungen.....	10
2.5.3.5 Varianten des Oberbaus.....	11
2.5.3.6 Dimensionierung mit Formeln und Nomogramm.....	11
2.5.4 Geometrische Abmessungen schwach beanspruchter Strassen	12
2.5.4.1 Abmessungen verschiedener Fahrzeuggattungen.....	12
2.5.4.2 Geometrische Abmessungen nach Strasseneinteilung	13
2.5.4.3 Bankette	13
2.5.4.4 Spezielle Situationen	14
2.6 Bauausführung.....	14
2.6.1 Leistungsverzeichnisse	14
2.6.2 Allgemeine Grundsätze zur Ausführung	14
2.6.2.1 Absteckungselemente	14
2.6.2.2 Leitungen.....	15
2.6.2.3 Planum (VSS 40 580).....	15
2.6.2.4 Weitere Hinweise.....	15
2.6.3 Boden- und Baugrundverbesserungen.....	16

2.6.3.1	Behandlung des Untergrunds	16
2.6.3.2	Einfluss der Zementstabilisierung auf Frostsicherheit und Tragfähigkeit	16
2.6.3.3	Anwendung der Zementstabilisierung	16
2.6.3.4	Hinweise zur Ausführung der Zementstabilisierung	17
2.6.3.5	Weitere Hinweise zur Zementstabilisierung und Hydrophobierung	18
2.6.3.6	Weitere Verstärkungsmöglichkeiten / Unterbauten	19
2.6.4	Fundationsmaterial	19
2.6.5	Recyclingbaustoffe	19
2.6.6	Betonfahrbahn (Betonspuren/Betonplatte)	19
2.6.6.1	Dimensionierung	20
2.6.6.2	Fugen, Dübel und Sporen	20
2.6.6.3	Versetzen von Dübeln und Ankern	21
2.6.6.4	Betonsorten	21
2.6.6.5	Bewehrung	22
2.6.6.6	Einbau des Betons	22
2.6.6.7	Nachbehandlung des Betons	23
2.6.6.8	Sperrfristen	23
2.6.6.9	Betonprüfungen	23
2.6.6.10	Betoneinfärbung (Farbbeton)	23
2.6.6.11	Ausschreibung von Farbbeton	24
2.6.6.12	Weitere Hinweise für den Bau von Strassen mit Betonfahrbahn (Betonspur/Betonplatte)	24
2.6.7	Asphaltbetonbelag (Schwarzbelag)	25
2.6.8	Oberflächenbefestigung mit Rasengittersteinen	26
2.6.9	Rasengittersteine im Mittelstreifen (anstatt vollflächiger Betonbelag)	26
2.6.10	Bach- und Grabenquerungen: Brücke, Furt, Durchlass	26
2.6.10.1	Grundsätze	26
2.6.10.2	Brücke	27
2.6.10.3	Furt	27
2.6.10.4	Durchlass	28
2.6.11	Entwässerungen und Wasserableitungen	28
2.6.11.1	Grundsätze	28
2.6.11.2	Rohrdimensionierung und Rohrmaterialien	29
2.6.11.3	Ausgestaltung des Sickergrabens	30
2.6.11.4	Schächte	30
2.6.11.5	Konstruktive Hinweise	31
2.6.11.6	Querabschläge	31
2.6.12	Stützkonstruktionen	31
2.6.12.1	Stützmauern aus Beton	31
2.6.12.2	Stützkonstruktionen aus bewehrtem Erdmaterial / Steilböschungen	31
2.6.12.3	Blocksteinmauern	32
2.6.12.4	Verankerte Stützkonstruktionen aus Stahl	33
2.6.13	Leitschranken / Zäune	33
3	Materialwahl bei Bewässerungsanlagen	34
3.1	Allgemeines	34
3.2	Materialien	34
3.3	Beurteilung der Materialien	35

3.4	Materialwahl	35
4	Begrünungen.....	35
	Literaturverzeichnis	37
	Abbildungsverzeichnis	38

Änderungshistorie

Version	Datum	Änderungen
1	27.08.2008	
2	30.11.2009	
3	28.04.2010	
4	24.01.2018	
5	13.07.2021	
6	22.09.2023	gelb markiert

1 Einleitung

Die Projektierungsrichtlinien des Amtes für Landwirtschaft und Geoinformation (ALG) dienen dazu, Grundlagen für die Projektierung und Ausführung von landwirtschaftlichen Infrastrukturanlagen im Tiefbau zu liefern. Es werden Vorgaben für den Güterstrassenbau, für die Materialwahl bei der Erstellung von Bewässerungsanlagen sowie für die Begrünungsarbeiten gemacht. Diese Richtlinien machen Vorgaben und geben Hinweise, regeln jedoch nicht alle Details, für welche je nach Projekt unterschiedliche Lösungen möglich, zweckmässig und wirtschaftlich vertretbar sind.

2 Güterstrassenbau

2.1 Grundsätzliche Voraussetzungen für die Planung und Realisierung von Güterstrassen

Mit den vorliegenden Projektierungsrichtlinien soll den Ansprüchen an zeitgemässe Verkehrsanlagen zur landwirtschaftlichen Bewirtschaftung, den Vorgaben des Bundes dazu und weiteren zu beachtenden Rahmenbedingungen bestmöglich Rechnung getragen werden. Dabei verfolgen die verschiedenen Anforderungen unterschiedliche Ziele:

- Im landwirtschaftlichen Transportwesen und in der Bewirtschaftung sind kontinuierlich grössere, aber auch geländegängigere Maschinen entwickelt worden. Mit den schlagkräftigeren Arbeits- und Transportgeräten wird der gewachsenen Arbeitslast der verbleibenden Betriebe in idealer Weise entsprochen.
- Überlegungen zur Bauweise von Transportanlagen sollen immer auch einen unausweichlichen künftigen Unterhalt mit einbeziehen.
- Neben den erwähnten Vorgaben der Bundesgesetzgebung gilt es im Grundsatz – wie bei jedem landschaftsrelevanten technischen Werk – die diversen schützenswerten Interessen der Öffentlichkeit wie z. B. intakte Landschaft, Anliegen der Biodiversität oder denkmalpflegerische Aspekte zu berücksichtigen.

Infrastrukturanlagen verlangen gerade im Berggebiet oft Verbauungen des natürlichen Geländes. Dabei bilden diese baulichen Massnahmen die Grundlage für die langfristige Sicherung der Bewirtschaftung. Die Toleranz gegenüber landschaftlichen Eingriffen liegt oft im subjektiven individuellen Empfinden des Betrachters, existent sind sie aber alleweil.

Deshalb sind Projektvorhaben bestmöglich ins Landschaftsbild zu integrieren, Kunstbauten und Terrainanpassungen möglichst landschaftsschonend zu gestalten. Trassierungen von neuen Strassen sind optimal in die Topografie einzupassen, vertikale und horizontale Linienführung zu variieren. Ein Massenausgleich ist auf kürzest möglicher Distanz zu suchen, landschaftliche Veränderungen sind zu vermeiden. Der permanente und temporäre Bodenbedarf wie auch die Beanspruchung und Beeinträchtigung des Bodens während des Baus sind möglichst zu minimieren, wertvolle und empfindliche Böden zu schonen.

In landschaftlich heiklen Gebieten ist zu überprüfen, ob der Beton einzufärben ist (Grauton), um die Wahrnehmung der Infrastrukturanlagen abzuschwächen.

Begrünungen haben prioritär mit Verwendung von Rasenziegeln bei einem sorgfältigen Oberbodenabtrag und -auftrag zu erfolgen. Im Sinne eines nachhaltigen Umgangs mit den natürlichen mineralischen Ressourcen soll der Einsatz von mineralischen Recycling-Gesteinskörnungen immer geprüft werden.

Die nachfolgenden Ausführungen fassen das Wesen des landwirtschaftlichen Strassenbaus zusammen, machen auf einige konstruktive Details aufmerksam und bilden so Bedingungen und Auflagen des Kantons an die Beitragsberechtigung von Strassenbauvorhaben in der Landwirtschaft.

2.2 Ziele und Grundlagen der Projektierungsrichtlinien

Mit diesen Projektierungsrichtlinien werden folgende Ziele verfolgt:

- die Erstellung von neuen oder Erneuerung von bestehenden Strassen, welche den Anforderungen an landwirtschaftliche Transportachsen mittel- bis langfristig (> 20 Jahre) genügen;
- kostengünstige Lösungen in Bezug auf Erstellung und Unterhalt während der erwarteten Lebensdauer (ca. 40 Jahre);
- optimale Berücksichtigung der Natur- und Landschaftsaspekte sowie weiterer öffentlicher Interessen;
- sorgfältige und qualitativ hochstehende Bauweise;
- das Erlangen der maximalen Bundesbeiträge.

Die Grundlagen zu diesen Projektierungsrichtlinien finden sich

- im Kreisschreiben **01/2023 vom 27. Februar 2023**, Grundsätze zur Subventionierung von Güterwegen des Bundesamts für Landwirtschaft, Fachbereich Meliorationen;
- bei den theoretischen Ausführungen des forstlichen Ingenieurwesens der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich (ETH);
- in verschiedenen Normen des Schweizerischen Verbands der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS), mit Vorbehalt in der Schweizer Norm (SN) 640 741 und VSS 40 742–40 744;
- in weiteren Grundlagen gemäss Literaturverzeichnis.

2.3 Aufbau

Diese Projektierungsrichtlinien sollen nebst den Normenblättern, welche in einem separaten Kapitel am Schluss enthalten sind, auch einen Einblick in die theoretischen Grundlagen der Strassenbaukunst geben, auf vorhandene und bewährte Lehrmittel und natürlich auf die Normen des VSS verweisen. Damit wird es auch dem noch nicht sattelfesten Anfänger im Güterstrassenbau möglich, sich schnell und qualifiziert in die Materie einzuarbeiten.

2.4 Anforderungen an Projekte

Die zu projektierenden Strassen sind vor der technischen Bearbeitung anhand der künftigen Funktion in die unter 2.5.2, "Einteilung der Strassen nach Verkehrsaufkommen" aufgeführten Funktionsklassen, einzuteilen. Die Einteilung ist zu begründen.

Aufgrund dieser Einteilung werden dann die geometrischen und nach Tragfähigkeit geforderten Abmessungen festgelegt und darauf basierend die technische Bearbeitung vorgenommen.

Im Falle von Gesamtmeliorationen oder Erneuerung ganzer Güterstrassennetze sind im Auflageprojekt für die verschiedenen Funktionsklassen einheitliche Signaturen oder Farben zu verwenden. In den Strassentabellen sind Strassen gleicher Funktion zusammenzufassen.

Für die verschiedenen Oberflächenbefestigungen sind ebenfalls klar unterscheidbare Signaturen und Farben zu wählen. Funktionsklassen und Oberflächenbefestigungen sind in verschiedenen Plänen darzustellen.

Bauprojekte bestehen mind. aus gezeichneten Plänen für Situation, Quer- und Längsprofile, Normalprofil(e) sowie einem technischen Bericht und Kostenvoranschlag. Letzterer ergibt sich aus den Ausmassen gemäss Projekt und der Auseinandersetzung mit dem Gelände.

2.5 Theoretische Grundlagen und Hinweise

2.5.1 Definitionen

2.5.1.1 Schwach beanspruchte Strassen

Eine schwach beanspruchte Strasse hat Verkehrsmengen im unteren Bereich entsprechend der Verkehrslastklassen T1–T2 (sehr leicht–leicht) nach VSS 40 324, "Dimensionierung des Strassenoberbaus, Unterbau und Oberbau", zu bewältigen. Die tägliche äquivalente Verkehrslast TF reicht von ≤ 30 –100.

Mit Hinweis auch auf die alte SN 640 321, "Dimensionierung, Befahrbarkeit der Strassenoberfläche", und die Vorgaben in [5], S. 5, wird die Endbefahrbarkeit schwach beanspruchter Strassen mit $p_E = 1,5$ (schlecht) angenommen (siehe auch Kapitel 2.1.6).

Nach Heinimann [4], S. 5, versteht man unter

- **Strassen:** künstlich geschaffene Verkehrsflächen, die mit sämtlichen gemäss Verkehrsgesetzgebung zugelassenen Fahrzeugen befahren werden können.
- **Wege:** künstlich geschaffene Verkehrsflächen, die nur mit bestimmten oder keinen Fahrzeugtypen befahren werden können wie Maschinenwege, Jeep-Wege, Wanderwege.

Hinweis: Verbindungsstrassen im Sinne von landwirtschaftlichen Hauptgüterstrassen können je nach Situation im Bereich der Verkehrsklasse T3 (mittel) mit $TF = 100$ –300 angesiedelt werden.

2.5.1.2 Deflektionen im Strassenbau (VSS 40 330, VSS 40 733B, VSS 70 362)

Unter Belastung deformieren sich natürlich gelagerte, speziell aber auch zusammengesetzte und/oder behandelte Böden (z. B. Strassenaufbauten) plastisch und elastisch. Wo die plastische Komponente für Deflektionsmessungen nicht relevant ist, gibt die elastische Komponente aufgrund von Untersuchungen (AASHTO-Test) wichtige Hinweise auf die Tragfähigkeit.

Der Vorgang zur Ermittlung der Deflektionen – vorwiegend bei bestehenden Strassenoberbauten angewandt – ist genormt, geht von einer grossen Anzahl Messungen aus und liefert statistische Aussagen über einen Strassenabschnitt. Der Mittelwert und die dazugehörige Standardabweichung der Deflektionen qualifizieren den Strassenabschnitt als Ganzes und ermöglichen so eine Aussage über die Tragfähigkeit. In einem zweiten Schritt führen sie zur notwendigen mittleren Verstärkung, welche den Dimensionierungsverkehr bis zur Endbefahrbarkeit zulässt.

2.5.1.3 AASHTO-Test

In den 50-er und 60-er Jahren des letzten Jahrhunderts sind von der American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) umfangreiche Tests in Ottawa und

Illinois durchgeführt worden, um den Einfluss des Verkehrs und des Frostes auf die Beanspruchung der Strassen zu untersuchen.

Die Versuche wurden getrennt nach flexiblen und starren Strassenaufbauten gemacht und beschrieben. Aus den Tests ergaben sich wichtige Erkenntnisse für den Aufbau von Strassen in Abhängigkeit von Klima (R-Faktor zwischen 1 und 2 festgelegt), Untergrundtragfähigkeit (in Prozent CBR ausgedrückt) und Verkehr (mit W = Anzahl Durchgänge von Normalachslasten $NAL = 8,2 \text{ t} = 82 \text{ kN}$ quantifiziert).

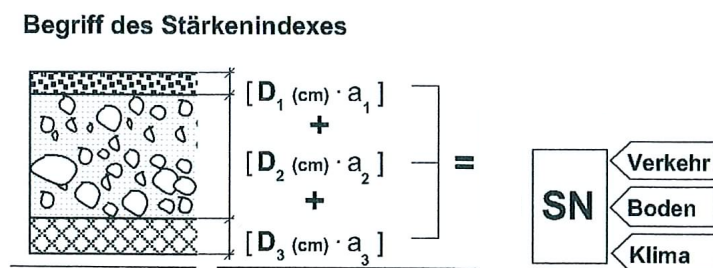
Die darauf basierenden empirischen Formeln lassen Aussagen über die Tragfähigkeit von Strassen aufgrund der gemessenen mittleren Deflektion zu. Mit den Tests konnten auch die materialabhängigen Tragfähigkeitswerte a verschiedener Baumaterialien bestimmt werden, welche mit zu verwendenden Schichtstärken zum Stärkenindex SN einer neuen Strasse oder der notwendigen Verstärkung für eine bestehende Strasse führen.

2.5.1.4 Tragfähigkeitswert a

Mittels des Tragfähigkeitswerts werden die Tragfähigkeiten der verschiedenen im Strassenbau eingesetzten Materialien für die Schichtstärke von 1 cm festgelegt (siehe auch AASHTO-Test). Anders ausgedrückt ist der Tragfähigkeitswert a ein Mass für die relative Tragfähigkeit bzw. die Lastverteilungswirkung einer Oberbauschicht im Vergleich zu Kiessand rund mit einem Wert von $a = 1$.

2.5.1.5 Stärkenindex SN

Der Stärkenindex SN ($= a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + \dots$) charakterisiert eine Strasse bezüglich der Tragfähigkeit eines schichtweisen Aufbaus, wobei D_i die Schichtstärken der verschiedenen Schichten in [cm] und a_i die Tragfähigkeitswerte des jeweiligen Materials angeben. Nach [5], S. 5, ergibt sich folgende Darstellung:



2.5.1.6 Befahrbarkeitswert p

Mit dem Befahrbarkeitswert p wird die Befahrbarkeit einer Strasse beschrieben. Nach SN 640 231 versteht man darunter "die Eignung für die Aufnahme eines intensiven und schnellen gemischten Verkehrs". Der Befahrbarkeitswert p wird zwischen 0–1 (sehr schlecht) und 4–5 (sehr gut) definiert. Er kann visuell aufgrund von Wellenbildung, Rissen im Belag, Spurrinnen etc. bestimmt werden.

2.5.1.7 CBR-Wert (VSS 70 316A)

Im CBR-Test wird mittels Stempeleindringungsversuchen die Kraft p ermittelt, welche notwendig ist, einen Stempel vom Durchmesser 50 mm mit einer Geschwindigkeit von 1,25 mm/min bis zu einer bestimmten Tiefe in den Testboden zu drücken. Das Resultat wird

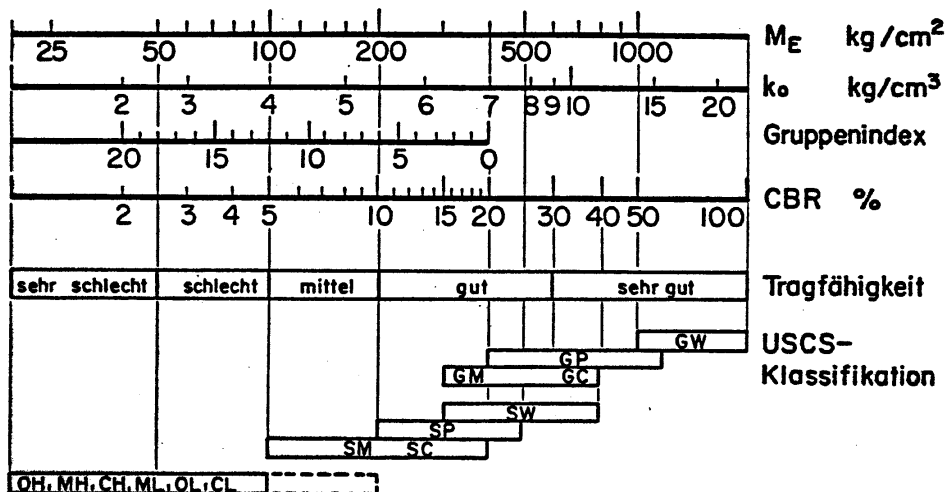
dann mit der notwendigen Kraft p_s für den Standardboden des CBR-Tests, einem gebrochenen Schotter, verglichen ($CBR = p/p_s \cdot 100$ [%]) und damit die Untergrundtragfähigkeit ausgedrückt. Werte $< 2,5$ Prozent weisen auf eine sehr schlechte, solche von 2,5–5 Prozent auf eine schlechte und solche von 5–10 Prozent auf eine mittlere Untergrundtragfähigkeit hin.

2.5.1.8 M_E -Wert (Plattenversuch, VSS 70 312B, VSS 70 317)

Im Gegensatz zur Deflektionsmessung wird der M_E -Wert in einer Messreihe am selben Ort ermittelt. Die Messungen sind relativ aufwändig, sodass nur sehr wenige M_E -Werte pro Baustelle bestimmt werden. Entgegen den Deflektionsmessungen ergeben die M_E -Tests Einzelwerte bestimmter Punkte und keine Gesamtübersicht über den zu untersuchenden Strassenabschnitt.

Bei schwach beanspruchten Strassen sind auf dem Planum M_E -Werte von 100–150 kg/cm^2 (10–15 N/mm^2), auf der Kofferplanie (Rohplanie) solche von 600–800 kg/cm^2 (60–80 N/mm^2) zu erreichen.

Das folgende Diagramm zeigt den angenäherten Zusammenhang zwischen den Bodentragfähigkeitswerten und den Bodentypen:



Quelle: [1], S. 355, Kap. 3.63, Methoden zur Bestimmung der Tragfähigkeit

2.5.2 Einteilung der Strassen nach Verkehrsaufkommen

2.5.2.1 Funktionale Gliederung

In der Raum- und Verkehrsplanung wird das Gemeindestrassennetz oft nach der Funktion eingeteilt. Analog können auch das Güter- und Waldstrassennetz nach der Funktion eingeteilt werden.

Raum- und verkehrsplanerische Einteilung	Einteilung der Güterstrassen
Verbindungsstrassen	Hauptgüterstrassen
Sammelstrassen	Güterstrassen
Erschliessungsstrassen	Bewirtschaftungswege
Private Zufahrtsstrassen	Zufahrten und Rampen

2.5.2.2 Dimensionierungsverkehr

Je nach der Funktion einer Transportanlage wird die Verkehrsmenge in Normalachslasten (NAL) bis zur Endbefahrbarkeit p_E nach [2], S. 5, festgelegt.

Strassentyp	Synonymer Begriff für schwach beanspruchte Strassen	Belastung bis zur Endbefahrbarkeit in NAL (Lebensdauer 40 Jahre)
Verbindungsstrasse	Hauptgüterstrasse mit Verbindungsstrassencharakter	ca. 100 000
Sammelstrasse	Güterstrassen zur Raumschliessung, Hofer-schliessungen	40 000–80 000
Erschliessungsstrasse	Bewirtschaftungswege, Güterstrassen zur Detailerschliessung	5000–20 000

Die Last einer Referenzachse nach internationalen Usanzen (Normalachslast) beträgt 8,16 Tonnen.

2.5.2.3 Hauptgüterstrassen

Hauptgüterstrassen haben Verbindungsstrassencharakter, werden das ganze Jahr gebraucht und erschliessen mehrere ganzjährig bewohnte Höfe oder Fraktionen. Das Verkehrsaufkommen beinhaltet auch Lastwagen, weshalb Fahrbahnbreiten von 3,00–3,30 m und das Bankett talseits mit 0,50 m und bergseits mind. 0,35 m zu empfehlen sind (Fahrbahnbreite bis 3,60 m möglich).

Die Winteröffnung stellt sowohl an den Strassenaufbau (Strassenoberfläche, Frosteinwirkung) wie an die Geometrie der Strasse (max. Längsgefälle < 12 Prozent, Quergefälle bergseits, Schneeräumung, Schneekriechen bei langen bergseitigen Böschungen) spezielle Anforderungen.

Durch das höhere Verkehrsaufkommen (Dimensionierungsverkehr $W = \text{ca. } 100\,000 \text{ NAL}$) ist die massgebende Deflektion auf $d_m = 160 [1/100 \text{ mm}]$ festzulegen. Je nach der Untergrundtragfähigkeit (z. B. zwischen $\text{CBR} = 0,5 \text{ Prozent}$ und $\text{CBR} = 10 \text{ Prozent}$) ergibt sich nach 2.5.3.6, "Dimensionierung mit Formeln und Nomogramm", ein notwendiger Stärkenindex von $\text{SN} = 9,7$ bis $\text{SN} = 5,1$. Nach der Bestimmung des CBR-Werts kann der Oberbau dimensioniert werden. Bei Hauptgüterstrassen wird in der Regel ein Hartbelag eingebaut.

Der in Dörfern und Fraktionen zu erwartende gemischte Verkehr stellt Anforderungen an eine möglichst unterbruchsfreie Benützung, was die entsprechende Anzahl und Platzierung von Ausweichstellen erfordert.

Durch die Anordnung von beidseitigem, tragfähigem Bankett wird das Kreuzen des leichten Verkehrs bei reduzierter Geschwindigkeit möglich.

Hauptgüterstrassen sind öffentliche Anlagen, die auch von der Öffentlichkeit unterhalten werden.

2.5.2.4 Güterstrassen

Güterstrassen dienen hauptsächlich als Transportachsen für den landwirtschaftlichen Verkehr. Wenn sie gleichzeitig als Basiserschliessung für den Wald dienen, ist den höheren Transportgewichten und -volumen Beachtung zu schenken. Für den rein landwirtschaftlichen Verkehr sind die Fahrbahnbreiten mit 3,00 m genügend. Als Basiserschliessung für den Wald können mit entsprechender Begründung Fahrbahnbreiten bis 3,30 m vorgesehen werden. Talseits wird ein 0,50 m breites, bergseits ein 0,35 m breites, tragfähiges Bankett an die Fahrbahn angehängt.

Güterstrassen erschliessen land- und forstwirtschaftliche Räume mit Mindestausdehnung (normalerweise > 10 ha) und werden in der Regel von verschiedenen Benutzern frequentiert. Entsprechend werden sie der Öffentlichkeit zugeteilt und von ihr (evtl. unter finanzieller Beteiligung der Grundeigentümerinnen und Grundeigentümer) unterhalten.

Güterstrassen werden im Winter höchstens für den Zugang mit leichten Fahrzeugen zu Ausfütterungsställen benutzt. Grundsätzlich sind sie im Winter aber geschlossen. Das Quergefälle ist normalerweise nach aussen gerichtet und dient so der Oberflächenentwässerung über die Schulter. Das ideale Längsgefälle bei Güterstrassen beträgt 0–8 Prozent, bei einer Kiesoberfläche 3–8 Prozent. Bei einer Kiesoberfläche mit einem Längsgefälle unter 3 Prozent bilden sich oft Schlaglöcher, die im Rahmen des Unterhalts nur schwer in Griff zu bekommen sind. Ab 8–10 Prozent Längsgefälle ist der Einbau eines Hartbelags zu prüfen. Die Befestigung bei einem Längsgefälle < 8 Prozent ist nicht ausgeschlossen (je nach Verkehr, Niederschlag, Besonnung, Anteil Schmelzwasser/Oberflächenwasser der oberhalb angrenzenden Fläche etc.).

Da mehrere Benützer die Strassen gebrauchen, herrscht zu den Hauptwirtschaftszeiten (Heuernte, Ausbringen des Hofdüngers) reger Verkehr. Ausstellplätze sind an übersichtlichen Orten notwendig, kurze Wartezeiten zum Kreuzen sind aber zu akzeptieren.

Der Oberbau ist so zu dimensionieren, dass der veranschlagte Dimensionierungsverkehr von $W = 40\,000\text{--}80\,000$ NAL problemlos bewältigt werden kann. Die massgebende Deflektion ist auf $d_m = 170$ [1/100 mm] festzulegen. Je nach Tragfähigkeit des Untergrunds (zwischen CBR = 0,5 Prozent und CBR = 10 Prozent) ergibt sich nach 2.5.3.6, "Dimensionierung mit Formeln und Nomogramm", ein notwendiger Stärkenindex von $SN = 9,3$ bis $SN = 4,7$. Entsprechend ist der Oberbau zu dimensionieren.

2.5.2.5 Bewirtschaftungswege

Als Bewirtschaftungswege werden Transportanlagen bezeichnet, welche in der Regel rein der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung dienen und als Detailerschliessung von Räumen normalerweise in Güterstrassen und Hauptgüterstrassen münden. Die Fahrbahnbreite beträgt 3,00 m. Talseits wird ein 0,50 m breites, bergseits ein 0,10 m breites, tragfähiges Bankett an die Fahrbahn angehängt. Ab 8–10 Prozent Längsgefälle ist der Einbau eines Hartbelags zu prüfen. Die Zahl der Benutzerinnen und Benutzer ist bekannt und beschränkt. Als Faustformel kann angenommen werden, dass die Erschliessung einer landwirtschaftlichen Nutzfläche (LN) < 10 ha mit einem Bewirtschaftungsweg ausreicht. Wird die Strasse nur von wenigen Benutzern beansprucht, kann der Unterhalt auch diesen Direktinteressierten überbunden und die Öffentlichkeit damit entlastet werden. In einem solchen Fall wird die Strasse im Miteigentum subjektiv dinglich an die durch sie erschlossenen Parzellen gebunden und

der Unterhalt entsprechend den Miteigentumsanteilen festgelegt. Möglich ist auch die Regelung mit Dienstbarkeiten zugunsten und zulasten aller zu erschliessenden Parzellen unter gleichzeitiger Festlegung des Unterhalts und der Kostentragung.

Bewirtschaftungswege können je nach Länge, der umgebenden Topografie und des Bau- grunds unterschiedlich ausgebaut werden. Wenn die Fahrbahn befestigt werden muss, ist das mittels befestigten Fahrspuren (Beton oder Rasengittersteinen) vorzunehmen. In denje- nigen Fällen, in denen das Längsgefälle < 8 Prozent beträgt, ist zu prüfen ob die Bewirt- schaftungswege mit einer Kiesdeckschicht oder als Schotterrasen (begrünte dünne Humus- schicht auf leichter Kofferung) erstellt werden können. Die Befestigung von Bewirtschaf- tungswegen bei einem Längsgefälle < 8 Prozent ist nicht ausgeschlossen (z. B. schwieriger Untergrund, Niederschlag, Besonnung, Anteil Schmelzwasser/Oberflächenwasser der ober- halb angrenzenden Fläche etc.). Das Quergefälle ist immer nach aussen gerichtet und be- trägt mind. 4 Prozent.

Die Tragfähigkeit der Bewirtschaftungswege richtet sich nach der erschlossenen Fläche und den damit zu erwartenden Transportmengen. Sie soll auf einen Dimensionierungsverkehr von $W = 5000\text{--}20\,000$ NAL ausgelegt sein. Die zulässige Deflektion ist auf $220 [1/100 \text{ mm}]$ festzulegen. Je nach der Untergrundtragfähigkeit (zwischen $\text{CBR} = 0,5$ Prozent und $\text{CBR} = 10$ Prozent) ergibt sich nach 2.5.3.6 "Dimensionierung mit Formeln und Nomogramm" ein notwendiger Stärkenindex von $\text{SN} = 6,8$ bis $\text{SN} = 3,2$. Da der Baustellenverkehr gerade in solchen Strassen den Hauptanteil der Belastung ausmacht, ist der Ausbaugrad auf diesen Verkehr auszurichten.

2.5.2.6 Zufahrten und Rampen

Mit Zufahrten und Rampen werden die Einfahrten ab den Strassen in die Parzellen und die parzelleninternen, fahrbaren Überwindungen topografischer Hindernisse verstanden. Bei die- sen normalerweise nur von einem – höchstens zwei – Bewirtschaftern benutzten, kurzen Trassees handelt es sich meist um geometrische Geländemodellierungen, sodass innerhalb der Parzellen gefahrlos alles bewirtschaftet werden kann und die ausgebauten Transportach- sen ebenso erreicht werden können.

Je nach Ort der Zufahrt oder Rampe sind reine Erdarbeiten, zusätzlich leichte Kofferungen und gar Fahrspurbefestigungen mit Gittersteinen notwendig. Grundsätzlich sollen Zufahrten und Rampen aber begrünt und damit landschaftsverträglich und unterhaltsfrei sein. Befesti- gungen sind nicht ausgeschlossen und müssen fallweise beurteilt werden.

Zufahrten und Rampen weisen eine lichte Weite (Kronenbreite) von möglichst 3,50 m, mind. aber 3,0 m auf. Besondere Beachtung ist Abzweigungen ab Strassen in steilem Gelände zu schenken, weil man hier meist nicht ohne Kunstbauten auskommt.

2.5.3 Aufbau schwach beanspruchter Strassen

2.5.3.1 Starrer Oberbau

Unter starrem Oberbau wird die Bauweise in Beton – armiert oder unarmiert – verstanden, deren Verhalten gegenüber Beanspruchungen durch Verkehr grundsätzlich anders als beim konventionellen – flexiblen – Aufbau ist. Mit der starren Bauweise wird die Trag- und Deck- schicht kombiniert, womit sehr viel Material eingespart werden kann. Durch die starren Plat- ten werden die Belastungen darin sehr schnell verteilt und die Übertragung auf den Unterbau

und/oder Untergrund entsprechend dosiert weitergegeben. Vorteilhaft wirkt sich diese Bauweise u. a. bei der Querung von Feuchtgebieten aus, da die Lastverteilung optimiert wird, was sich positiv auf die Wasserdurchlässigkeit des Untergrunds auswirkt. Bei der starren Bauweise legen die materialtechnischen und konstruktiven Vorgaben die Dimensionierung der Schichtdicke d fest.

In Graubünden werden seit mehr als 40 Jahren wieder Strassen in Beton gebaut, nachdem diese Bauweise bereits in den 1940er Jahren auch im Kantonsstrassenbau angewandt wurde.

Die Bauweise in Beton hat nicht zuletzt wegen ihrer unterhaltsfreundlichen Seite eine grosse Beliebtheit errungen. Die Fahrbahnoberflächen sind aber weniger komfortabel (Wellenbildung mit Längen im dm-Bereich, Plattenübergänge) und werden deshalb oft auch abgelehnt.

2.5.3.2 Flexibler Oberbau

Die folgenden Ausführungen geben einen kurzen Abriss über die Dimensionierung von schwach beanspruchten Strassen. Damit soll eine Abschätzung für einen differenzierten, flexiblen Strassenaufbau je nach Strasseneinteilung möglich sein.

Für eine angepasste Dimensionierung des Oberbaus sind Felderhebungen wie die Bestimmung des CBR-Werts (z. B. mit Penetrometer VSS 70 316A), Deflektionsmessungen oder M_E -Wertmessungen sowie die Abschätzung des Regionalfaktors ($1 < R < 5$), in den meisten Fällen für die Schweiz: $1 < R < 2$, notwendig.

Verstärkungen von bestehenden Strassen sind aufgrund von Deflektionsmessungen zu planen. Das ALG führt solche Messungen durch.

2.5.3.3 Materialklassierung mit Tragfähigkeitswert a

Entsprechend der Ergebnisse aus den AASHTO-Tests werden den verschiedenen Baumaterialien im Strassenbau unterschiedliche Tragfähigkeiten zugewiesen.

Baumaterial	CBR [%]	Tragfähigkeitswert	1 cm entspricht einer Schicht ungebundenem Gemisch 0/22,4 von [cm]	Eine Schicht der Stärke $d = 10$ cm entspricht einem Stärkenindex SN
ungebundenen Gemisch 0/45 (uG 0/45)	20–30	0,07	0,6	0,7
ungebundenen Gemisch 0/22,4 (uG 0/22,4)	> 80	0,11	1,0	1,1
Kieskoffer gebrochen	105–110	0,14	1,3	1,4

Baumaterial	Druckfestigkeit	Tragfähigkeitswert a	1 cm entspricht einer Schicht ungebundenem Gemisch 0/22,4 von [cm]	Eine Schicht der Stärke $d = 10$ cm entspricht einem Stärkenindex SN
Kalk-Stabilisierung	bis 2 N/mm ²	0,13	1,2	1,4
Zement-Stabilisierung	> 3 N/mm ²	0,23	2,1	2,3
dito	> 5 N/mm ²	0,30	1,8	2,0
ACT L		0,30	2,7	3,0
ACT N		0,40	3,6	4,0
Asphaltbeton AB		0,40	3,6	4,0

Mit diesen Angaben lassen sich Strassenaufbauten für den gewählten Dimensionierungsverkehr in Bezug auf die Tragfähigkeit / Lebensdauer / Endbefahrbarkeit bestimmen. Die Dimensionierung auf Frosteinwirkung ist dabei nicht enthalten.

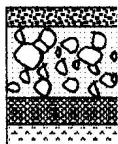
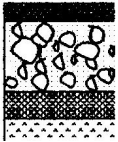
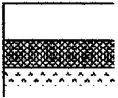
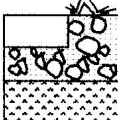
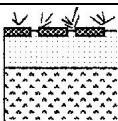
2.5.3.4 Lastäquivalente verschiedener Fahrzeuggattungen

Nach der Theorie beansprucht ein Fahrzeug eine Strasse in der Grössenordnung der 4. Potenz seiner Achslasten. Das bedeutet, dass leichte Fahrzeuge wie PW eine Strasse kaum, Transportfahrzeuge mit hohen Achslasten hingegen sehr stark beanspruchen.

Fahrzeuggattung	entspricht Anz. Durchgängen gegenüber 1 NAL leer	entspricht Anz. Durchgängen gegenüber 1 NAL beladen	Bemerkungen
PW leicht	20 000		Der leichte Verkehr beansprucht wegen der normalerweise hohen Geschwindigkeit vor allem Kiesstrassen stark.
PW schwer	2500		
Landrover	500		
Reisebus	4	2	
Transporter	10 000	100	Bei den Angaben für beladene Fahrzeuge wird von einer Nutzlast von 4,5 t ausgegangen.
Traktor leicht	16 600		
schwer	500		
sehr schwer	125		
Ladewagen mit Traktor	100	8	Die Nutzlast wird mit 1,3 t–4,6 t angenommen.
Unimog leicht	500	100	
mittel	170	17	
schwer	33	3	
2-Achs-LKW leicht	500	17	Bei den LKW wird eine Nutzlast von 3,5 t–10,0 t
mittel	100	3	
schwer	10	2	
3-Achs-LKW	10	0,4	14,5 t
4-Achs-LKW 28 t	10	0,35	14,5 t
4-Achs-LKW 40 t	10	0,35	28 t angenommen.

2.5.3.5 Varianten des Oberbaus

Es bestehen verschiedene Möglichkeiten, die erforderliche Tragfähigkeit einer Strasse zu erreichen. Mit dem Projekt ist die wirtschaftlichste Lösung unter Berücksichtigung der lokalen Verhältnisse, Transportdistanzen etc. zu wählen.

Oberbautyp	Schema Aufbau	Schichtstärken	a-Werte	Stärkenindex (SN)
Kieskoffer mit Kiesdeckschicht		- Verschleisschicht 7 → - uG 0/45 (0/22,4) 30–60 cm → - evtl. Stabilisierung 20 cm → - Untergrund	0,00 → 0,07 (0,11) → 0,2–0,3 →	0 2,1–4,2 <u>evtl. 5,0</u> = 2,1–4,2 (evtl. = 7,1–9,2)
Kieskoffer mit Schwarzbelag		- AC TD 16 L 7 cm → - uG 0/45 (0/22,4) 40–60 cm → - evtl. Stabilisierung 20–40 cm → - Untergrund	0,30 → 0,07 (0,11) → 0,2–0,3 →	2,1 2,8–4,2 <u>evtl. 5,0–10,0</u> = 4,9–6,3 (evtl. 9,9–16,3)
Betonstrasse		- Betonplatte ≥ 16 cm - evtl. Kieskoffer oder Stabilisierung - Untergrund		Tragfähigkeit ist ausreichend
Betonspurstrasse		- Betonspuren ≥ 16 cm - evtl. Kieskoffer oder Stabilisierung - Untergrund		Tragfähigkeit ist ausreichend
Kieskoffer mit Rasengittersteinbelag		- Rasengittersteine mit Nocken - Kieskoffer ≥ 20 cm - Untergrund		Tragfähigkeit ist für landw. Verkehr ausreichend

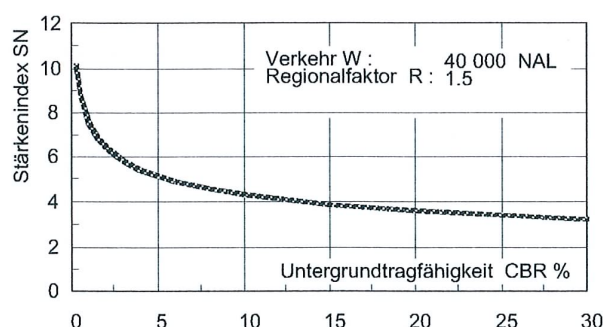
2.5.3.6 Dimensionierung mit Formeln und Nomogramm

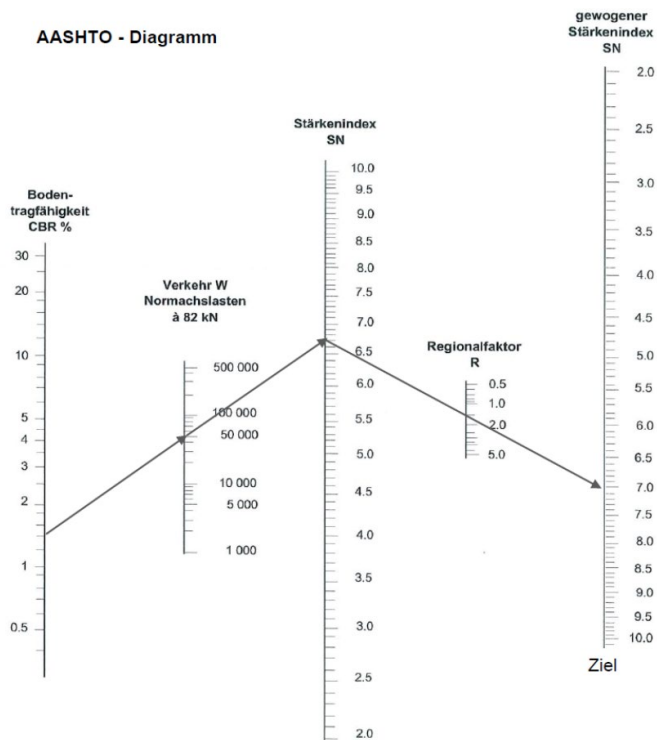
Stärkenindex

$$SN = \frac{2.67 \cdot (W \cdot R)^{0.1068}}{10^{0.1647 \cdot \log CBR - 0.0655}} - 2.54$$

$$SN = a_1 \cdot D_1 + a_2 \cdot D_2 + a_3 \cdot D_3 = \sum a_i \cdot D_i$$

$$d_{zu} = 1580 [2.67 (W \cdot R)^{0.1068} - 2.54]^{-1.195}$$





2.5.4 Geometrische Abmessungen schwach beanspruchter Strassen

2.5.4.1 Abmessungen verschiedener Fahrzeuggattungen

Zur Bestimmung der geometrischen Elemente einer Strasse sind die darauf zu erwartenden/ zugelassenen Fahrzeuge sowie deren Abmessungen und Eigenschaften zu kennen.

In [1], S. 124, stützt sich Kuonen zur Bestimmung der minimalen Abmessungen von Wendepunkten bei Wald- und Güterstrassen auf die damals massgebende Verordnung des Bundesamts für Verkehr "über Bau und Ausrüstung der Strassenfahrzeuge", wonach der engste äussere Spurkreisradius – gemessen in Laufbahnmitte des äusseren Vorderrads – folgende Werte erreichen musste:

- bei Motorwagen mit einem Randstand > 5 m sowie bei drei- und mehrachsigen Motorwagen $r_1 = 10 \text{ m}$
- bei übrigen Motorwagen $r_1 = 9 \text{ m}$
- bei Traktoren mit Gesamtgewicht < 35 kN $r_1 = 6 \text{ m}$

Aufgrund dieser Bestimmungen ergeben sich in [1], Seite 139, folgende Minimalradien:

Fahrzeugtyp	max. Spurkreisradius nach Verordnung BAV	Aussenradius inkl. Sicherheitsstreifen	Zuschlag für $\frac{1}{2}$ -Verbreiterung Überhang und Schleppe	Minimalradius in Fahrbahnmitte
	r_s [m]	$r_{Amin} = r_s * s + 0,5$ [m]	$(b + v)/2$ [m]	r [m]
Transporter		8,00	2,2	7
Lastwagen 2-Achsen (Radstand < 5 m)	9	10,4	2,5	8
Lastwagen 3-, 4-Achsen (Radstand > 5 m) sowie mit 2-Achs-Anhänger	10	11,5	2,4	9
Traktor < 35 kN	6	7,1	0,8	6

Wenn die Entwicklung der Fahrzeuge seither auch fortgeschritten ist und insbesondere auch Lastwagen und Busse mit 2,55 m Breite zugelassen werden, sollen die Achsradien beim Güterstrassenbau sich an diese Minimalradien halten. Für Zufahrten und Rampen kann anhand der lokal beurteilten Situation davon abgewichen werden, doch sind dabei mögliche Entwicklungen im Fahrzeugbau zu berücksichtigen.

2.5.4.2 Geometrische Abmessungen nach Strasseneinteilung

Entsprechend der Einteilung der Strassen und ihres Verkehrsaufkommens sind die geometrischen Elemente festzulegen. Berücksichtigt werden muss dabei stets, dass es sich um schwach beanspruchte, einspurige Strassen handelt, die nur einen relativ langsamen Verkehrsablauf gestatten. Verkehrsachsen der Klassen Hauptgüter- und Güterstrassen sollen die heute zugelassenen LKW mit einer Breite von 2,55 m wie auch die bei landwirtschaftlichen Transportern vorhandenen Breiten von bis zu 2,80 m (inkl. Doppelbereifung) aufnehmen können, wogegen die Bewirtschaftungswege, welche nur der landwirtschaftlichen Erschliessung dienen, auch nur auf diesen Verkehr dimensioniert werden sollen.

Geometrische Elemente	Hauptgüterstrasse	Güterstrasse	Bewirtschaftungswege
Fahrbahnbreite	3,00–3,60 m	2,70–3,00 m	2,40–3,00 m
Quergefälle (normalerweise talseits)	2–5 %	2–5 %	2–5 %
Längsneigung in der Geraden (Empfehlung)	max. 12 %	max. 14 %	max. 25 %
Längsneigung in der Wendeplatte	max. 6 %	max. 6 %	max. 10 %
Minimale Achsradien in Wendeplatten	12 m	9 m	8 m
Kurvenverbreiterungen	14/R*p	14/R*p	14/R*p

Für p siehe Tab. 2 und 4 der Normenblätter

2.5.4.3 Bankette

Zusätzlich zur Fahrbahnbreite sind auch die Bankette zu berücksichtigen. Diese dienen an sich nicht als Fahrspur, sondern haben andere bautechnische Funktionen zu erfüllen. Sie verhindern das seitliche Ausquetschen des Oberbaumaterials durch die Verkehrslasten und dienen so dem Erhalt der Stabilität der Fahrbahn. Sie gewähren den Fahrzeugen die notwendige seitliche Freiheit. Sie dienen auch der optischen Linienführung und je nach Situation der Entwässerung. Weiter ermöglichen sie Wandernden und Bikern das Kreuzen und Pas-

sierenlassen von Fahrzeugen. Bankette stellen im Endausbau keine Fahrspuren dar, sondern sind begrünt. Aufgrund der Funktion der Bankette und ihres Erscheinungsbilds wird ihre Breite nicht zur Fahrbahnbreite hinzugerechnet. Details zu den Bankettbreiten finden sich in den Normenblättern.

2.5.4.4 Spezielle Situationen

Beim Strassenbau im Berggebiet trifft man immer wieder auf Situationen, wo die Einhaltung vorgegebener Maximal- oder Minimalwerte fast unlösbare oder aber sehr teuer zu lösende Schwierigkeiten verursachen. So sind die maximalen Längsneigungen vor allem von Bewirtschaftungsstrassen, Rampen und Zufahrten in Steillagen verschiedentlich massiv überschritten worden, wo die Einhaltung der maximal vorgegebenen 25 Prozent zu einem Strassen-trasse geführt hätte, das von der ursprünglichen Wirtschaftsfläche, für welche die Erschliessung zu bauen war, nicht mehr viel zurückgelassen hätte. Auch ist es bei der Durchfahrt zwischen Gebäuden nicht immer möglich, die verlangten Bankette auszuführen. Wenn Umfahrungen aus anderen Gründen nicht möglich sind, werden solche Flaschenhälse zur dominierenden Grösse, es sei denn, Gebäudeteile könnten mit Zustimmung der Eigentümerinnen und Eigentümer – allerdings auf meist kostspielige Art – entfernt werden.

Spezielle Situationen erfordern auch spezielle Lösungen, welche nur in Abwägung aller relevanten Komponenten und in jedem Fall in Abstimmung mit den Direktbetroffenen gefunden werden können. Mit den entsprechenden Auflagen und weiteren Bestimmungen kann in solchen Fällen dann auch von den oben vorgegebenen Normalmassen abgewichen werden.

2.6 Bauausführung

2.6.1 Leistungsverzeichnisse

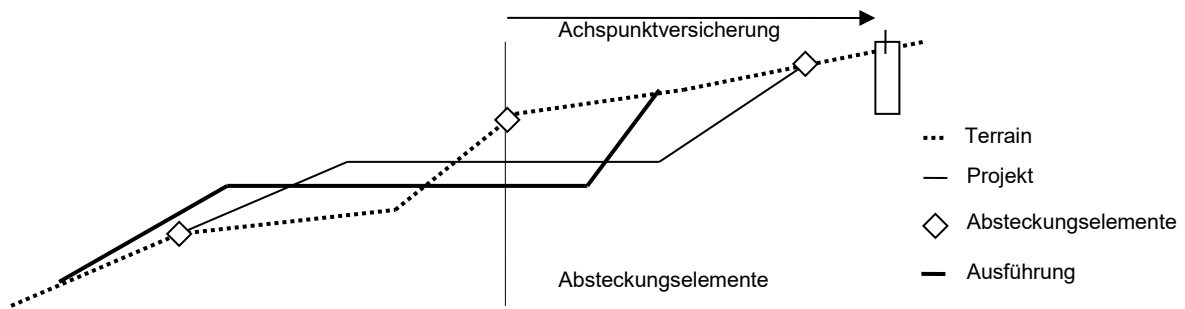
Aus der positiven Erfahrung der letzten Jahrzehnte in der Anwendung des Normpositionenkatalogs (NPK) sind Bauten aller Art, welche über das ALG betreut und mitfinanziert werden, in der Regel mit dem NPK und den dazu vorhandenen Sammlungen von R- und B-Positionen vom Tiefbauamt Graubünden (TBA) bzw. von selber definierten R-Positionen auszu-schreiben.

2.6.2 Allgemeine Grundsätze zur Ausführung

- Die Bauleitung sorgt für eine projektgerechte Umsetzung des Bauwerks.
- Wo immer möglich soll das Ausmass theoretisch anhand der Projektpläne bestimmt werden. Die Bauleitung kann sich dadurch auf die projektgemässe Ausführung durch den Unternehmer konzentrieren und muss nur die von ihr angeordneten Abweichungen vom Projekt mit örtlichem Ausmass erfassen.

2.6.2.1 Absteckungselemente

Vor der Bauausführung sind die Absteckungselemente der Bauleitung zu versichern und die theoretischen Schnittpunkte der Böschungen mit dem Gelände abzustecken. Änderungen bei Abtrag/Auftrag sind in den Querprofilen und für die Massenberechnung nachzutragen.

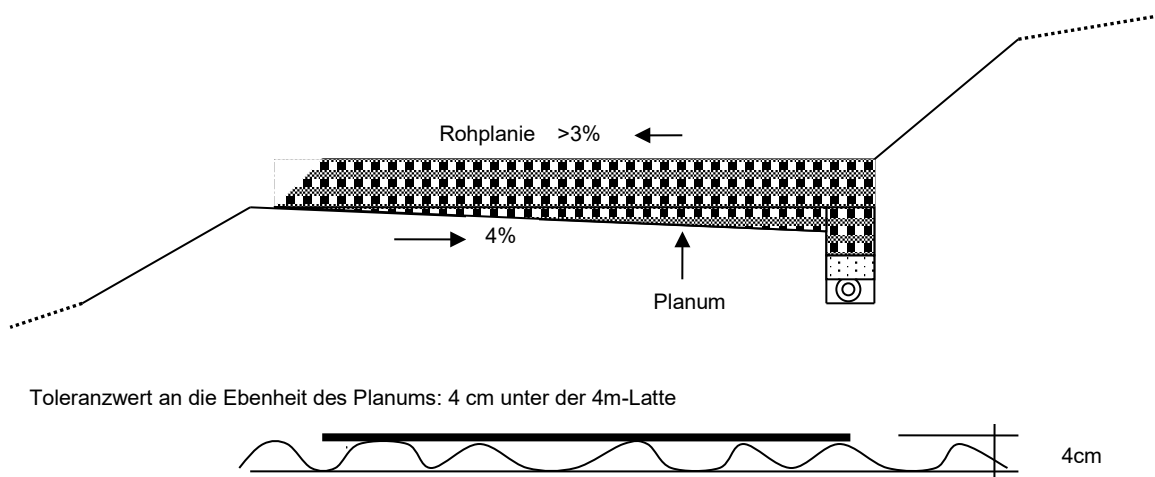


2.6.2.2 Leitungen

Leitungen sind vor der Grabeneinfüllung abzunehmen. Dabei ist zu prüfen, ob die vom Projekt (Material, Durchmesser, Tiefe, Grabenbreite, Bettung, Linienführung etc.) und Lieferanten gestellten Anforderungen erfüllt sind.

2.6.2.3 Planum (VSS 40 580)

An das Planum (vorbereiteter Untergrund, evtl. Unterbau, zur Aufnahme des Oberbaus) werden Ebenheitsanforderungen gestellt, die insbesondere ein Abfließen von Sickerwasser in die gewünschte Richtung (nach aussen in die bergseitige Sickerleitung oder in die ins Planum eingelassenen Quergräben) gewährleisten. Ebenso soll der darüber liegende Oberbau durch das regelmässige Planum theoretisch bestimmbar werden.



2.6.2.4 Weitere Hinweise

Die nachfolgende Aufzählung ist nicht abschliessend, soll die Bauleitung aber auf in der Praxis bewährte Details aufmerksam machen:

- Quergraben ca. 0,20 m tief in das Planum ziehen; je nach Längsneigung der Strasse alle 20 bis 50 m zur Ableitung von Wasser, das durch die Foundation sickert. Graben in Sickerleitung oder nach aussen führen. Neigung der Gräben ≥ 4 Prozent.
- Planum der Strasse immer bis nach aussen ziehen, keine Wannbildung.
- Bei Bewirtschaftungswegen (evtl. auch bei Zufahrten und Rampen) und hohen Transportkosten ist eine reduzierte Fundationsstärke, dafür je nach Untergrund eine Trennschicht mit Geotextil vorzusehen.
- Das Planum ist mit vorgegebener Neigung mit der Vibrationswalze glatt abzuwalzen.

- Vor der Kofferung ist das sauber/glatt abgewalzte Planum zu verifizieren. Es darf keine sichtbare Deformation durch Transportfahrzeuge aufweisen. Die minimale Tragfähigkeit des Planums muss einen M_E -Wert $\geq 100 \text{ kg/cm}^2$ aufweisen.
- Bei Belagswegen sind Stichproben des eingebrachten Koffers auf Frostbeständigkeit prüfen zu lassen.
- Die projektgerechte Kofferstärke ist in den Profilen abzustecken. Mittels Waagschein oder Wagenmass sind die gelieferten Materialmengen nachzuweisen.

2.6.3 Boden- und Baugrundverbesserungen

Zur Erreichung der minimalen Untergrundtragfähigkeit wird oft eine Behandlung des anstehenden Materials oder der Einbau von Zusätzen, die die Tragfähigkeit verbessern, notwendig.

2.6.3.1 Behandlung des Untergrunds

Die Behandlung des anstehenden Materials ist eine wirksame Methode für eine dauernde Qualitätsverbesserung des Strassentrasses. Dabei kann das Material direkt mit Zusätzen behandelt und damit tragfähiger gemacht werden (Stabilisierung mit Kalk oder hydraulischen/bituminösen Bindemitteln, Hydrophobierung). Mit der Stabilisierung des anstehenden Materials entsteht eine Schicht mit verbesserter lastverteiler Wirkung. Die Lasteinwirkung wird grossflächiger auf den Untergrund verteilt. Die Wahl der Stabilisierungsart hängt primär vom vorhandenen Boden und vom baulichen Problem (Anwendungsbereich) ab. Dabei ist die angestrebte Wirkung aufgrund örtlicher Voruntersuchungen zu definieren und zu prüfen. Die Stabilisierung bringt mehrere Vorteile im Vergleich zum Materialersatz mit sich. So kann das anstehende Material verwendet werden und muss nicht abtransportiert werden, was unnötige Transporte vermindert sowie Rohstoffe und Deponieräume schont. Die Stabilisierung verkürzt Bauzeiten (dies z. B. im Vergleich zum Einbau von Betonspuren oder einer Betonplatte) und reduziert demnach auch die Verkehrsbehinderungen. Zudem ist das Verfahren im Vergleich zum Materialersatz oftmals kostengünstiger. Die Methoden der Stabilisierungen sind aus den einschlägigen Normen des VSS (u. a. SN 640 490, VSS 40 491 ff.) zu entnehmen.

2.6.3.2 Einfluss der Zementstabilisierung auf Frostsicherheit und Tragfähigkeit

Durch die Stabilisierung des vorhandenen Bodens mit Zement wird das Korngerüst bleibend vermörtelt. Die Bodenstabilisierung mit hydraulischen Bindemitteln bewirkt eine Erhöhung der Widerstandsfähigkeit gegenüber Beanspruchung durch Verkehr, Klima und hydrologische Einflüsse [7], S. 3, Kap. 9. Es entsteht eine Bodenschicht mit geringerer Wasserempfindlichkeit, mit grösserer Frostbeständigkeit und grösserer Tragfähigkeit. Die Stabilisierung mit hydraulischem Bindemittel (Zement) bewirkt eine bleibende Verfestigung durch Erzeugung einer starren, frost- und wasserbeständigen Schicht mit erhöhter Tragfähigkeit [6], (siehe 2.5.3.3). In der Projektierungsphase sollte die Risikoanalyse betreffend Frosttiefe unbedingt berücksichtigt werden. Die Norm VSS 70 140b gibt dazu nähere Hinweise.

2.6.3.3 Anwendung der Zementstabilisierung

In den letzten rund zehn Jahren wurde die Zementstabilisierung vermehrt bei Erneuerungen von Güterstrassen angewendet. Dabei dient die Stabilisierung als Teil des Oberbaus. Erfahrungen haben gezeigt, dass vor allem bei instabilem Untergrund (z. B. hervorgerufen durch Vernässung oder Rutschungen) die Zementstabilisierung mit Vorsicht anzuwenden ist. Die

starre, frost- und wasserbeständige zementstabilisierte Schicht kann durch differenzielle Hebungen/Setzungen des Untergrunds Risse (auch zentimetergross) erfahren, die sich bis zur Deckschicht fortpflanzen können und Rissbildungen in der Abdeckung (i. d. R. Asphaltbetonbelag) verursachen. Demnach ist es ratsam, bei Unsicherheiten betreffend Verhalten des Untergrunds vor der Anwendung der Zementstabilisierung geologische Untersuchungen durchzuführen.

2.6.3.4 Hinweise zur Ausführung der Zementstabilisierung

Vorbereitungsarbeiten

- Seitliche Grasnarben entfernen inkl. Berücksichtigung allfälliger Verbreiterungen. Evtl. Aushub für Verbreiterungen oder für Sickergräben vornehmen.
- Allfälligen Altbelag vorgängig aufbrechen und abführen.
- Bei Korrekturen von Längs- und Querneigung ist es angezeigt, das Trasseee zwecks Niveaueausgleichs aufzureissen und dem Projekt entsprechend mit dem Grader oder Bulldozer zu bereinigen. Dies verhindert spätere Korrekturen nach dem Fräsvorgang. Somit wird eine konstante Stabilisierungsstärke gewährleistet.
- Nicht zu empfehlen: Verschieben des Materials nach dem Brechen. Wenn das Material nach dem Brechen verschoben wird, verändert sich die Schichtstärke des gebrochenen Materials, was zu Problemen mit übergrossen Steinen beim späteren Fräsgang führen kann.

Aufreissen und brechen

- Foundationsschicht auf Stabilisierungstiefe aufreissen und grosse Steine (> 200 mm) entfernen.
- Nachfolgend wenn nötig aufgelockerte Foundation mit mobilem Brecher auf 0/100 mm brechen, um eine optimierte Kornabstufung zu erhalten. Ausführung des Unternehmers nach Rücksprache mit der Bauleitung.
- Gebrochenes Foundationsmaterial auf neue Breite ausplanieren inkl. Berücksichtigung der projektierten Längs- und Querneigungen mit Grader oder Bulldozer sowie leichte Verdichtung mit entsprechender Walze.
- Die projektkonforme Vorplanie sichert schlussendlich eine konstante Schichtstärke der Stabilisierung.
- Allgemein sollte das Foundationsmaterial nicht kleiner als 0/100 mm gebrochen werden. Damit ist gewährleistet, dass im gebrochenen Kiessand genügend Stützkorn vorhanden ist. Zu feine Körnung erfordert i. d. R. höheren Zementbedarf.

Stabilisieren

Tarieren:

- Messen/Tarieren des vorhandenen Wassergehalts mit allfälliger Wasserzugabe bis zum optimalen Wassergehalt (siehe Proktorversuch gemäss Labor).
- Es gilt die Witterungsgegebenheit zu berücksichtigen wie: Temperatur, Wind, Föhnneinfluss, Niederschlagsmenge und im Weiteren die Arbeitsdauer der vorgesehenen Etappe.
- Eine letzte Kontrollmessung des Wassergehalts mind. 1 bis 1½ Stunden vor Streubeginn des Bindemittels ist von Vorteil, um allenfalls noch korrigierend reagieren zu können.

Bewässern:

- Bei der Vorbewässerung ist es wichtig, das Wasser mittels Aufreisser ins Fundationsmaterial zu mischen. Dies verhindert den ungewollten Wasserabfluss.

Vorlage des Bindemittels:

- Vorlage des Bindemittels mit Dosierstreuer gemäss Angaben des Labors.

Einfräsen (Mischen):

- Unmittelbar hinter dem Streuer folgt die Stabilisierungsfräse und mischt das Bindemittel mit dem Fundationsmaterial. Alle Quer- und Längsüberlappungen müssen mind. 25 cm betragen. Das Mischgut darf nur kurze Zeit offen liegen.
- Die Arbeitsetappen Streuen/Fräsen müssen deutlich sichtbar bleiben, um Überlappungen sauber ausführen zu können.
- Hinter der Stabilisierungsfräse soll zwecks Vorverdichtung und Schliessen der Struktur gleich die Vibrationswalze folgen.

Planieren und Verdichten:

- Die Stabilisierungsplanie muss einer Genauigkeit von +/- 20 mm entsprechen. Dabei ist zu beachten, dass ein genügendes Quergefälle von mind. 4 Prozent angelegt wird, um allfällige Wasseransammlungen auf der Stabilisierungsplanie zu verhindern.
- Die Planie wird mittels Grader oder Bulldozer erstellt. Die Verdichtung erfolgt mit schwerer Vibrationswalze oder schwerem Walzenzug, nicht unter 8 Tonnen.
- Vor allem bei einer Graderplanie ist darauf zu achten, dass kein negatives Dachgefälle entsteht. Deshalb ist die erste Vorverdichtung, unmittelbar nach dem Einfräsen, unerlässlich.
- Die freien, talseitigen Ränder der Stabilisierung müssen nach dem Verdichten der Fläche mittels Bagger angepresst werden.

Nachbehandlung:

- Eine Nachbehandlung mit Wasser ist zu überprüfen und mit der Bauleitung zu besprechen. Diese erfolgt durch gleichmässiges Aufsprühen mittels Druckfass oder Ähnlichem. Die Nachbehandlung erfolgt spätestens vor Arbeitsende.
- Die stabilisierte Fläche darf nach der Bewässerung im nassen Zustand nicht mehr mit Walzen befahren werden. Damit wird verhindert, dass stabilisiertes Material an den Walzenbandagen kleben bleibt und die Stabilisierungsoberfläche beschädigt wird.
- Bei starker Sonneneinstrahlung, starker Windeinwirkung oder bei relativer Luftfeuchtigkeit < 50 Prozent kann eine weitere Nass-Nachbehandlung erforderlich sein.
- Eine zweite Bewässerung am Vormittag des nächsten Tages ist sehr zu empfehlen.
- Während den darauffolgenden 2–3 Tagen darf die Stabilisierung nicht mit schweren Lasten befahren werden.

2.6.3.5 Weitere Hinweise zur Zementstabilisierung und Hydrophobierung

Wenn eine Stabilisierung oder Hydrophobierung gleichzeitig als Teil der Tragschicht dienen soll, ist deren Abdeckung sorgfältig zu planen. Erfahrungen haben gezeigt, dass

- ein Asphaltbetonbelag auf der Stabilisierungsschicht nicht kraftschlüssig verbindet und sich durch den Verkehr rasch abschält.

- bei Stabilisierungen als Zwischenschicht zum Asphaltbetonbelag eine Kofferschicht von rund 10–20 cm Stärke einzubauen ist.
- die hydrophobierte Schicht wasserundurchlässig ist und durch den Belag perkolierendes Wasser sich in der Planie ansammelt und – bei Frosteinwirkung – Frostlinsen bildet. Bei Hydrophobierungen ist deshalb auf das Einbringen von Planiematerial zu verzichten, die Oberfläche vor dem Belagseinbau mit einer eindeutigen Entwässerungsrichtung auszubilden und für eine funktionierende Vorflut zu sorgen.

2.6.3.6 Weitere Verstärkungsmöglichkeiten / Unterbauten

Neben der Verbesserung des Untergrunds oder dem meist sehr teuren Ersatz von Untergrundmaterial ist auch der Einbau von aussteifenden Materialien wie Armierungsnetzen, Holzschwarten- oder Trämellagen immer in Kombination mit geeigneten (trennenden) Geotextilien mit Erfolg angewendet worden. Die Holzschwarten oder Trämel müssen nicht miteinander verbunden werden, sollen aber die Breite des Planums abdecken. Je nach Situation sind auch Sandwichbauweisen mit verschiedenen Zwischenlagen von Geotextilien notwendig. Bei unvermeidbaren Durchquerungen von Feuchtgebieten darf der natürliche Wasserhaushalt nicht gestört werden. Deshalb ist auch die Verwendung von Schaumglasschotter zu prüfen.

2.6.4 Fundationsmaterial

Das Fundationsmaterial, welches im Güterstrassenbau eingebaut wird, muss frostsicher sein, d. h. es muss den Anforderungen gemäss **VSS 70 119** entsprechen: Gesteinskörnungen für ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische für Ingenieur- und Strassenbau, ungebundene Gemische, mit Berücksichtigung der Abweichungen von der Norm gemäss Vorgabe des TBA im Anhang 8, Vorschriften für die Ausführung von Erdarbeiten (Schüttarbeiten und Foundationsschichten), der Besonderen Bestimmungen Teil 2 (BB2). Das gelieferte Fundationsmaterial muss vom TBA genehmigt sein (genehmigte Produkte, ungebundene Gemische für Foundationsschicht).

Abweichungen von diesen Vorgaben (z. B. Fundationsmaterial unter den Betonspuren/Betonplatten oder im Mittelstreifen bei den Betonspuren) sind nach Absprache mit dem ALG möglich.

2.6.5 Recyclingbaustoffe

Im Sinne eines nachhaltigen Umgangs mit den natürlichen mineralischen Ressourcen soll der Einsatz von mineralischen Recycling-Gesteinskörnungen geprüft und wo möglich und sinnvoll eingesetzt werden. Dabei ist die Richtlinie für die Verwertung mineralischer Bauabfälle des Bundesamts für Umwelt, BAFU, 2006, die Weisung über die Bewirtschaftung von Bauabfällen des Amts für Natur und Umwelt, ANU, 2021, sowie die Liste der genehmigten ungebundenen Gemische aus recycelten Gesteinskörnungen des TBA zu berücksichtigen.

2.6.6 Betonfahrbahn (Betonspuren/Betonplatte)

Die Konzeption und Ausführung der Betonfahrbahnen richtet sich nach der SN 640 461, Betondecken für Verkehrsflächen, Konzeption, Ausführung und Anforderungen an die eingebauten Schichten [8]. Die folgenden Ausführungen zitieren bzw. fassen einen grossen Teil der SN 640 461 zusammen.

2.6.6.1 Dimensionierung

Im Güterstrassenbau beträgt die Plattendicke gemäss SN 640 461 15–18 cm. Im Kanton Graubünden wird grundsätzlich durchgehend 16 cm eingebaut. Die maximale Plattengrösse wird über die Plattendicke definiert, $L_{\max} = 25 \cdot \text{Plattendicke}$. Mit der Unterteilung der Platten mit Quertugen in möglichst quadratischen Platten soll die Rissgefahr minimiert werden. Bei 3,0 m breiten Strassen beträgt die Plattenlänge 4,0 m, höchstens 5,0 m. Die Unterteilung der Spurplatten in 5,0-m-Abschnitte widerspricht dieser Regel, hat sich in der Praxis jedoch nicht negativ ausgewirkt. Ist das Verhältnis der Plattenlänge zur Plattenbreite grösser als 1,5, ist die Platte zu bewehren.

2.6.6.2 Fugen, Dübel und Sporen

Um die Plattenbewegungen auszugleichen, sind Fugen in der Betonfahrbahn vorzusehen. Es werden folgende Fugentypen definiert:

– **Quertugen (Kontraktionsfugen):**

Kontraktionsfugen liegen rechtwinklig zur Strassenachse. Sie verhindern das Entstehen von unkontrollierten Rissen in der Betonplatte. Dübel verhindern vertikale Plattenverschiebungen. Kontraktionsfugen unterbrechen die Platte auf einem Drittel der Stärke (Eternitstreifen oder Frässchnitt). Der Zeitpunkt des Frässchnitts erfolgt je nach Witterungs- und Temperaturverhältnisse spätestens 8 bis 24 Stunden nach dem Betonieren.

– **Bewegungsfugen (Dilatationsfugen):**

Dilatationsfugen liegen rechtwinklig zur Strassenachse. Sie nehmen Bewegungen infolge Temperaturänderungen auf. Dübel verhindern vertikale Plattenverschiebungen. Dilatationsfugen werden bei Handeinbau nach jeder Tagesleistung erstellt, also rund alle 50 m bis 100 m Fahrbahnlänge. Ebenso sind sie bei Abzweigungen anzuordnen, um Verschiebungen der Fahrbahnplatten in diesem Bereich zu verhindern. Dilatationsfugen trennen die Platte durchgehend. Als Fugeneinlage wird ein Weichholzbrett astarm 18 mm verwendet.

– **Längsfugen:**

Längsfugen werden längs zur Strassenachse erstellt. Ihre Funktion entspricht den Quertugen. Anker verbinden die Betonplatten und verhindern vertikale Plattenverschiebungen. Ist das Verhältnis der Plattenbreite zur Plattenlänge grösser als 1,5, wird eine Längsfuge angeordnet.

Die vertikale Kraftübertragung in den Fugen erfolgt durch Dübel und Rissverzahnung. In den Längsfugen wirken Anker dem Abwandern der Platten entgegen und dienen auch der Kraftübertragung. Ein nachträglich betonierter Streifen wird durch Dübel oder Anker mit der bereits bestehenden Fahrbahn verbunden. Für Dübel ist Rundstahl S 235 gemäss SIA 263 "Stahlbau" in geraden Stäben zu verwenden. Die Oberfläche muss walzglatt sein, damit keine Haftung entsteht. Schneidbrauen an den Dübelenden sind zu entfernen. Die Haftung der Dübel am Beton ist mit einer 0,3 mm bis 0,5 mm dicken Kunststoffbeschichtung zu verhindern. Anker haben den Qualitätsanforderungen gemäss SIA 262 Betonbau Stahl B500B zu entsprechen. Dübel und Anker sind so zu befestigen, dass sie während des Betonierens nicht verschoben werden. Die Dübellänge beträgt 500 mm mit einem Durchmesser von 16 mm. Der Dübelabstand weist 500 mm auf. Bei Dilatationsfugen mit Fugeneinlage und beschichtetem Rundstahldübel darf die Dübelhülse nicht fehlen. Die Ankerlänge beträgt ebenfalls 500 mm, der Ankerdurchmesser 10 mm. Der Ankerabstand beträgt 500 mm. Pro Fuge

und Spur werden mind. zwei Dübel versetzt. Anker sind in der Mitte auf 20 cm Länge mit einem Korrosionsschutzanstrich zu versehen.

Die Betonplatten sind gegen Abwandern zu sichern. Bei Längsneigungen > 8 Prozent sind Sporen alle 70 m bis 120 m, jedenfalls immer vor engen Kurven vorzusehen.

2.6.6.3 Versetzen von Dübeln und Ankern

Dübel und Anker sind beim Versetzen so zu befestigen (z. B. Distanzhalter), dass sie während des Betonierens nicht verschoben werden (siehe [8], Seite 25).

2.6.6.4 Betonsorten

Die Wahl der Betonsorte richtet sich grundsätzlich nach der SN 640 461 [8]. Diese sieht im Güterstrassenbau für Betonbeläge Beton der Expositionsklasse XF3 vor. Wenn bei Winteröffnung mit Taumittleinsatz gerechnet wird sowie in der Nähe von Objekten mit vermutetem Taumittleinsatz wird Beton der Expositionsklasse XF4 verlangt. Da der XF3-Beton nicht überall angeboten wird, ist für den Güterstrassenbau, bei welchem kein Taumittel eingesetzt wird, XF2 zu verwenden. Der Beton ist folgendermassen auszuschreiben:

Fall 1 (ohne Einsatz von Taumittel):

Beton nach Norm SN EN 206-1

Typ NPK D (D230):

- Druckfestigkeitsklasse: C25/30
- Expositionsklasse XF2
- Nennwert Grösstkorn D_{\max} 32 mm
- max. W/Z eq 0.50
- Klasse des Chloridgehalts Cl 0,10
- Konsistenzklasse C2

Fall 2 (Einsatz von Taumittel):

Beton nach Norm SN EN 206-1

Typ NPK G (G330):

- Druckfestigkeitsklasse: C30/37
- Expositionsklasse XF4
- Nennwert Grösstkorn D_{\max} 32 mm
- max. W/Z eq 0.45
- Klasse des Chloridgehalts Cl 0,10
- Konsistenzklasse C2

Die Druckfestigkeitsklasse beträgt C 25/30 bzw. C 30/37 mit einem Mindestzementgehalt von 300 kg/m^3 bzw. 340 kg/m^3 , Konsistenzklasse C2. Grundsätzlich gilt als Nennwert das Grösstkorn D_{\max} 32 mm. Eine Reduktion auf D_{\max} 16 mm beim Belagsbau wird nach Absprache mit dem ALG zugelassen (→ D260 bzw. G360). Dabei ist eine Anpassung des Mindestzementgehalts (bei D_{\max} 16 mm) um mind. + 10 Prozent zu beachten (vgl. SN EN 206, SIA 262.051).

2.6.6.5 Bewehrung

Ist das Verhältnis der Plattenlänge zur Plattenbreite nicht grösser als 1,5, kann gemäss SN 640 461 grundsätzlich auf eine Bewehrung verzichtet werden. Im Kanton Graubünden werden Betonfahrbahnen (Betonspuren/Betonplatte) praktisch immer bewehrt. Als Bewehrung kommen in Frage:

– **Netzarmierung:**

Die Betonspurplatten oder die Betonplatten erhalten eine Netzarmierung (mind. K 335) in der Plattenmitte. Die Netzarmierung ist bei allen Fugen zu unterbrechen.

– **Kunststofffasern:**

Der Fasergehalt ist abhängig von der Qualität des Untergrunds. Er liegt bei stabiler, gleichmässiger Rohplanie bei 3,5 kg/m³ bzw. bei 4,0 kg/m³ auf weichem, unregelmässigem oder zu Vernässung neigendem Untergrund. Das Produkt muss mind. folgende Eigenschaften aufweisen:

- Zugfestigkeit: > 580 N/mm²
- E-Modul: > 10 GPa (10 000 N/mm²)
- Oberfläche: auf ganzer Länge geprägt bzw. strukturiert
- Länge: 50 mm +/- 5 Prozent

Für das Produkt ist Folgendes vorzuweisen:

- Kriechnachweis, welcher die Dauerhaftigkeit der gebrochenen Quadratplatte (nach EFNARC bzw. SIA 162/6) unter permanenter Last während > 1000 Tagen bestätigt (Höhe der dauerhaft, aufgebrachten Last > 50 Prozent der gemessenen Bruchlast).
- Prüfung nach EN 14889-2, System 1
- Statischer Nachweis nach Eurocode 2

Lose Kunststofffasern auf der Strasse sind zusammenzuwischen, feste Kunststofffasern auf der Fahrbahnoberfläche sind abzubrennen.

– **Stahlfasern:**

Aufgrund der Nachteile bei Stahlfasern (Verunreinigung von Futtermitteln durch sich lösende Stahlfasern, Verletzungsgefahr oder Beschädigungen an Reifen) wird die Verwendung von Stahlfasern im Güterstrassenbau nicht empfohlen.

2.6.6.6 Einbau des Betons

Der von Hand eingebaute Beton ist mit den Nadelvibratoren zu verdichten und mit einem Balkenvibrator abzuziehen. Anschliessend ist die Betonoberfläche von Hand abzuzuschlieren. Der Einsatz von maschinellen Taloschiergeräten und Rotationsglättern ist nicht zugelassen. Die abtaloschierte, ebene Fahrbahnoberfläche ist quergestreift mittels Besenstrich aufzurauen. Ab einer Längsneigung > 15 Prozent sind in die Oberfläche Querrillen mit mind. 1,0 cm Tiefe in einem Winkel von 30° zur Längsachse anzubringen.

Der Beton darf nicht mit den Nadelvibratoren verteilt werden (Entmischungsgefahr). Nach Möglichkeit sollte der Betonierungsfortschritt von unten nach oben erfolgen, andernfalls besteht die Gefahr, dass der Beton beim Vibrieren auseinandergezogen wird. Beim Einbringen und während der Verarbeitung darf ohne besondere Massnahmen der Frischbeton nicht kälter als +5 °C oder nicht wärmer als +30 °C sein. Bei Lufttemperaturen unter 0 °C darf nicht betoniert werden. Bei Regen ist der Betoneinbau zu vermeiden. Auf eine gefrorene oder

durchnässte Planie darf nicht eingebaut werden. Bei Temperaturen über 25 °C soll der Betoneinbau in der Regel erst ab Mitte Nachmittag erfolgen. Damit kann die Kumulation von Hydratationswärme und maximaler Tagestemperatur vermieden werden [8].

2.6.6.7 Nachbehandlung des Betons

Der Beton ist nachhaltig vor Wasserverlust zu schützen. Die Nachbehandlung hat zwingend mit Verdunstungsschutzmittel zu erfolgen. Die Kunststoffolie ist nicht geeignet. Das Abdecken mit Folien schützt gegen Niederschläge, ist aber kein Nachbehandlungsverfahren. Bei starker Sonneneinstrahlung, starker Windeinwirkung oder bei relativer Luftfeuchtigkeit < 50 Prozent ist eine zusätzliche Nassnachbehandlung zu prüfen. Diese erfolgt durch Aufsprühen von Wasser oder durch das Aufbringen einer Feuchtigkeit haltenden Abdeckung wie Jute, Geotextil oder Schutzmatte. Die Behandlung erfolgt nach Möglichkeit während mind. drei Tagen.

2.6.6.8 Sperrfristen

Betondecken dürfen frühestens nach Erreichen von 70 Prozent der geforderten 28-Tage-Biegezugfestigkeit dem Verkehr übergeben werden. Die Praxis zeigt, dass diese in der Regel nach rund 10 Tagen erreicht ist. Je nach Prüfergebnisse des Betons kann die Fahrbahn auch früher dem Verkehr übergeben werden (siehe Kapitel 2.6.6.9).

2.6.6.9 Betonprüfungen

Nach Absprache mit dem ALG werden Betonprüfungen durchgeführt. Für einen Prüfdurchlauf sind folgende Prüfungen durchzuführen:

Prüfungen	
Frischbetonkontrolle (FBK)	Luftporengehalt, Konsistenz, W/Z-Wert, Rohdichte, Frischbeton- und Lufttemperatur Bei der ersten Lieferung; zuerst Luftporengehalt und Konsistenz prüfen, falls i. O. → übrige Prüfungen
Festbetonprüfungen (Prismen)	6 Probekörper (Prismen) von derjenigen Charge herstellen, bei welcher eine FBK durchgeführt wurde (und i. O. war). Prüfung: 3 Prismen nach 7 Tagen/3 Prismen nach 28 Tagen → Biegezugfestigkeiten bestimmen Die jeweils beiden Prismenhälften werden für die Druckfestigkeitsprüfung verwendet. → 6 Druckfestigkeitswerte pro Prüfdatum
Festbetonprüfungen (Zylinder)	Entnahme von 4 Zylindern der Fahrbahn (von derjenigen Charge, bei welcher eine FBK durchgeführt wurde, und i. O. war). Prüfung Druckfestigkeit: 2 Zylinder nach 7 Tagen/2 Zylinder nach 28 Tagen

2.6.6.10 Betoneinfärbung (Farbbeton)

Allgemeines:

An exponierten Stellen, wo die Betonspuren oder die Betonfahrbahn aus der Ferne leicht einsehbar sind, kann eine Betoneinfärbung (Grauton) die Wahrnehmung der Strassenfahrbahn abschwächen.

Für die Herstellung von Farbbeton existieren in der Schweiz keine Normen. Der technische Leitfaden für Farbbeton der Firma Sika [10] gibt wichtige Hinweise für die Betoneinfärbung, welche sich auch mit den in den letzten Jahren gemachten Erfahrungen der Betoneinfärbung im Güterstrassenbau im Kanton Graubünden decken.

Farbbeton wird mit Pigmenten eingefärbt. Für die Einfärbung stehen je nach Anbieter Pigmente in verschiedenen Formen zur Verfügung. Gemäss Leitfaden für Farbbeton der Firma Sika [10] werden Pigmente in Form von Granulat, Pulver, Kompaktpigment oder Pigmentsuspension auf dem Markt angeboten. Diese Pigmentformen weisen verschieden Vor- und Nachteile auf. Die Pigmentsuspension ist frostempfindlich, deshalb ist sie im Betonstrassenbau nicht geeignet.

Pigmentdosierung und Farbmusterfläche:

Mit steigender Pigmentdosierung steigt auch die Farbintensität. Ab einer gewissen Dosierung bewirkt eine höhere Zugabemenge an Pigmenten hingegen keine Intensivierung des Farbtönen [10] mehr. Dies zeigen auch die im Kanton gemachten Erfahrungen. Der Sättigungspunkt liegt erfahrungsgemäss bei einer Pigmentdosierung von 5–6 Prozent des Zementgehalts. In der Regel werden vor dem Einbringen des Farbbetons Musterflächen mit verschiedenen Pigmentdosierungen (3–6 Prozent) erstellt. Dies wird auch empfohlen, um die Wirkung des vom Unternehmer offerierten Produkts im Voraus zu erproben.

Rechenbeispiel für Mehrkosten:

Die Betoneinfärbung verursacht Mehrkosten. Bei einem Beton Typ NPK G, C30/37, XF4, beträgt der Zementgehalt mind. 340 kg/m³.

→ 340 kg/m³ * 6 % * 8 Fr./kg ≈ 163 Fr./m³

→ für Betonfahrbahn (Betondicke 16 cm) ≈ 26 Fr./m²

2.6.6.11 Ausschreibung von Farbbeton

Musterfläche:

Farbbetonmusterflächen im Werk erstellen (inkl. Entsorgung der Musterflächen),

1,00 m * 1,00 m * 0,16 m, Beton Typ NPK D bzw. G, Mindestzementgehalt 300 kg/m³ bzw. 340 kg/m³.

Dosierung pro kg Zement 4 Prozent 1 Stück

Dosierung pro kg Zement 5 Prozent 1 Stück

Dosierung pro kg Zement 6 Prozent 1 Stück

Zusatzstoff:

Farbstoffe liefern und begeben

Zuschlag für Farbbeton

Beimischung des Farbstoffs direkt im Betonwerk

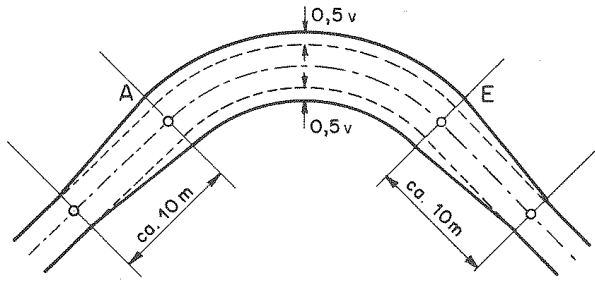
Farbe, Typ: ...

Dosierung pro kg Zement: 4 bis 6 Prozent

LE = kg

2.6.6.12 Weitere Hinweise für den Bau von Strassen mit Betonfahrbahn (Betonspur/Betonplatte)

- In Kurven mit einem Radius $R \leq 25$ m, bei Ausstellplätzen und bei Einlenkern wird die Fahrbahn vollflächig betoniert. Es gibt keine vollflächigen Übergangsstrecken.
- Kurven mit einem Radius $R \leq 50$ m erhalten eine Kurvenverbreiterung. Die Kurvenverbreiterung berechnet sich nach der Formel $v = 14 / R * p$. Der Faktor p berücksichtigt die Bogenlänge der Kurve resp. die Richtungsänderung.
- Bei Betonfahrbahnen (wie auch bei Naturstrassen) wird die Verbreiterung grundsätzlich je zur Hälfte innen und aussen gegen das Bankett hin angebracht.



[1], S. 161

- Bei Betonspuren wird die Verbreiterung je zur Hälfte an beiden Spuren gegen das Bankett hin angebracht. Profil: $(v/2+s_1) - 0,80 - (s_1+v/2)$, Mittelstreifen bei jedem Profil 0,80 m.
- Die Breite des Mittelstreifens beträgt in jedem Fall bei $R \leq 50$ m 0,80 m, darüber ($R > 50$ m) gemäss dem Normalprofil, aber immer 1,00 m in Kombination mit Wanderwegen.
- Die Verziegungsstrecke für die Verbreiterung der Spuren und des Mittelstreifens beträgt maximal 10 m.
- Sind die Spuren auf gemischten Auf- bzw. Abtragsprofilen, so ist die Rohplanie auf die ganze Breite ca. 0,20 m maschinell aufzureissen und neu zu verdichten. Die Planie muss einen M_E -Wert von $\geq 100\text{--}150$ kg/cm² (10–15 MN/m²) aufweisen. Wird dieser Wert nicht erreicht, so ist der Oberbau mittels Kieskoffer oder Stabilisierung zu verstärken.
- Es dürfen keine grossen Steine, Blöcke usw. in der Planie vorstehen, da so Punktauflagen und in der Folge Risse im Beton entstehen können.
- Die Plattenstärke beträgt grundsätzlich durchgehend 0,16 m. In der Nähe von winteroffenen Strassen ist frosttaumittelbeständiger Beton zu verwenden.
- Ab Längsneigung > 15 Prozent sind in die Oberfläche Querrillen mit mind. 1,0 cm Tiefe in einem Winkel von 30° zur Längsachse anzubringen.
- Der Mittelstreifen und die Bankette sind mit standfestem Material aufzufüllen und zu verdichten (evtl. mit einer dünnen Humusschicht abzudecken) und zu begrünen und bei Fahrbahnneigungen > 8 Prozent durch Holzbretter, die 30° zur Längsachse versetzt werden, gegen das Ausschwemmen zu sichern.
- Wird eine Spurstrasse an eine Strasse mit frostsicherem Unterbau angeschlossen, so ist der Spurweg im Anfangsbereich von 5 m zur Vermeidung von Frosthebungen auch frostsicher zu koffern.
- Nach Möglichkeit sollte der Betonierungsfortschritt von unten nach oben erfolgen, andernfalls besteht die Gefahr, dass der Beton beim Vibrieren auseinandergezogen wird.
- Bei starkem, trockenem Wind (z. B. Föhn) oder hohen Lufttemperaturen ist auf das Betonieren zu verzichten, um der Gefahr der Schwindrissbildung zu entgehen.
- Bei Querabschlägen wird die Fahrbahn beidseitig vollflächig betoniert. Beim Übergang zu den Spuren ist eine Kontraktionsfuge einzubauen. Der Abschluss gegen den Mittelstreifen hat parallel zum Querabschlag zu erfolgen. Der Querabschlag muss vollumfänglich von Beton unterfüllt und bewehrt sein.

2.6.7 Asphaltbetonbelag (Schwarzbelag)

Die Ausführung von Schwarzbelagsarbeiten richtet sich grundsätzlich nach den Vorgaben des TBA.

Im Güterstrassenbau wird in der Regel ein einschichtiger Asphaltbetonbelag eingebaut. Als Tragdeckschicht auf Planie wird ein AC TD 16 L, 7 cm, verwendet. Andere Asphaltbetonbeläge können nach Absprache mit dem ALG verwendet werden (z. B. AC F 22).

Qualitätskontrollen beim Belagseinbau im Güterstrassenbau werden bei grösseren Einbaumengen durchgeführt. Vor Ausschreibung von Belagsarbeiten sind die auszuführenden Qualitätskontrollen mit dem ALG abzusprechen.

2.6.8 Oberflächenbefestigung mit Rasengittersteinen

Die Oberflächenbefestigung mit Rasengittersteinen wird im landwirtschaftlichen Strassenbau normalerweise auf kurzen, nur von landwirtschaftlichen Maschinen benutzten Zufahrten und Rampen angewendet. Damit die Steine (meist 0,60 m x 0,40 m) ihre Lage behalten, sind sie einerseits auf eine Kofferschicht von ca. 0,20 m Stärke zu verlegen und andererseits mittels Querriegel, die in den Untergrund eingebunden sind und bis an die Fahrbahnoberfläche reichen, gegen Verschiebungen in der Fahrachse zu sichern. Die Querriegel sind rund 0,50 m tief und je nach Steilheit der Zufahrt alle 10 bis 30 m anzuordnen. Je nach Situation können in die Querriegel auch Querabschläge eingebaut werden.

Die Tragfähigkeit der Fahrspuren ist ausreichend, bei der Abzweigung von Güterstrassen ist auf einer Länge von 5 m vollflächig zu befestigen. Die Fahrspuren sind höchstens auf eine Breite von 0,80 m zu befestigen, Kurvenverbreiterungen sind keine vorzusehen. Mit einem Mittelstreifen von ebenfalls 0,80 m Breite ist Gewähr gegeben, dass die Antriebsräder auf der Befestigung fahren können.

Die Erfahrung zeigt, dass die Lösung mit Rasengittersteinen teurer ist als eine mit Betonspuren. Aus dieser Sicht ist die Lösung mit Betonspuren zu bevorzugen. Vielleicht sind aber andere Argumente vorhanden, um die Lösung mit Rasengittersteinen zu favorisieren.

2.6.9 Rasengittersteine im Mittelstreifen (anstatt vollflächiger Betonbelag)

Beim Einbau von Betonspuren wird die Fahrbahn in Kurven mit einem Radius $R \leq 25$ m vollflächig betoniert (siehe auch Normenblätter). Bei Güterstrassen mit wenig Verkehrsaufkommen, die in landschaftlich heiklen Gebieten erstellt werden, ist zu prüfen, ob der Mittelstreifen bei einem Radius $R \leq 25$ m mit Rasengittersteinen ausgebildet werden kann (anstatt vollflächiger Betonbelag).

2.6.10 Bach- und Grabenquerungen: Brücke, Furt, Durchlass

2.6.10.1 Grundsätze

Der Planer von Güterstrassennetzen in Graubünden wird zwangsläufig immer wieder mit Bach- oder Grabenquerungen konfrontiert. Es bestehen verschiedene Möglichkeiten, Kleingewässer zu queren. Für die Wahl der geeigneten technischen Lösung kann kein allgemeingültiges Rezept abgegeben werden. Im Folgenden soll jedoch auf einige Faktoren hingewiesen werden, die die Wahl der technischen Lösung massgeblich beeinflussen müssen. Aus naheliegenden Gründen sind die beschriebenen Bauwerke nicht in den verbindlichen Normenteil integriert worden.

Neben den zum Zeitpunkt der Projektierung bekannten Rahmenbedingungen wie beispielsweise Strassentyp, Winterräumung oder Hauptnutzer sollte das Augenmerk auf die Charakteristik des zu querenden Gewässers gelegt werden.

Grosse Wasserschwankungen sind bei alpinen Gewässern typisch, ihre Bandbreite schwierig abzuschätzen. Erschwerend ist auch der Umstand, dass bei kleinen Bächen und Rinnsalen nicht auf Dokumentationen oder Messreihen zurückgegriffen werden kann. Trotzdem sollten die folgenden Abklärungen zur Wahl des geeigneten Bauwerks beitragen:

- Wie gestaltet sich das Einzugsgebiet des Bachs (Fläche, Topografie, Bodenbedeckung, Geologie usw.)?
- Verhalten des Gewässers bei Unwettern (Erfahrungsberichte der Bewirtschafterinnen und Bewirtschafter, Bevölkerung)?
- Wie ist die durchschnittliche Wasserführung (vorherrschend konstant oder unruhige Ganglinie)?

Besonders bei Gewässern, die bekanntermassen mit hohen Schwankungen auf Niederschlag und/oder Schneeschmelze reagieren, kann es sinnvoll sein, bezüglich der möglichen Wasserabflussmengen genauere Abklärungen zu treffen. Dazu sei an dieser Stelle auf die Veröffentlichung "Wildbach- und Hangverbau" (Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Autor: Albert Böll, Schriftnr. 343, 1997, ISSN 1016-3166) verwiesen.

Im Folgenden werden verschiedene Faktoren und Erfahrungen aufgeführt, die die Wahl des Bauwerks beeinflussen (Auszug aus [1], S. 90, ergänzt mit Erfahrungen des ALG):

2.6.10.2 Brücke

Faktoren, die für eine Brückenkonstruktion sprechen:

- dauernder Wasserfluss mit Geschiebe;
- keine Gefährdung durch Lawinen;
- keine Störung der natürlichen Stabilität des Grabens;
- auf dem geplanten Weg ist mit viel Verkehr zu rechnen (guter Fahrkomfort);
- Schneeräumung ist vorgesehen;
- es besteht eine grosse Höhendifferenz zwischen Fahrbahn und Bachsohle.

Bautechnische Hinweise:

Die Fahrbahn kann in Form einer Betonplatte oder aus Holzbohlen (Bergeller) erstellt werden. Holzbohlen bedeuten einen gewissen Mehraufwand beim Unterhalt gegenüber einer Betonplatte. Bei starkem Verkehr ist das Aufbringen einer Verschleisslage aus Brettern unterhaltsfreundlicher.

Eine Holzfahrbahn bietet den Vorteil, dass bei hochwassergefährdeten Gerinnen in Notsituationen die Fahrbahn relativ leicht entfernt werden kann und damit Verkläunungen vermieden werden können. Die Konstruktion ist allerdings darauf auszurichten!

Das Durchflussprofil sollte stets so grosszügig wie möglich gewählt werden. Bei anerkannten Wildbächen ist die Stellungnahme der Abteilung Wasserbau des TBA einzuholen.

Sofern der Aufbau der Widerlager mit Blocksteinen erfolgt, sollte der Steinaufbau mit Fugenbeton gesichert werden.

2.6.10.3 Furt

Faktoren, die für eine Furt sprechen:

- Es fliesst wenig Wasser, allenfalls nur periodisch, kaum Geschiebe.

- Es besteht eine Lawinengefährdung.
- Der Weg wird wenig befahren.
- Kein extrem grosses Längsgefälle.

Bautechnische Hinweise:

Der Bau einer Furt führt zu einer künstlichen Verflachung des Gewässers. Bei grösserem Geschiebeanfall entstehen Stauungen und Ablagerungen auf dem Bauwerk. Das nachfolgende Wasser hat danach die Tendenz seitlich auszubrechen, dem Strassenverlauf zu folgen und Schäden am Strassenkörper (Erosion, Vernässung) zu verursachen.

Der seitliche Ausbruch des Wassers kann durch den möglichst steilen Anstieg beidseits des Grabens vermieden werden. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass bei Strassen mit einer hohen Längsneigung das einzubauende Gegengefälle zu einem Höhenverlust führt. Sofern ein Weg neu angelegt wird, ist dieser Umstand bereits bei der generellen Planung zu berücksichtigen. Bei Erneuerungen und nachträglichem Einbau einer Furt ist das Erstellen eines wirkungsvollen Gegengefalles oftmals nur auf Kosten der Befahrbarkeit möglich.

Zur Abführung des Niederwassers können Querabschläge in Form von zusammengeschnittenen Eisenbahnschienen quer zur Fahrbahn eingesetzt werden.

2.6.10.4 Durchlass

Die Unwettervorfälle der letzten Jahre haben gezeigt, dass Durchlässe zur Querung eines Geschiebes führenden Gewässers ungeeignet sind. Die eingesetzten Rohre sind im entscheidenden Moment zu klein dimensioniert und verklausen rasch, womit massive Folgeschäden entstehen können. Eine Brückenkonstruktion ist gegenüber dem Rohrdurchlass grundsätzlich vorzuziehen.

Als weitere Alternative bietet sich bei Geschiebe führenden Gewässern eine Kombination aus einer Furt und einem Bergellerübergang an. Die Fahrbahn ist dabei normalerweise trocken, das Wasser wird durch einen mit Holzbohlen abgedeckten Betonkanal geleitet.

Solche Bauwerke bringen folgende Vorteile mit sich:

- Der Betonkanal kann durch Entfernen der Holzbohlen leicht gereinigt werden.
- Sollte im Falle eines Murgangs der Durchlass verklausen, übernimmt die Furt die Ableitungsfunktion.
- Die Konstruktion ist normalerweise sehr massiv, wird nicht hinterspült und damit auch nicht verschoben, wie das bei einem Durchlass mit Rohren passieren könnte.

Bautechnische Hinweise:

Sollte die Beurteilung der Gewässercharakteristik den Einbau eines Durchlasses erlauben, ist darauf zu achten, dass das Rohr am Einlauf mit einer geeigneten Festkörperbarriere versehen wird. Dies dient einerseits der Erleichterung des Unterhalts und andererseits der Vorbeugung von Verklausungen. Als Beispiele können bei kleinen Rohrdurchmessern ein Eisengitter, bei grossen Durchmessern ein Holzrost aufgeführt werden.

2.6.11 Entwässerungen und Wasserableitungen

2.6.11.1 Grundsätze

Von den verschiedenen atmosphärischen Einflüssen, die auf eine Strasse einwirken, stellt Wasser eine der Hauptursachen für Schäden am Strassenkörper und dessen Umgebung

dar. Insbesondere der Strassenunterbau reagiert stark auf Einwirkungen durch Wasser oder Frost. Einerseits beeinflusst Wassereintrag die Tragfähigkeit des Unter- und Oberbaus, andererseits wird Material erodiert.

Die Strassenentwässerung dient damit der Erhaltung des Strassenkörpers. Sie erfolgt durch möglichst zuverlässiges Ableiten des Wassers aus dem Bereich der Strasse.

In [1], S. 210, werden die Aufgaben der Entwässerung und der Wasserableitung folgendermassen zusammengefasst:

- Ableiten des auf die Strasse fallenden Meteorwassers;
- Ableiten des Schmelzwassers aus der Schneebedeckung der Strasse;
- Fernhalten des seitlich anfallenden Oberflächenwassers;
- Fernhalten des seitlich anfallenden Sickerwassers und/oder des aufsteigenden Kapillarwassers vom Strassenoberbau;
- Ableitung von Wasser, dessen natürlicher Abfluss durch die veränderte Topografie infolge Strassenbaus nicht mehr gewährleistet ist.

Beim Güterstrassenbau beschäftigt man sich im Wesentlichen mit der Fahrbahntwässerung und der Ableitung von unterirdisch gegen den Strassenkörper sickerndem Wasser (Längsdrainage). Die Fahrbahntwässerung erfolgt normalerweise in Form von Querentwässerungen, einer leichten Neigung der Fahrbahn und allenfalls Längsentwässerungen. Für die bautechnischen Vorgaben wird auf die Normenblätter verwiesen.

Die Drainage hat zum Zweck, das Bodenwasser vom Strassenkörper (Unter- und Oberbau) fernzuhalten oder sie dient zur Entwässerung des Bodens, zum Beispiel zur Stabilisierung von Böschungen (weitere Informationen dazu sind in [1], S. 221, zu finden).

Im Folgenden wird auf das Ableiten des bergseitigen Sickerwassers näher eingegangen.

2.6.11.2 Rohrdimensionierung und Rohrmaterialien

Zur Ableitung des anfallenden Wassers im Sickergraben sollten Kunststoffsickerrohre mit einem Durchmesser von mind. 150 mm verwendet werden. Der notwendige Rohrdurchmesser hängt vom Wasseranfall ab, der in geeigneter Weise für den ganzen Strassenabschnitt ermittelt wird (z. B. SN 640 340 ff.). Je nach Länge der Sickerleitungen sollte, wo möglich, das System mit Wasserableitungen in einen bestehenden Bachlauf entlastet werden. Falls diese Möglichkeit nicht besteht, sind die Rohrdurchmesser entsprechend der anfallenden Wassermenge zu dimensionieren.

Die Wahl des Rohrmaterials hängt von verschiedenen Faktoren ab. Im Zuge der Planung sollte sich der Projektierende über folgende Fragen Gedanken machen:

- Bestehen beim zu drainierenden Abschnitt Tendenzen zu Hangbewegungen? Ist der Einsatz eines flexiblen Rohrmaterials notwendig?
- Welche Ansprüche an die Dichtigkeit des Rohrsystems werden gestellt (z. B. Gewässerschutzzone)? Müssen die Rohre verschweisssbar sein?
- Benötigt das vorgesehene Rohrsystem viele Formteile (Kosten)?

Im Handel sind heute neben Spezialprodukten Polyethylen, Polypropylen und Polyvinylchlorid als gängige Rohrmaterialien erhältlich.

Um sich eine Übersicht über die einzelnen Material- und Produkteigenschaften zu verschaffen, ist es sinnvoll, eine ausführliche Beratung eines Rohrerstellers oder -händlers in Anspruch zu nehmen.

Bei der Devisierung ist es unerlässlich, das gewünschte Rohrmaterial mit klaren Kennziffern möglichst genau zu umschreiben.

Hier eine kurze Zusammenfassung der Materialien und ihren Eigenschaften:

Polyethylen (PE):

Rohre aus PE sind aufgrund ihrer geringen Dichte sehr leicht und flexibel. Das Material ist gegen Witterungseinflüsse unempfindlich. PE ist auch bei tiefen Temperaturen äusserst schlagzäh. Es weist beinahe keine Oberflächenporosität auf und ist somit äusserst abriebbeständig. Das Material ist als einziges der hier vorgestellten Materialien verschweisbar. Sollten viele Formteile benötigt werden, sind auch diese frühzeitig in die Kostenberechnungen miteinzubeziehen. Formteile aus PE sind wesentlich teurer als PP- oder PVC-Formteile. Rohre aus PE sind temperaturempfindlich: Bei Erwärmung durch Sonneneinstrahlung kann es zu Dehnung und Verformungen kommen.

Polypropylen (PP):

Rohre aus PP haben im Wesentlichen dieselben Eigenschaften wie PE-Rohre, allerdings sind sie steifer und reagieren kaum auf Wärmeeinflüsse. Theoretisch könnte PP als thermoplastischer Kunststoff wie PE verschweisst werden. In der Praxis erweist sich dies allerdings als nicht durchführbar (der zum Schweißen benötigte Temperaturbereich ist zu klein). Die Preise für Formteile entsprechen etwa den Preisen für PVC-Formteile.

Polyvinylchlorid (PVC):

PVC-Rohre haben sich über Jahrzehnte bewährt und sind deswegen auch häufig direkt ab Lager günstig verfügbar. PVC-Rohre sind steif und dehnen sich bei Wärmeeinfluss nicht aus. Bei sehr kalten Temperaturen wird das Material schlagempfindlich. Ist das PVC-Rohr längere Zeit Witterungseinflüssen ausgesetzt, wird es spröde. Ein Verschweißen ist nicht möglich. Der Einsatz von PVC-Rohren wird nicht subventioniert.

2.6.11.3 Ausgestaltung des Sickergrabens

Zum Kiesmaterial in Sickergräben äussert sich Kuonen in [1], S. 223, folgendermassen: "Als Sickermaterial wird ein gut abgestufter Kies-Sand – entsprechend einem sauberen Tragschichtmaterial – verwendet. Damit werden die Filterkriterien in der Regel hinreichend erfüllt. Der oft verwendete, sehr teure Sickerkies aus gleichförmigem Kies mit 30–50 mm Durchmesser ist als Filter (in feinkörnigen, vernässten Böden) eher ungeeignet."

Das Auffüllmaterial soll nur bis zur Höhe Planum eingebracht werden.

Um die Filterfunktion optimal zu erfüllen, wird bei ungeeignetem Erdmaterial (Lehm, Silt) das Sickermaterial in ein Filtergewebe eingepackt. Dabei muss das Filtergewebe am zu entwässernden Boden satt anliegen, die Porosität des Materials ist dem Bodenmaterial anzupassen. Im unwegsamen Gelände kann an Stelle von Sickerkies auch Schaumglasschotter verwendet werden.

2.6.11.4 Schächte

Zur Überwachung, zum Durchspülen und zur mechanischen Reinigung der Rohrleitungen sind Schächte anzuordnen. Ihr gegenseitiger Abstand soll so gewählt werden, dass eine

problemlose Leitungsspülung mit dem Spülwagen möglich ist. Der Schachtabstand von 40 bis 50 m sollte nicht überschritten werden.

Für Schächte können die Projektierungsgrundlagen des Tiefbauamts verwendet werden. Diese sind wie folgt zu finden:

www.tiefbauamt.gr.ch > [Dokumentation](#) > [Projektierung und Ausführung](#) > [Projektierung](#)

2.6.11.5 Konstruktive Hinweise

- Sickerleitung so tief legen, dass mind. 60 cm standfeste Überdeckung über dem Rohrscheitel möglich ist (minimale Scheitelüberdeckung aus Angaben Lieferant!).
- Nur ausnahmsweise durchgehendes Einbetonieren der Sicker- oder Transportleitungen. Querriegel in Beton oder lokal gewonnenem Lehm alle 10 bis 20 m zur Abdrängung des Sickerwassers in die Leitung einbauen.
- Sickermaterial abgestuft und der Umgebung angepasst verwenden. Sickergeröll 30/60 mm ist meistens nicht geeignet (zu grob: provoziert zu grosse Sickerströmung und damit Einschlammgefahr). Einpacken in Geotextilien meist teuer.
- Längsleitung/Transportleitung grundsätzlich als Sickerleitung ausführen.
- Sickermaterial nicht an Oberfläche ziehen, sondern mit Fundationsmaterial abdecken.
- Oberflächenwasser mittels oberflächlicher Rinnen in ES leiten.
- Abstand zwischen den Einlaufschächten (ES) nach Spülkriterien (enge Kurven, Spüldistanz <100 m) anordnen.

2.6.11.6 Querabschläge

Für die Querentwässerung der Fahrbahn werden zusammenschweisste Eisenbahnschienen oder auch Wasserablauffinnen aus Stahl mit einem Toussaint-Heintzmann-Profil (TH-Profil) verwendet. Bei den TH-Rinnenprofilen muss das Gewicht mind. 29 kg pro Laufmeter betragen. Details zu den Querabschlägen finden sich in den Normenblättern.

2.6.12 Stützkonstruktionen

2.6.12.1 Stützmauern aus Beton

Für die Planung und Erstellung von Stützmauern aus Beton verweisen wir auf die Projektierungsgrundlagen des TBA. Die 4,00 m langen Stützmauerelemente können aus den Projektierungsgrundlagen abgestuft von 2,00–8,00 m Höhe entnommen werden.

Für die Bauausführung sind vom Planer je ein Grundriss- und Ansichtsplan für die Stützmauern zu erstellen. Die Abschrägungen sind mit 30° dem Gelände anzupassen. Die Schalung ist in Brettstruktur dem Gefälle der Strasse anzupassen.

Die Unterlagen sind wie folgt zu finden:

www.tiefbauamt.gr.ch > [Dokumentation](#) > [Projektierung und Ausführung](#) > [Kunstabauten](#)

2.6.12.2 Stützkonstruktionen aus bewehrtem Erdmaterial / Steilböschungen

Stützkonstruktionen aus bewehrtem Erdmaterial (begrünte Steilböschungen) können in steilem Gelände, bei schlechten Zufahrtsmöglichkeiten usw. eine ideale, wirtschaftliche und landschaftsverträgliche Lösung sein. Als Baumaterial kann schütffähiges Erdmaterial ver-

wendet werden. Als Bewehrung werden Geotextilien, Geogitter (speziell entwickelte Kunststoffgitter), Alu- oder Stahlprofile oder Armierungsnetze mit einem sehr guten Langzeitverhalten eingesetzt.

Der Untergrund für Stützkonstruktionen mit bewehrtem Erdmaterial muss eine genügende Tragfähigkeit aufweisen. Bei wenig tragfähigen oder wasserempfindlichen Böden sind weitere bodenstabilisierende Massnahmen erforderlich. Für die Bodenbeurteilung wird empfohlen, die Systemanbieter beizuziehen.

Die Höhe der Schalungsgitter und damit die zu verdichtende Schicht soll 50 cm nicht übersteigen. Bei höheren Gittern und damit Schichtstärken ist die fachgerechte Verdichtung des Materials nicht gewährleistet.

Bei Verwendung von Stützkonstruktionen mit bewehrtem Erdmaterial können Ausschreibungsunterlagen, Beratung und Baubegleitung auf der Baustelle von den Lieferfirmen angefordert werden. Die Unternehmung hat im Angebot die Lieferfirma des offerierten Produkts bekannt zu geben.

Bei über 3,00 m hohen Stützkonstruktionen sind nach Möglichkeit ca. 0,50–1,00 m breite Bermen einzubauen. Dies erleichtert später die jährlich anfallenden Unterhaltsarbeiten (Mähen der Stützkonstruktionen).

Die Strassenbankette sind mind. 0,80–1,00 m breit zu erstellen. Dadurch können Zaunpfosten besser versetzt werden, die Bankette werden weniger befahren und die aufstehenden Schalungsgitter können besser abgedeckt werden und damit Tiere weniger verletzen.

2.6.12.3 Blocksteinmauern

Im Güterstrassenbau werden oft Blocksteinmauern als Stützbauwerke verwendet. Blocksteinmauern bestehen vorwiegend aus grösseren Steinblöcken, die meistens nicht bearbeitet sind und mit Baumaschinen versetzt werden. Optimal ist die Verwendung von lagerhaften, häuptigen, parallelkantigen Blocksteinen. Es werden folgende Mauerwerkstypen unterschieden:

Blocksteinmauer mit Beton

Anzug Sichtfläche: 5:1 bis 3:1

- Sichtfläche:
- Steine auf natürliches Lager;
 - Lagerfugen parallel zur Strasse, über mind. 5 Steinlängen durchgehend;
 - Fugen und unregelmässige Kanten der Blocksteine mit kleineren Steinen vermauert;
 - Fugenbreite bis 1/10 der Blocksteinhöhe leicht zurückversetzt (weniger als 1/2 der Fugenbreite) mit Beton verfügt;
 - Blocksteingrösse min. 0,5 m³;
 - Beton C20/25, D_{max} 16 mm, Verbrauch ca. 0,35 m³/m².

Blocksteinmauer ohne Beton (bis maximal 2 m Höhe)

Anzug: 3:1 bis 1:1

- Sichtfläche:
- Steine auf natürliches Lager (Stein auf Stein);
 - Lagerfugen parallel zur Strasse;
 - Fugen mit kleineren Steinen vermauert;

- Fugenbreite bis 1/10 der Blocksteinhöhe;
- Blocksteingrösse min. 0,5 m³.

Da die Lieferung von lagerhaften, häuptigen, parallelkantigen Blocksteinen aus der näheren Umgebung der Baustelle oft schwierig ist, wird im Güterstrassenbau meistens der Mauerwerkstyp Blocksteinmauer mit Beton erstellt.

Um auch bei diesem Mauerwerkstyp eine befriedigende Oberfläche zu gestalten, sollte auf Folgendes geachtet werden [9]:

- möglichst häuptige, parallelkantige Steine verwenden;
- mit diesen Steinen möglichst dünne Lager- und Stossfugen ausbilden. Löcher mit kleineren Steinen füllen.
- Fugen nur leicht zurücksetzen. Ein tiefes Auskratzen der Fugen führt zu einem unruhigen Gesamtbild.
- Die Steine sind auf ihr natürliches Lager zu legen. "Aufsteller" (Steine, die hochkant vermauert werden) sind zu vermeiden. Die Lagerfugen laufen parallel zur Fahrbahn. Sie sollten über mind. fünf Steinlängen ohne Unterbruch durchgeführt werden.

Blocksteinmauer als Böschungsrollierung, Fugen gefüllt (ohne Beton)

Anzug: 2:1 und flacher

Sichtfläche:

- Steine auf natürliches Lager (Stein auf Stein);
- Lagerfugen möglichst parallel zur Strasse;
- Fugen und unregelmässige Kanten der Blocksteine mit Schüttmaterial gefüllt/ausgeglichen;
- Blocksteingrösse min. 0,5 m³.

Bei allen drei Mauerwerkstypen ist auf die Steinfarbe zu achten. Wenn möglich lokale Gesteinsvorkommen verwenden. Die Frontfläche sollte keine Bohrlöcher in den Steinen aufweisen. Eine quadratische Frontfläche der Blocksteine ist zu vermeiden. In Spezialfällen ist eine Vorgabe des Verhältnisses Länge zu Höhe der Blocksteine zu prüfen.

2.6.12.4 Verankerte Stützkonstruktionen aus Stahl

Verankerte Stützkonstruktionen aus Stahl ermöglichen die Erstellung von Strassen in steilem Gelände. Die Stützkonstruktionen bestehen aus vertikalen Mikropfählen, welche in den Boden eingebunden werden. Die Ausfachung zwischen den Mikropfählen erfolgt mit Larssen-Profilen. Die Rückverankerung der Stahlwand erfolgt mit Hilfe von speziellen, im Bohrloch ausinjizierten Ankern. Die Stahlwand wird schichtweise mit Aushubmaterial hinterfüllt.

2.6.13 Leitschranken / Zäune

Die Richtlinien für Zäune und Leitschranken sind den Projektierungsgrundlagen des TBA zu entnehmen und sinngemäss im Güterstrassenbau anzuwenden, wobei Leitschranken aus Stahl und Holz nur punktuell bei speziellen Gefahrenstellen und nach Absprache mit dem ALG eingesetzt werden sollen.

VSS 40 568 enthält sämtliche Grundlagen zur Beurteilung des Einsatzes von Absturzsicherungen. Auf Stützmauern und über Felswänden sind Absturzsicherungen bei einer Absturz-

höhe über 2 m vorzusehen. Im Güterwegbau kommen im Grundsatz Zäune als Absturzsicherung für Personen zum Einsatz. Diese sind in erster Linie als Bündnerzaun ohne Staketen mit Lärchentraversen 80/120 auszuführen.

3 Materialwahl bei Bewässerungsanlagen

3.1 Allgemeines

Für Bewässerungsanlagen stellen sich aus technischer Sicht dieselben Ansprüche an das Rohrmaterial wie für Trinkwasserversorgungen. Das Rohrmaterial hat den jeweils vorherrschenden Druckverhältnissen zu entsprechen. Eine besondere Beachtung ist bei Bewässerungsanlagen zudem den nicht auszuschliessenden grossen Druckrückschlägen auf das Rohrsystem beim Schliessen der Regner zu schenken. Betreffend Wasserqualität darf sich eine Bewässerungsanlage rechtlich betrachtet von einer Trinkwasserversorgung unterscheiden. Dennoch sollte man sich der direkten resp. der indirekten Wirkung von Bewässerungen auf die landwirtschaftlichen Erzeugnisse vor Augen führen, da die Bewässerungen durchaus Einfluss auf deren Qualität haben. Es besteht aber zum heutigen Zeitpunkt keine Zulassungspflicht, weder für Polyvinylchlorid (PVC) noch für Polyethylen (PE) bzw. Polypropylen (PP)-Rohrmaterialien. Ein Rohrerhersteller oder -importeur hat sich nach eidgenössischem Recht einfach dazu zu verpflichten, dass seine Produkte die Umwelt beziehungsweise über die Umwelt die Gesundheit des Menschen nicht gefährden.

3.2 Materialien

Polyvinylchlorid (PVC)

Der Werkstoff PVC hat eine ausgezeichnete chemische Widerstandsfähigkeit und ist diesbezüglich als sehr beständig einzustufen. Bei PVC handelt es sich um ein leichtes Rohrmaterial, welches sich durch das einfache Einbauverfahren resp. die unkomplizierten Verbindungsmöglichkeiten (Steckmuffen) bewährt. Steckmuffen sind nicht längskraftschlüssig und können bei hohen Drücken resp. bei Geländebewegungen bei den Muffen auseinanderfallen resp. auseinandergezogen werden. Um diesem Umstand bestmöglich entgegen zu wirken, sind daher PVC-Rohre bei Endstücken und Kurven mit Beton zu hinterfüllen. Bei Geländebewegungen eignen sich PVC-Rohre nicht. Das Material PVC verfügt über ein grösseres Elastizitätsmodul (E-Modul) als PE und infolgedessen über eine grössere Steifigkeit und demnach über eine geringere Biegsamkeit. Dies hat auch zur Folge, dass Rohre aus PVC schlagempfindlich sind. Der Temperatureinsatzbereich liegt zwischen 0°C und 60°C. Bei demselben Nenndruck ist bei PVC-Rohren eine geringere Wandstärke als bei PE-Rohren notwendig, dies kann im Vergleich zu PE-Rohren zum Einsatz von geringeren Rohrdimensionen mit tieferen Materialkosten führen. Das PVC-Rohrmaterial ist nicht UV-beständig und für Trinkwassersysteme nur mit Nachweispflichten zugelassen.

Polyethylen (PE)

Der Werkstoff PE verfügt ebenfalls über eine gute chemische Widerstandsfähigkeit. Der Materialpreis ist im Verhältnis zu PVC höher. Das Material ist durch das geringere E-Modul dehn- und biegsam und kann somit auftretende Kräfte wie Bewegungen oder Druckschläge gut auffangen. Dahingehend passen sich PE-Rohre besser an Geländeunebenheiten an. Die Verbindung der Rohre erfolgt hauptsächlich durch längskraftschlüssige, stabile Schweissmuffen, welche aber im Verhältnis zu PVC-Formteilen entsprechend teurer sind. Durch die

bessere Biegsamkeit des Materials fallen weniger Verbindungsstellen an. Der Temperatureinsatzbereich von PE-Rohrmaterialien liegt gemäss Herstellern zwischen -40°C und 60°C . PE-Rohre erfüllen die geltenden Auflagen für Trinkwassersysteme.

Polypropylen (PP)

Rohre aus PP haben im Wesentlichen dieselben Eigenschaften wie PE-Rohre, allerdings sind sie steifer und reagieren kaum auf Wärmeeinflüsse. Theoretisch könnte PP als thermoplastischer Kunststoff wie PE verschweisst werden. In der Praxis erweist sich dies allerdings als nicht durchführbar (der zum Schweißen benötigte Temperaturbereich ist zu klein).

3.3 Beurteilung der Materialien

In der Beurteilung der Materialien zeigt sich, dass PVC einige Nachteile gegenüber PE aufweist: Die untere Temperatureinsatzgrenze von PVC liegt bei 0°C . Dies bedeutet, dass PVC-Rohre mind. in Frosttiefe verlegt werden müssen, da ansonsten bei Frost Längsrisse im Rohr und damit massive Schäden an der Anlage entstehen können. Davon abgesehen sind die Rohre nicht UV-beständig und schlagempfindlich. Eine Vorgabe resp. deren Kontrolle über korrekten Umgang mit dem Material erweist sich als kaum machbar. Hinzukommen die grossen Druckrückschläge, welche beim Schliessen der Regner auftreten können. Durch Druckrückschläge können sich die Drücke im Leitungsnetz kurzfristig um ein Vielfaches erhöhen, das PVC-Rohr ist hier im Vergleich zu PE-Rohren deutlich anfälliger auf Schäden. Sofern richtig gelagert, transportiert und eingebaut, kann PVC für bestimmte Anlagentypen durchaus in Frage kommen. Der Einbau bleibt allerdings stets mit Risiken verbunden. PE-Rohrmaterialien weisen keine derartigen Risiken auf.

3.4 Materialwahl

Die Erstellung von permanenten Anlagen zur Felderbewässerung ist aufwändig und kostenintensiv. Die hohe Investition und die Unterstützung durch öffentliche Gelder kann sich nur durch die Erstellung eines allen Anforderungen entsprechenden und langanhaltenden Werks rechtfertigen. Dem Vorteil eines gewissen Einsparpotentials durch den Einbau von PVC-Rohren (PVC-Rohrmaterialien sind im Vergleich zu den PE-Rohrmaterialien günstiger) stehen doch erhebliche Nachteile und Risiken bezüglich Materialeigenschaften, Handhabung und korrektem Einbau gegenüber. Letzten Endes überwiegen diese Nachteile und Risiken (auch für Folgekosten) den Vorteil einer Kostenersparnis deutlich. Setzt man die Lebensdauer des Werks im Baustandard PE-Rohr in Bezug zu einer kurzfristigen Baukosteneinsparung durch die Verwendung von PVC, müssen die Risiken für einen Fehlschlag, Folgekosten und einer Reduktion der Lebensdauer der Anlage als zu hoch bewertet werden.

Demnach werden für Bewässerungsanlagen lediglich PE-Materialien aus Strukturverbesserungskrediten finanziell unterstützt.

4 Begrünungen

Die Norm VSS 40 671c [11], Grünräume – Begrünung, Saatgut, Mindestanforderungen und Ausführungsmethoden – behandelt die Begrünung von Flächen entlang von Verkehrswegen. Bei richtiger Mischungswahl und Aussaatmethode sowie fachgerechtem Unterhalt festigt die Begrünung den Boden und schützt ihn vor Erosion. Eine richtige Begrünung hilft gemäss [11] den Verkehrsweg in die Landschaft einzubetten, Ökosysteme zu verbinden, eine standortgerechte Vegetation wiederherzustellen und die Artenvielfalt zu erhalten oder zu erhöhen. Die

Norm unterscheidet die folgenden Saatmethoden: Trockensaat, Nasssaat, Schnittgutübertragung, Aussaat von Heublumen und Heudreschgut sowie Spontanbegrünung. Bei der Erstellung und Erneuerung von landwirtschaftlichen Infrastrukturanlagen im Kanton Graubünden gelten für die Umsetzung von Begrünungsarbeiten folgende Prioritäten, sofern in der Projektgenehmigung keine anderslautenden Auflagen gemacht werden:

1. Verwendung von Rasenziegeln, sorgfältiger Oberbodenabtrag und -auftrag: Unabhängig von der Empfindlichkeit oder Schutzstellung der Lebensraumtypen wird der Oberboden in Form von grösseren Rasenziegeln abgetragen. Beim Wiedereinbau ist darauf zu achten, dass mind. die Hälfte bis zwei Drittel der Fläche mit korrekt gesetzten Rasenziegeln bedeckt ist. Um die empfindlichen Rasenziegel möglichst rasch wieder einbauen zu können, ist eine etappenweise Arbeitsweise zu wählen.
2. Direktbegrünungen: Falls die Verwendung von Rasenziegeln nicht möglich ist, werden Direktbegrünungen mit Schnittgutmaterial von geeigneten Spenderflächen nach Absprache mit der Umweltbaubegleitung (UBB) durchgeführt.
3. Begrünung durch Einsaat: Wo die Verwendung von Rasenziegeln oder die Direktbegrünung mit Schnittgutmaterial von geeigneten Spenderflächen nicht möglich ist, erfolgt auf den normal empfindlichen Flächen (Fettwiesen und -weiden) die Begrünung mit Handelssaatgut. Auf Saatgut mit nicht heimischen Komponenten, mit Arten aus anderen Höhenstufen und auf Zuchtformen ist jedoch zu verzichten. Die Wahl der Saatgutmischung hat auch auf nicht empfindlichen Lebensraumtypen nach Absprache mit der UBB zu erfolgen.

**Amt für Landwirtschaft
und Geoinformation**

Amtsleiter



Daniel Buschauer

Literaturverzeichnis

[1]	Kuonen, V.:	Wald- und Güterstrassen (1983)
[2]	Burlet, E.:	Dimensionierung und Verstärkung von Strassen mit geringem Verkehr und flexiblem Oberbau (Diss. ETH 1980)
[3]	Hirt, R.:	Grundlage des forstlichen Ingenieurwesens (2001)
[4]	Heinimann, H. R.:	Erschliessungsanlagen 1 (2002) Skript zu Vorlesung
[5]	Hirt, R.:	Erschliessungsanlagen 2 (2003) Skript Vorlesung
[6]	Caprez, M:	Geotechnik der Verkehrswege (2002) Skript Vorlesung ETH
[7]	Bau und Wissen, Wildegg:	Bodenstabilisierung macht kritische Böden beherrschbar, Workshop 874161, 2008
[8]	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS):	SN 640 461: Betondecken für Verkehrsflächen, Konzeption, Ausführung und Anforderungen an die eingebauten Schichten
[9]	Tiefbauamt Graubünden:	Wegleitung für die Projektierung und Ausführung von Stützmauern, 1994
[10]	Sika, Zürich:	Sika Farbbeton, Technischer Leitfaden, 2012
[11]	Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS):	VSS 40 671c: Grünräume – Begrünung, Saatgut, Mindestanforderungen und Ausführungsmethoden

Abbildungsverzeichnis

Alle Abbildungen sind in den Normenblättern Projektierungsgrundlagen Tiefbau zu finden.

Flexibler Oberbau

- Schema für Massangaben (Fig. 1)
- Masstabellen, Kurvenverbreiterungen, Oberbautyp (Tab. 1–2, Fig. 1a)
- schematische Abbildungen für Konstruktionsdetails (Fig. 2–5)

Starrer Oberbau

- Schema für Massangaben (Fig. 6)
- Masstabellen, Kurvenverbreiterungen, Oberbautyp (Tab. 3–4, Fig. 6a)
- schematische Abbildungen für Konstruktionsdetails (Fig. 7–14)

Oberbauunabhängige Regelungen (Fig. 15–17)

Querentwässerung mit Eisenbahnschienen (Fig. 18–19)

Querentwässerung mit Toussaint-Heintzmann-Profil (TH-Profil) (Fig. 20–21)

Richtlinien für den Bau von Strassen mit Betonfahrbahn (Auszug aus Kapitel 2.6.6)